



QUALITE DE L'AIR INTERIEUR

Impact sur la santé et prévention

Frédéric DENIZOT, Ingénieur Préventoin Risques Chimiques



08 octobre 2024



Impacts sur la santé de la Qualité de l'Air Intérieur (QAI)



Comment réaliser un diagnostic sur la QAI ?



Comment gérer la survenue de symptômes collectifs ?

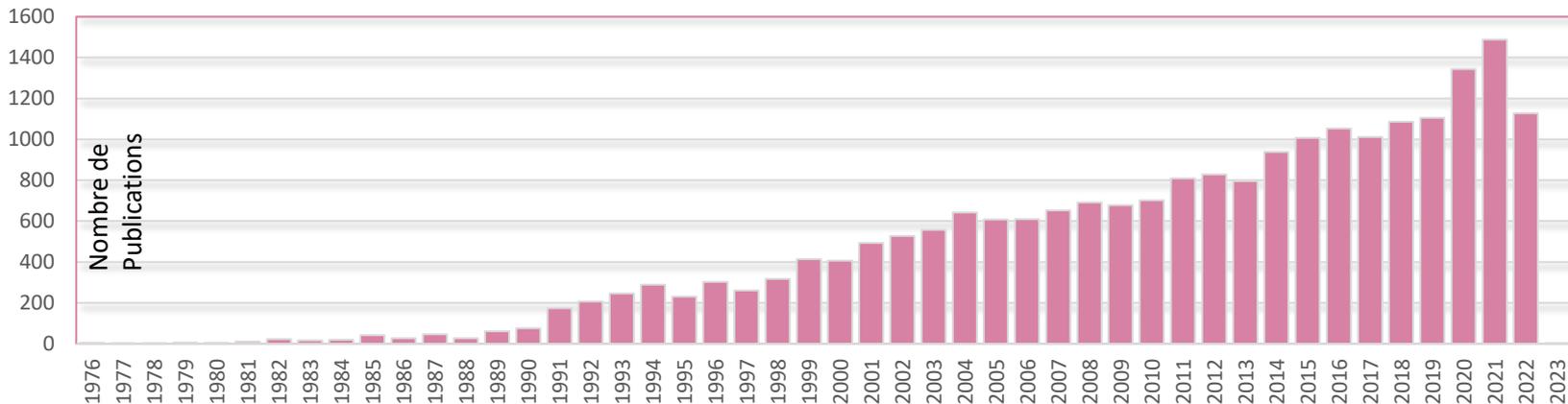


Quelles solutions pour améliorer la QAI ?



- ▶ Nous passons **85% de notre temps** dans des environnements clos.
- ▶ Après le logement, **le bureau est le 2^{ème} lieu de vie**
- ▶ **De plus en plus de connaissances sur le lien entre mauvaise qualité de l'air intérieur et risque sanitaire**

Nombre de Publications répondant à la recherche : « Indoor Air Quality » sur PubMed



- ▶ **Un enjeu de santé publique : coût estimé 19 milliards d'euros /an (ANSES)**
- ▶ **Un enjeu réglementaire qui s'étoffe : EVRP, Radon, QAI dans les ERP**





Les polluants de l'air intérieur

Quels sont-ils ?

QUE RESPIRONS-NOUS ?

COMPOSITION DE L'AIR



LES POLLUANTS DE L'AIR INTÉRIEUR : UNE MULTITUDE DE RESPONSABLES



DES COMPOSÉS GAZEUX



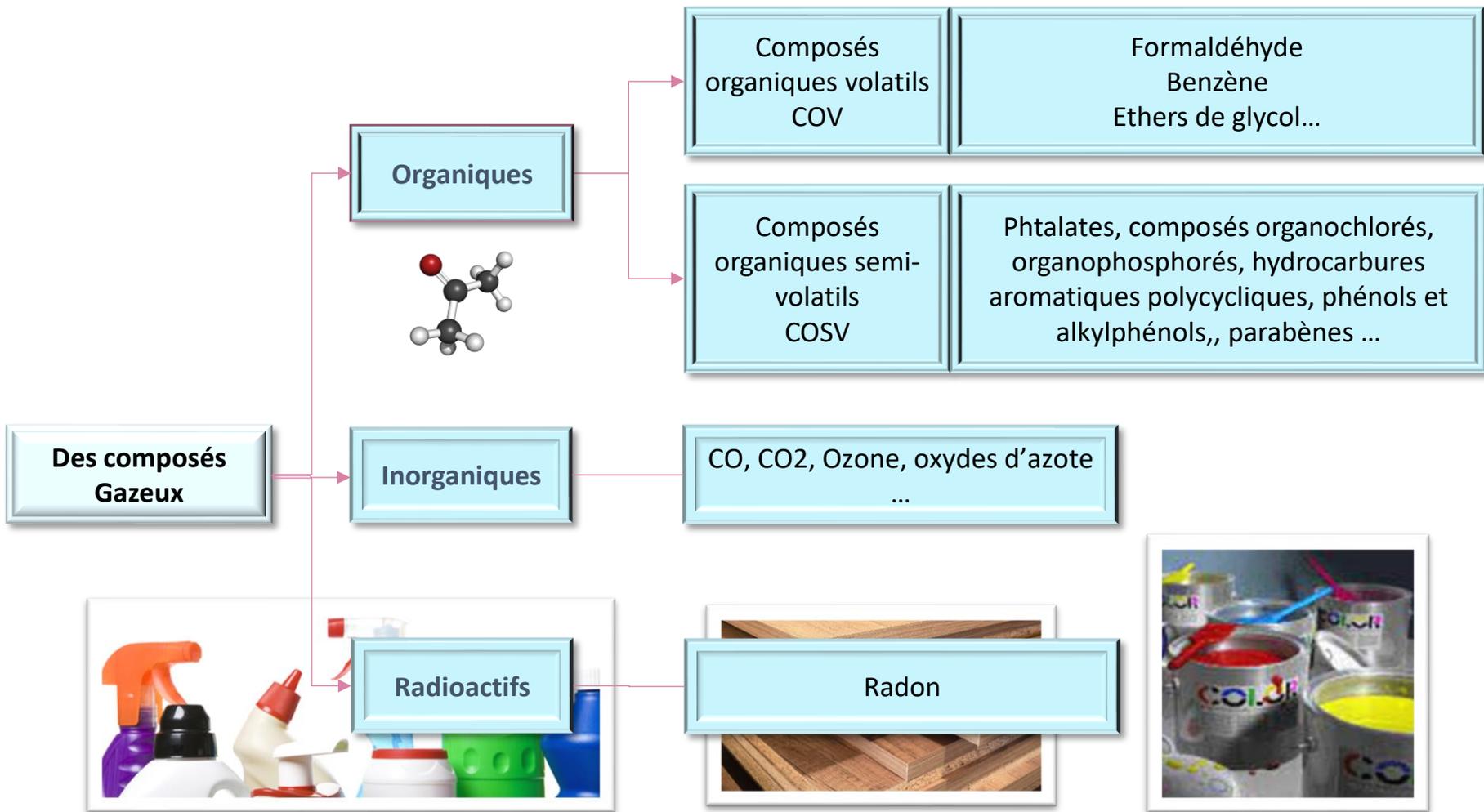
DES PARTICULES



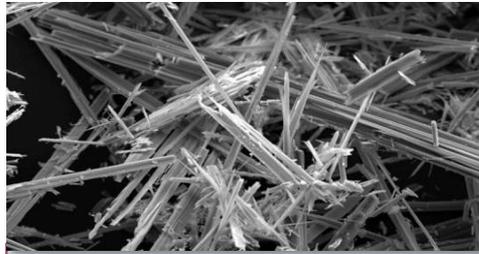
BIO CONTAMINANTS



LES POLLUANTS DE L'AIR INTÉRIEUR : UNE MULTITUDE DE RESPONSABLES



LES POLLUANTS DE L'AIR INTÉRIEUR : UNE MULTITUDE DE RESPONSABLES



Amiante

**Fibres minérales
artificielles siliceuses
vitreuses (FMA) :**

- laine de verre, de roche ou de laitier,
- les fibres céramiques réfractaires (FCR),
- les fibres d'alumine...

Des composés particuliers

Fibres

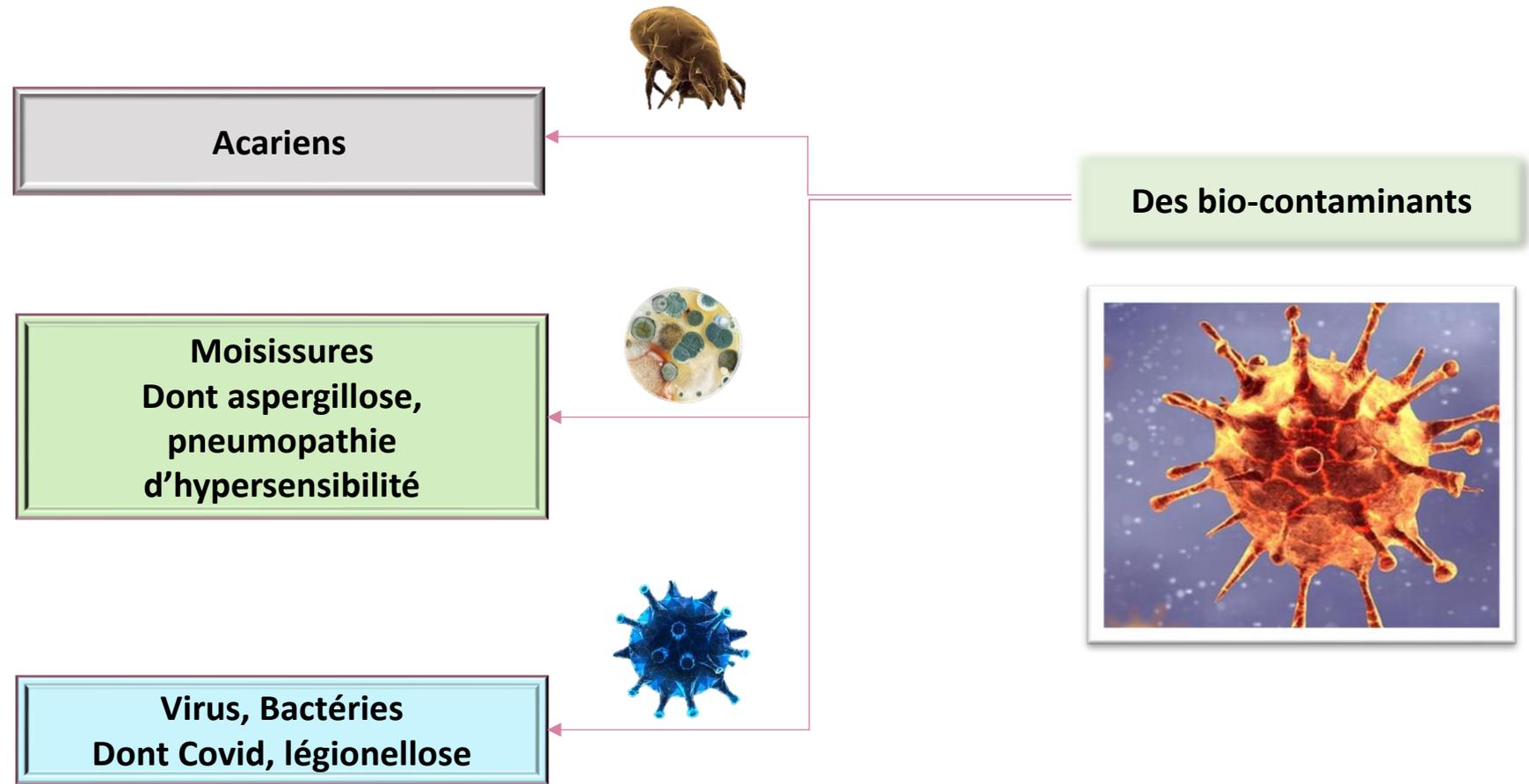
Poussières

**Grosses
particules**

**Particules
fines**



LES POLLUANTS DE L'AIR INTÉRIEUR : UNE MULTITUDE DE RESPONSABLES



Environnement optimal :

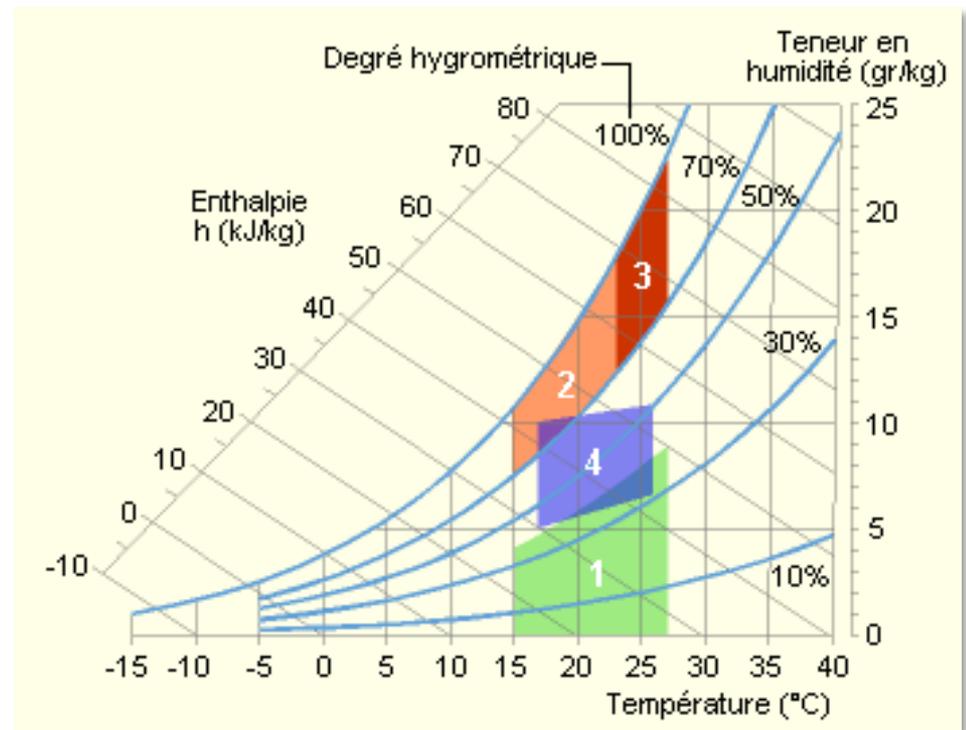
- ▶ Ni trop froid, ni trop chaud, ni trop sec, ni trop humide, ni courant d'air, ni odeurs (zone 4)

Un air trop sec peut entraîner (zone 1) :

- ▶ Assèchement des voies nasales respiratoires
- ▶ Dysphonie
- ▶ Dessèchement de la peau et démangeaisons
- ▶ Sécheresse oculaire
- ▶ Augmentation de l'électricité statique dans l'air

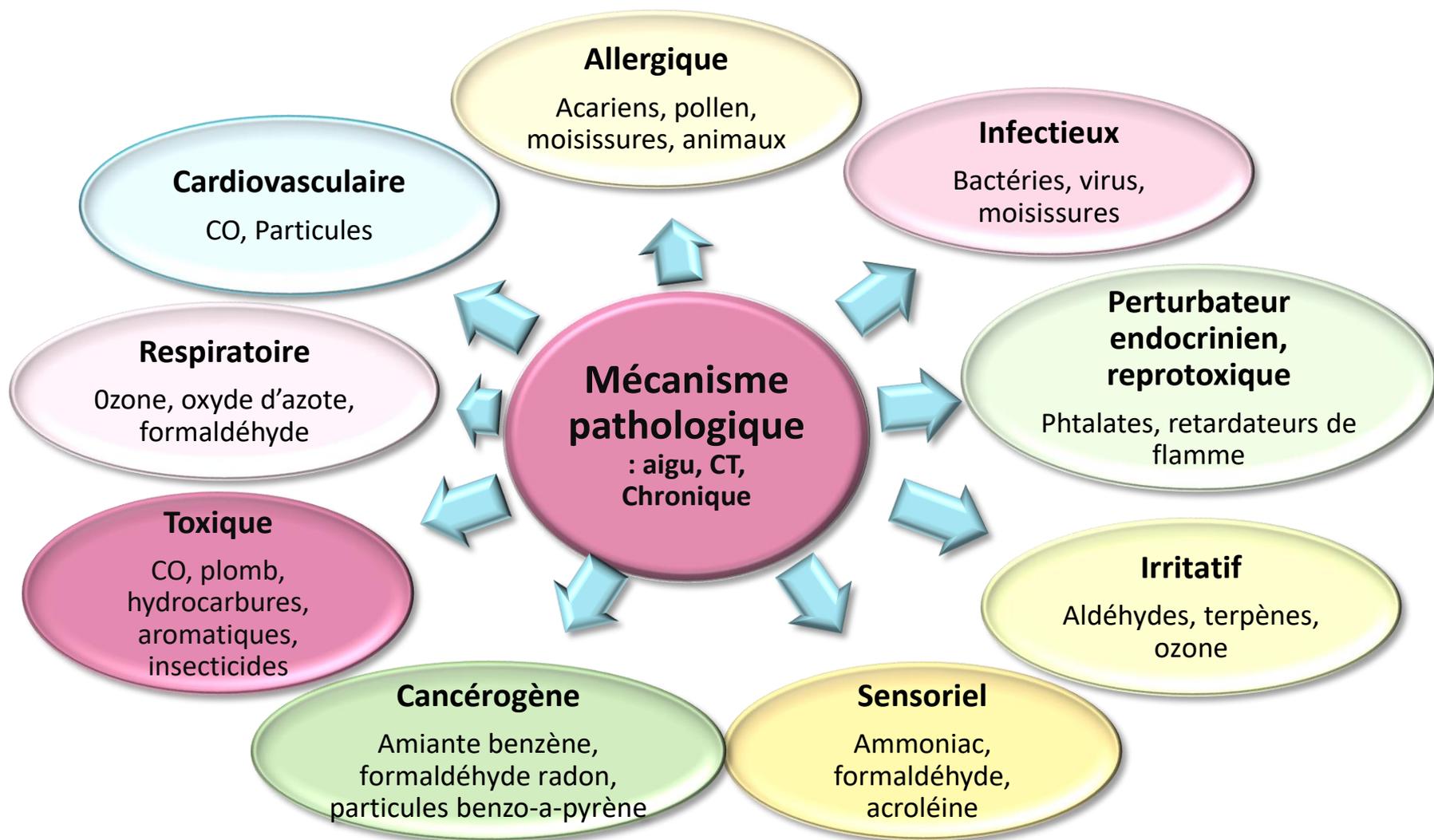
Un air trop humide :

- ▶ Sensation de moiteur
- ▶ Développement de bactéries et moisissures (zones 2-3)
- ▶ Développement d'acariens (zone 3).





Qualité de l'air intérieur – *Les effets sur la santé*



Augmentation de la concentration en CO₂ et/ou Augmentation de la concentration en particules fines :

- ▶ Altération des fonctions cognitives
- ▶ Baisse de l'attention sélective
- ▶ Altération de la mémoire de travail

Exposition chronique ou aigue



Satish et al, 2012

Allen et al 2016

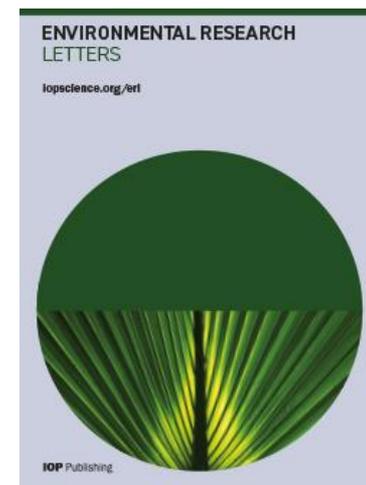
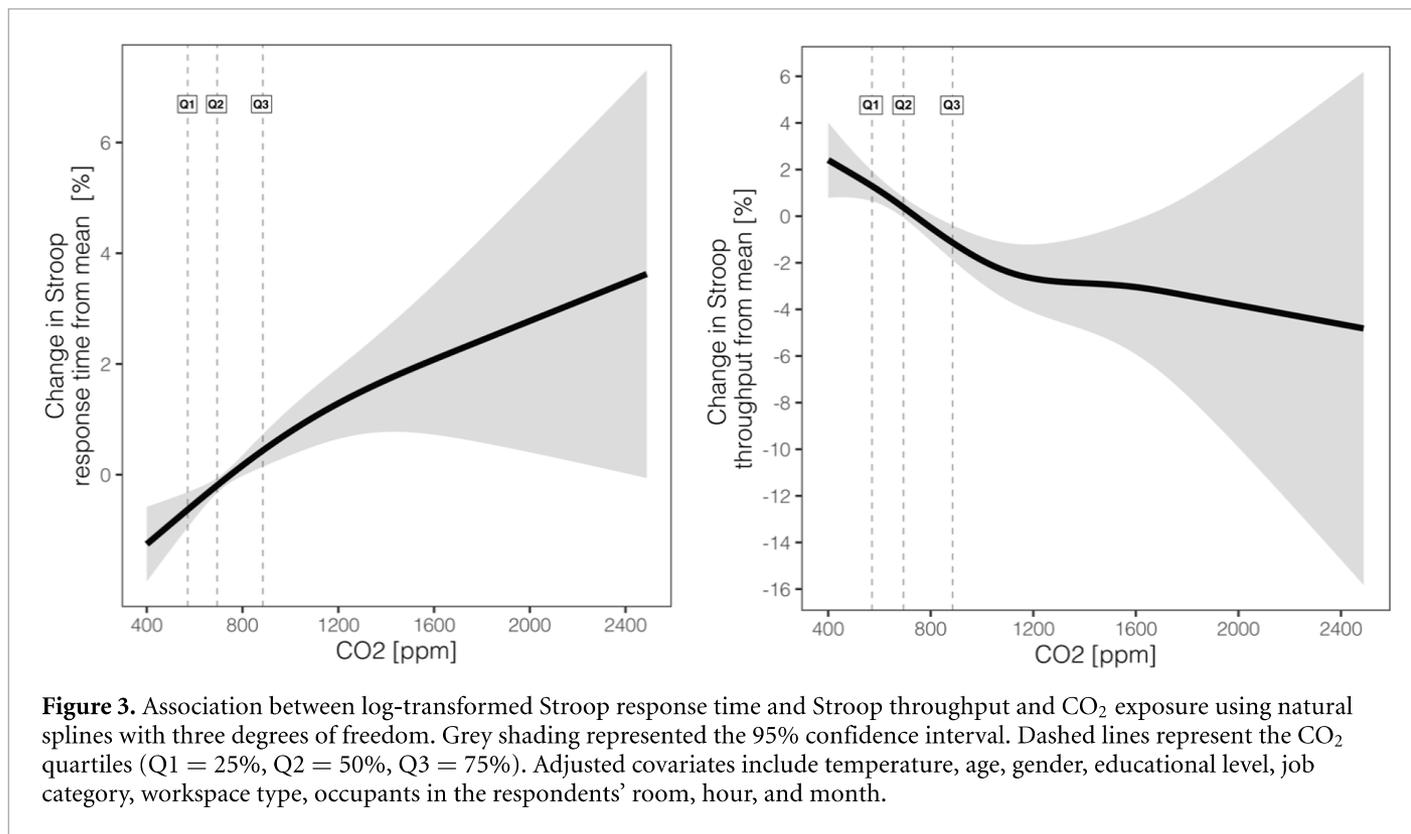
Saenen et al 2016

Kicinski et al, 2015

JC Cedeno et al, 2021

Associations between acute exposures to PM_{2.5} and carbon dioxide indoors and cognitive function in office workers: a multicountry longitudinal prospective observational study

Jose Guillermo Cedeño Laurent^{1,5,*} , Piers MacNaughton^{1,5}, Emily Jones^{1,2}, Anna S Young¹, Maya Bliss¹, Skye Flanigan¹, Jose Vallarino¹, Ling Jyh Chen³ , Xiaodong Cao⁴ and Joseph G Allen¹



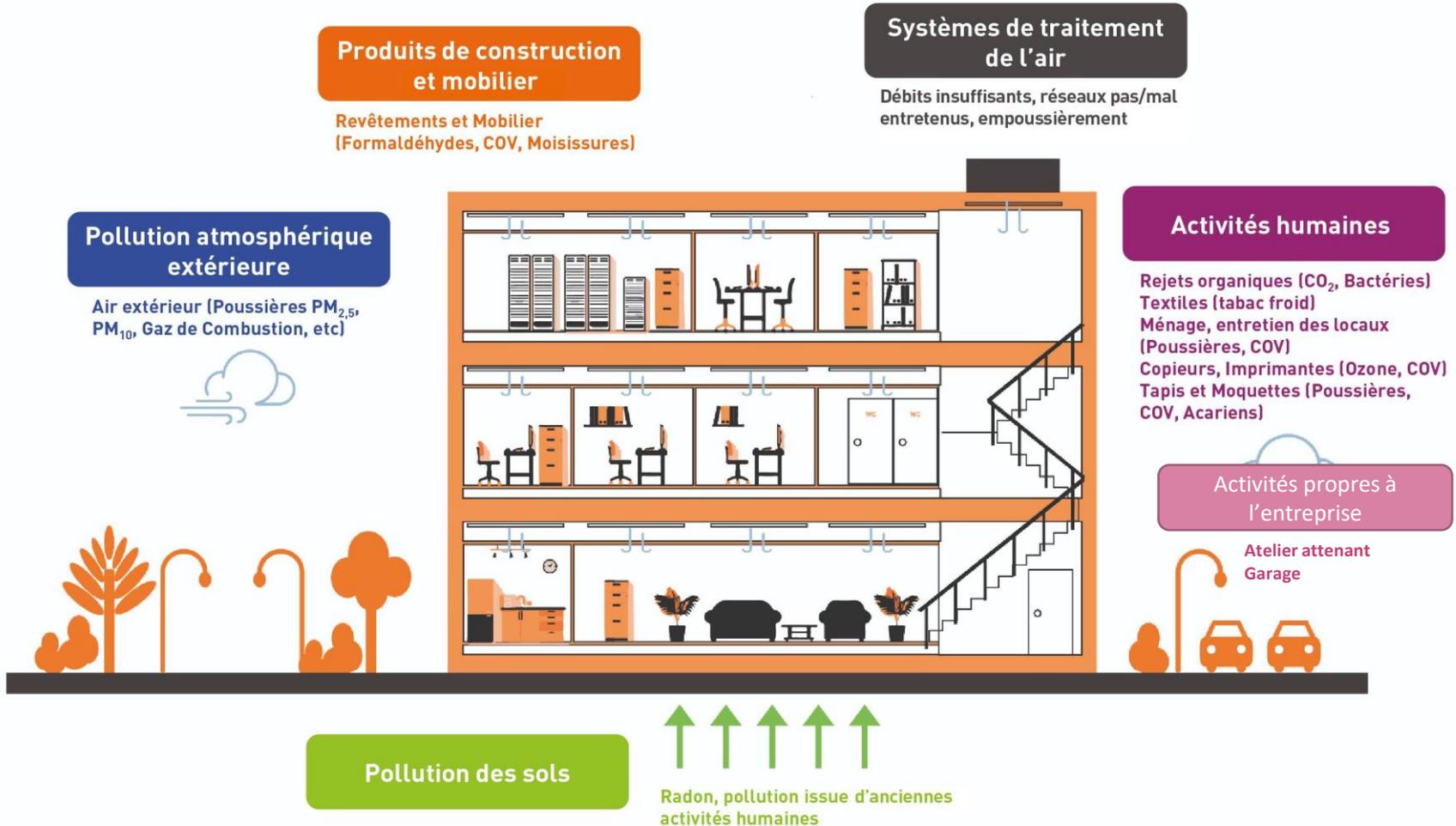


Les polluants de l'air intérieur – *D'où viennent-ils ?*

SOURCES DES POLLUANTS DE L'AIR INTÉRIEUR

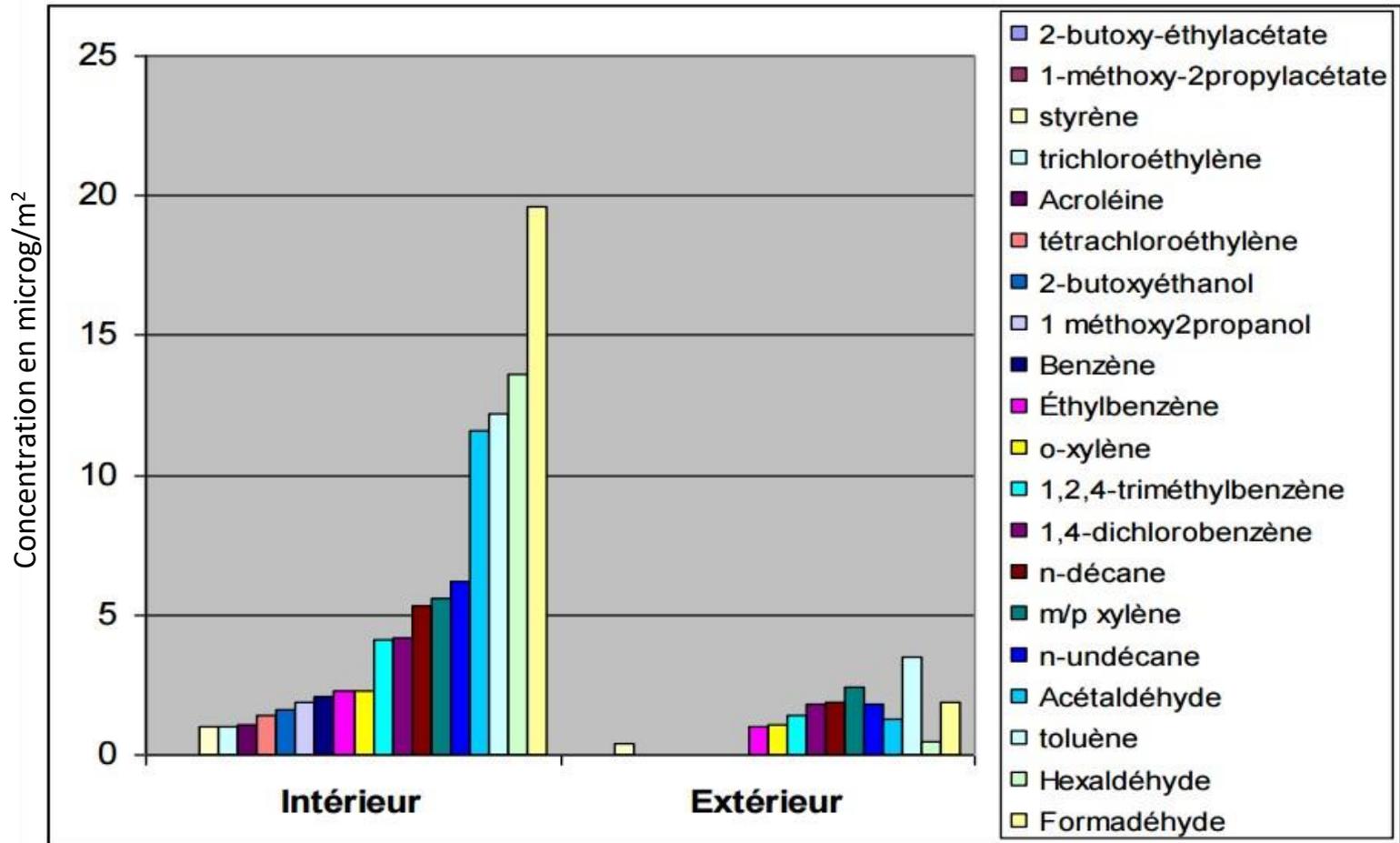
Locaux à pollution non spécifique :

Les locaux dans lesquels la pollution est liée à la seule présence humaine (bureaux, magasins, formations,...).



ÉTUDE DES POLLUANTS GAZEUX DE TYPE COV DANS LES HABITATS EN FRANCE

Médianes des concentrations en COV



Source: OQAI, 2010



Les polluants chimiques les plus fréquemment rencontrés

Concentrations médianes
en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Mesures capteurs
passifs 5 jours

Légende :

Cancérigène : C

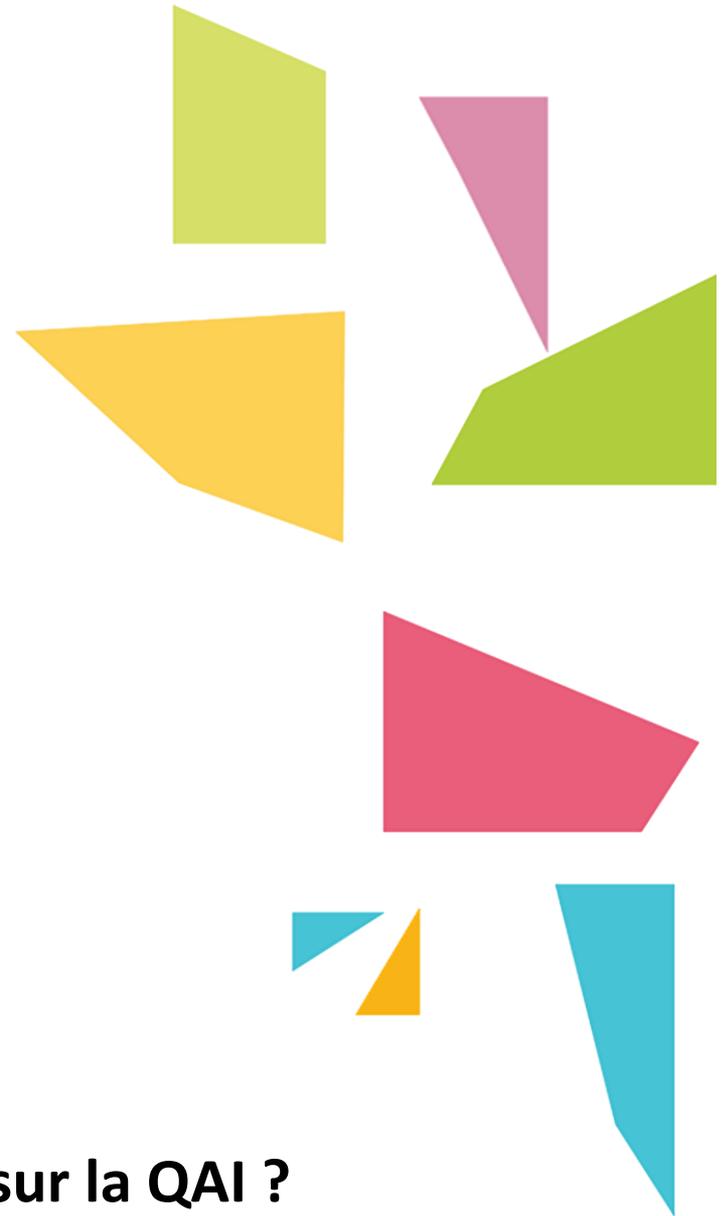
Mutagène : M

Reprotoxique : R

Allergisant : A

		CNB 2013-2017	OFFICAIR 2012-2013
CM	Benzène	1,2	1,9
Rd	Toluène	4,2	8,8
	Ethylbenzène	1,4	1,8
A	α -pinène	1,4	4,2
A	Limonène	3,2	10
	2-butoxyéthanol	1,9	0,9
	2-éthyl-1-hexanol	4,3	5,0
Rd	Styrène	1,0	0,7
CMA	Formaldéhyde	14	10
CM	Acétaldéhyde	5,5	5,1
	Hexanal	2,8	8,6





Comment réaliser un diagnostic sur la QAI ?

DÉFINITION DE LA STRATÉGIE D'INTERVENTION

DEMANDE EMPLOYEUR / REMONTEES SALARIES



Définition d'une stratégie d'intervention SPST/employeur



- ▶ **Diagnostic QAI** (Visite locaux - Analyse des conditions d'aération et d'assainissement de l'air - Mesurage T, hygro, CO2).

- ▶ **Diagnostic SBM :**
 - Diagnostic QAI
 - +
 - Screening **COV** et **aldéhydes**
 - Analyse toxicité des produits d'entretien
 - **Enquête épidémiologique réalisée par le SPST**

► Points sur l'environnement global des locaux

- ➔ Zone urbaine, périurbaine
- ➔ Sites industriels, activités agricoles, chantiers,...
- ➔ Pollens, allergènes environnementaux
- ➔ Ancien site pollué, émanation du sol



Identification des sources de pollution externes « visibles »

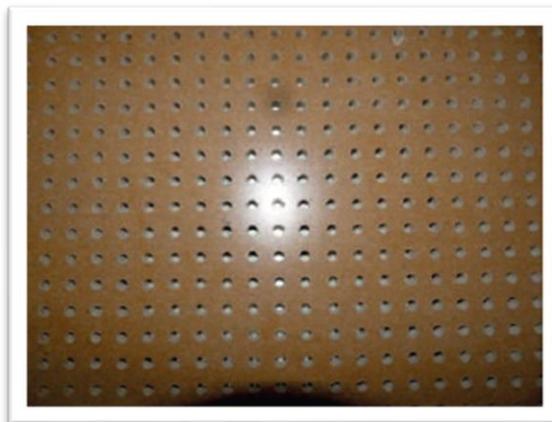


► Identification des sources de pollution « visibles »

- ➔ Nature et état des revêtements des murs, plafonds sols, nature et état du **mobiliers, matériaux de construction**
- ➔ Présence **moisissures** ou condensation
- ➔ Zones **d'impression**
- ➔ **Activités polluantes** réalisées dans un local contigu
- ➔ Produits **nettoyage et parfums** d'ambiance

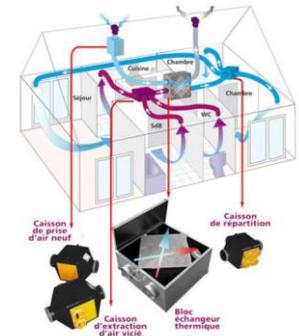


Identification des sources de pollution internes « visibles »



► Evaluation des systèmes de climatisation et ventilation

- ➔ Type de ventilation, chauffage, climatisation
- ➔ Etat et localisation **des prises d'air**
- ➔ Bon fonctionnement de la ventilation et **adéquation avec débits** par rapport à **l'occupation**
- ➔ Sens des flux entrants et extraits
- ➔ Pratiques **d'aération naturelle**
- ➔ Manœuvrabilité des ouvrants, état des huisseries
- ➔ Etat des conduits
- ➔ **Entretien des dispositifs** (changement des filtres, nettoyage, vérification périodique de l'efficacité ...)



Evaluer comment le bâtiment « respire »

▶ Mesures des paramètres de bases de la QAI :

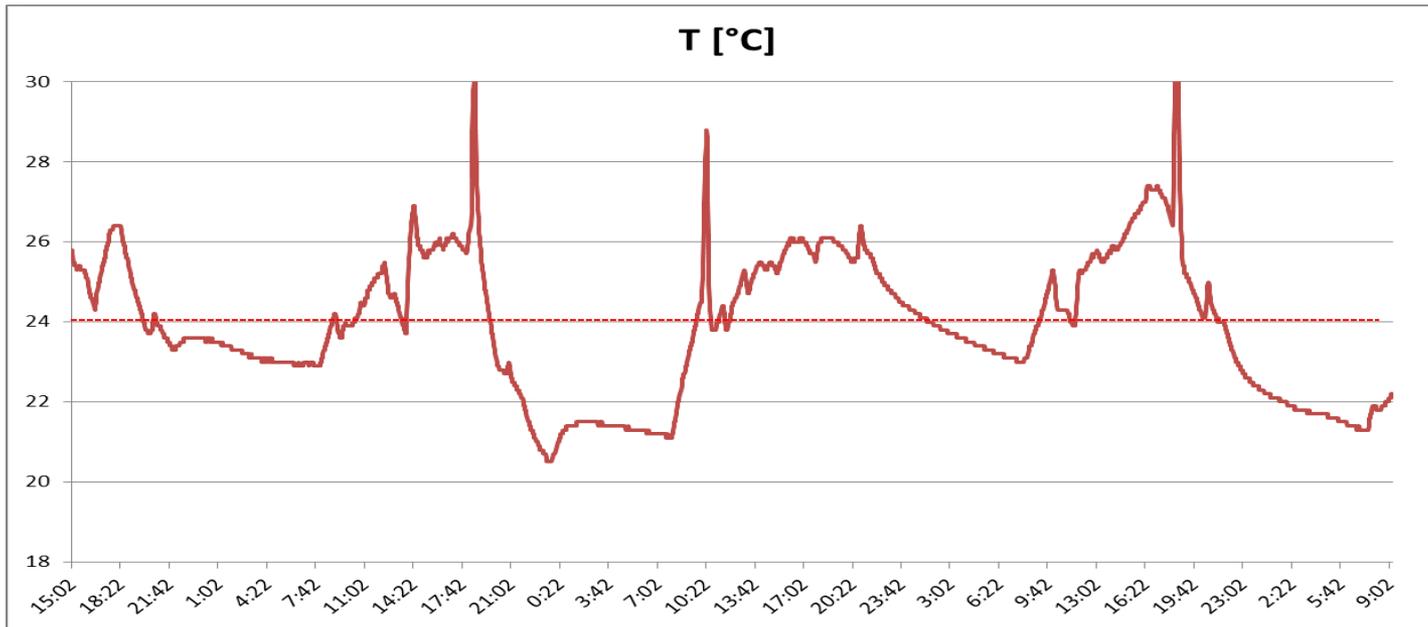
- ➔ Température
- ➔ Hygrométrie
- ➔ Concentration en CO₂ (bon indicateur du renouvellement d'air)
- ➔ Débits ventilation



Comparer ces paramètres avec la réglementation, les normes et recommandations en vigueur



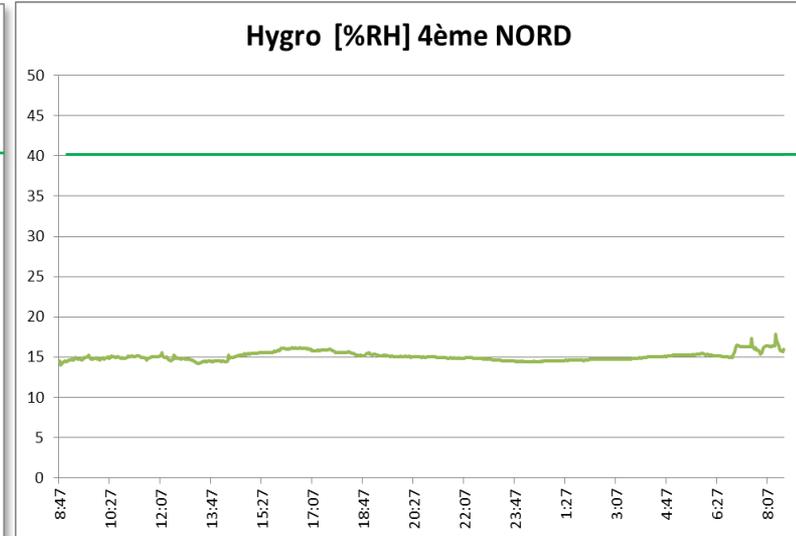
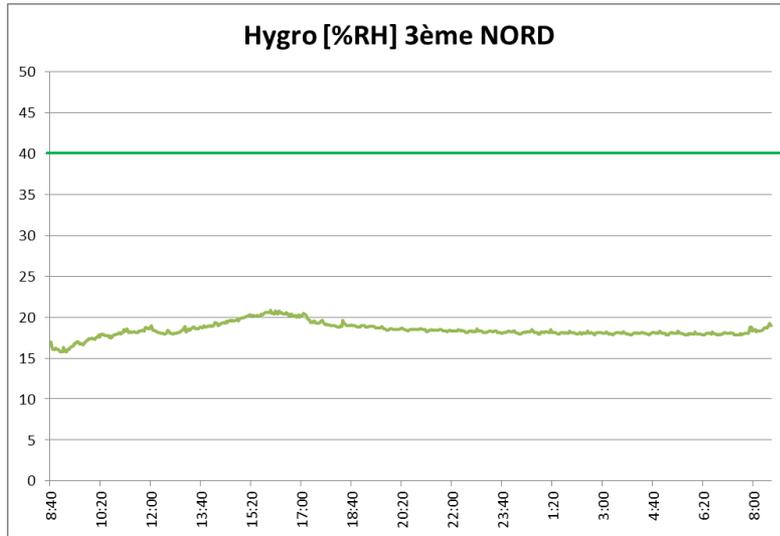
ILLUSTRATION MESURES T, HYGRO / VTR



La norme **NF EN ISO 7730** valeurs recommandées activité de bureau :

- entre **20°C et 24°C**, en hiver, (vitesse de l'air < 0,16 m/s)
- entre **23°C et 26°C**, en été, (vitesse de l'air < 0,19 m/s)

ILLUSTRATION MESURES T, HYGRO / VTR



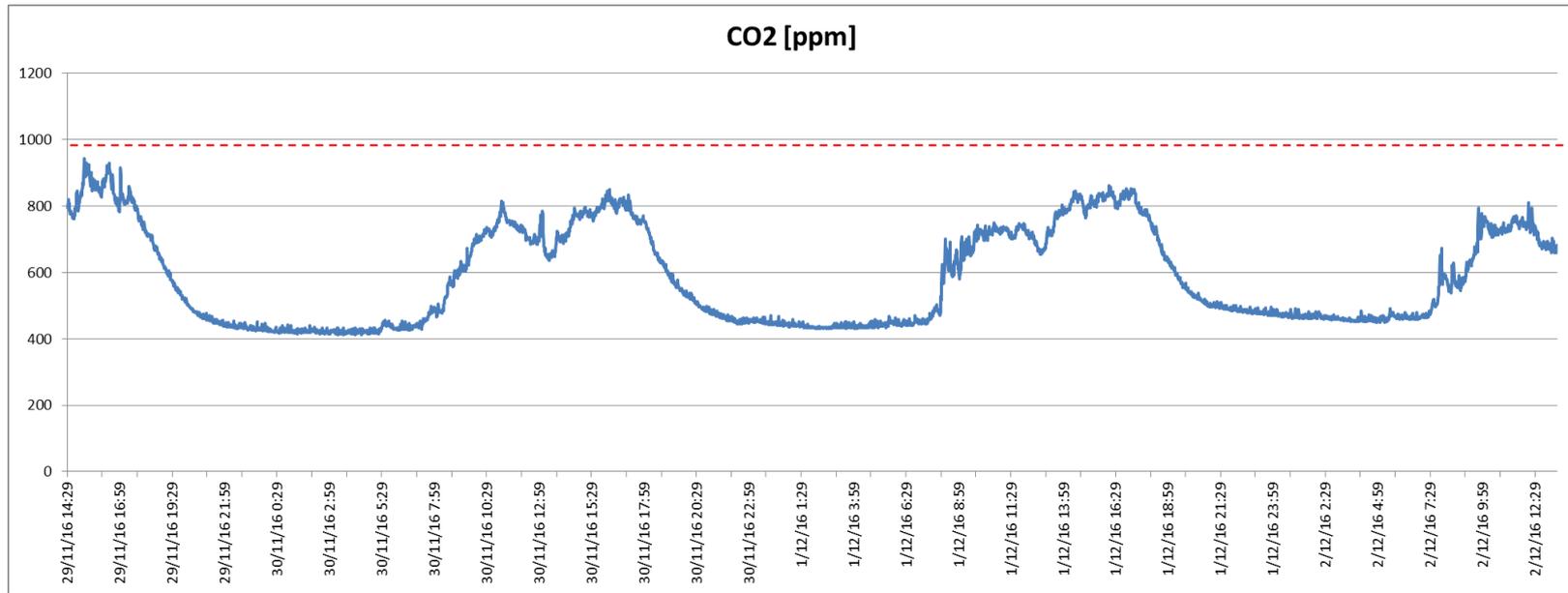
La norme **NF X 35-102** (Conception ergonomique des espaces de travail en bureau) recommande de maintenir une humidité de l'air comprise **entre 40% et 70%**.

Hygrométrie trop élevé = développement moisissures

Hygrométrie trop basse = irritation des muqueuses



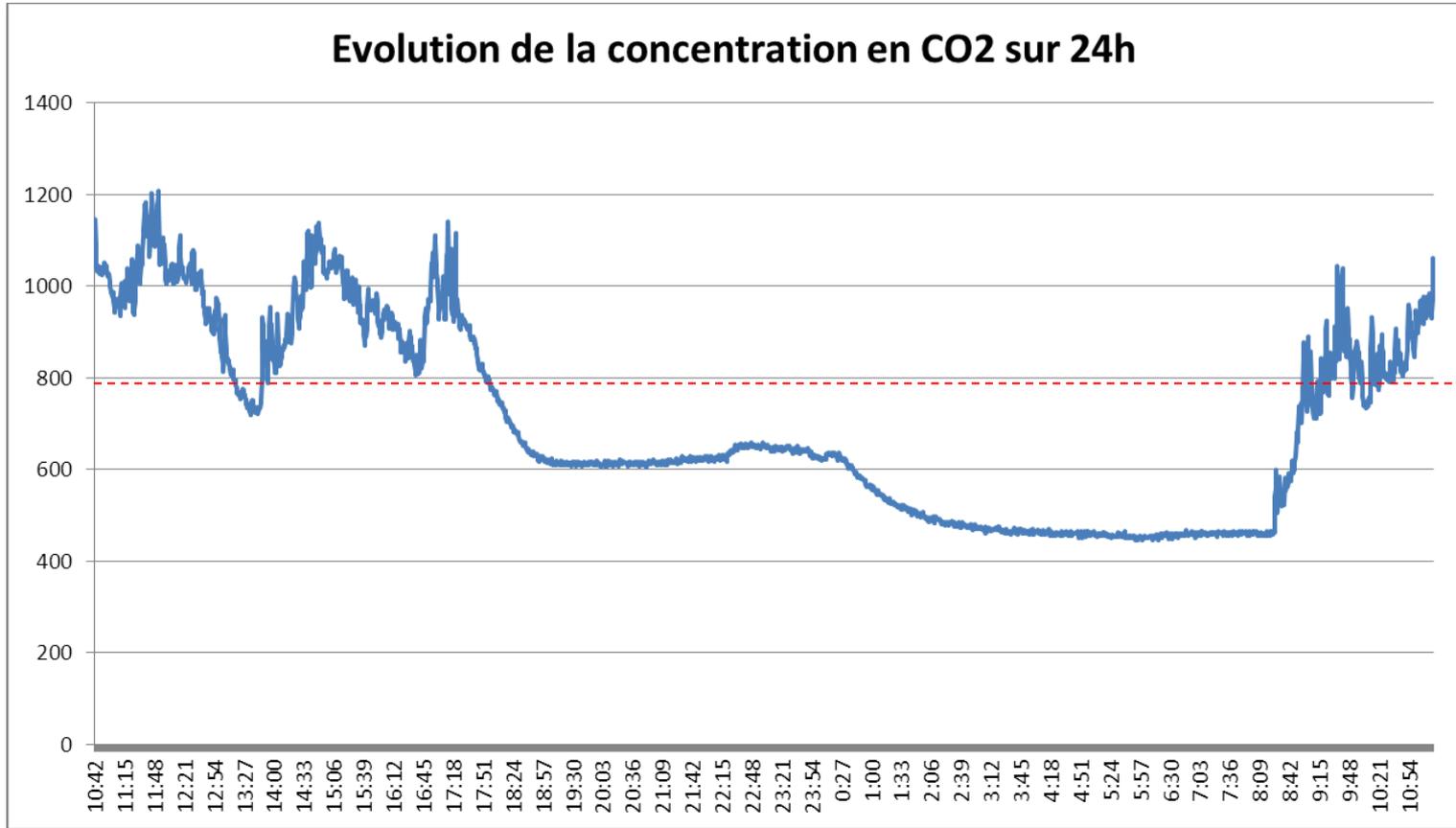
LE CO2, UN BON PARAMÈTRE DE GESTION DE LA QAI



- ➔ CO2 air extérieur un peu plus de 400 ppm.
- ➔ **Seuil de 1000 ppm** recommandé par l'OMS repris dans une **circulaire ministérielle** (circ 9 mai 1985).
- ➔ Le **Haut Conseil de la Santé Publique** recommande de maintenir une concentration **< 800 ppm** (avis du 28 avril 2021) **pendant la crise sanitaire.**



LE CO2, UN BON PARAMÈTRE DE GESTION DE LA QAI

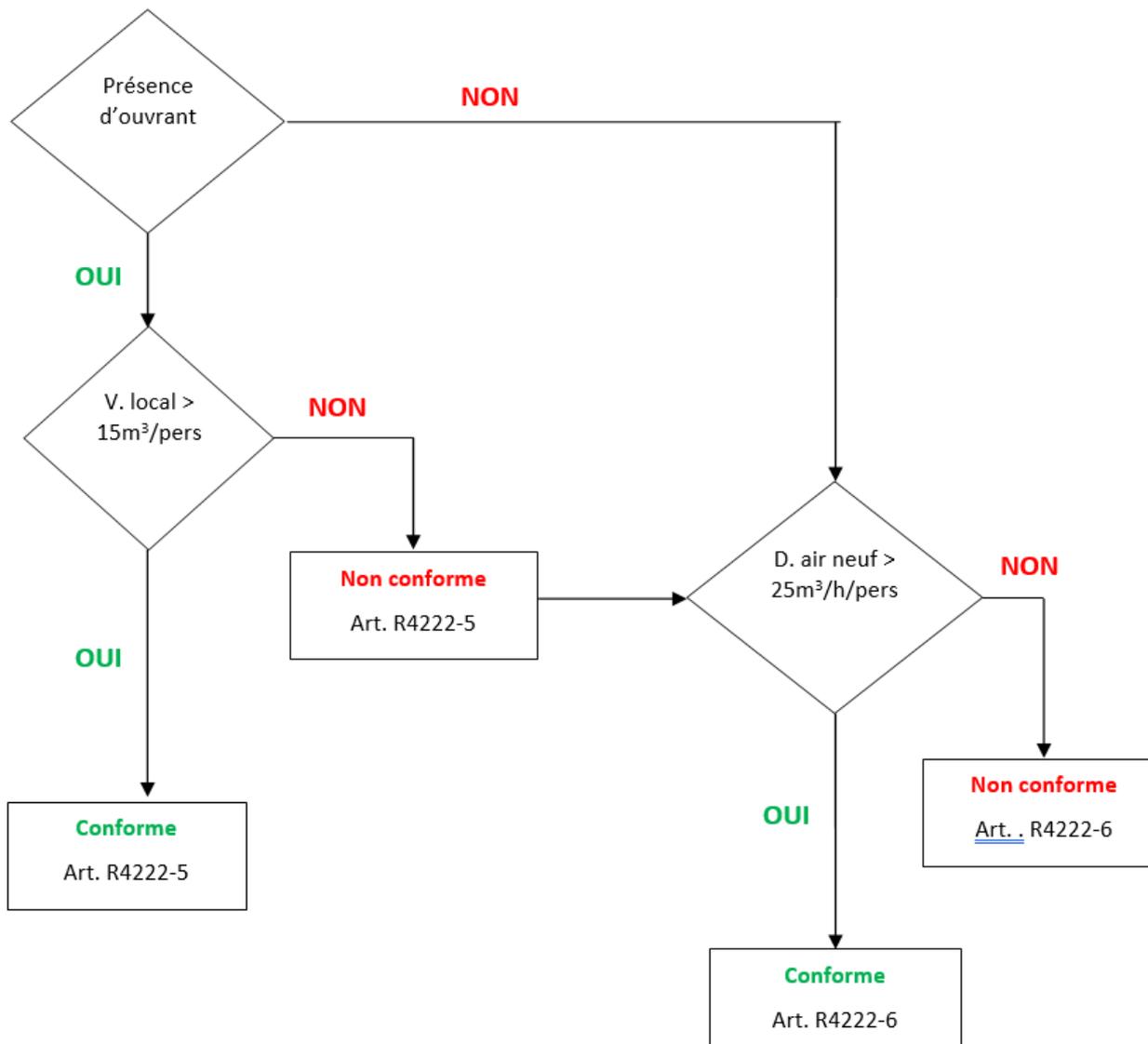


CO2 > 1000 ppm (période normale) = renouvellement d'air insuffisant !

CO2 > 800 ppm (période COVID 19) = renouvellement d'air insuffisant !



Schéma obligations renouvellement air local pollution non spécifique



Code du travail Art R. 4222-1 à 8 (local à pollution non spécifique) :

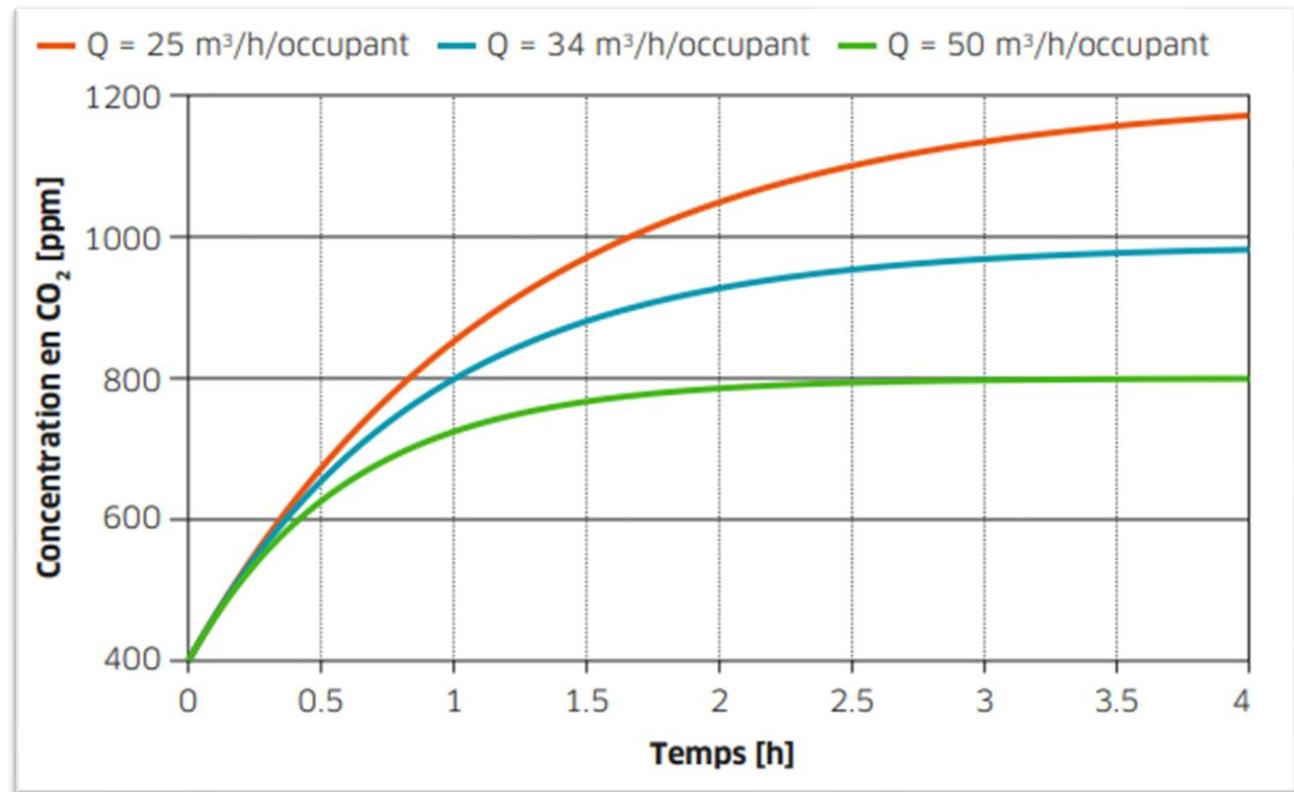
- ➔ Dans les locaux fermés où les travailleurs sont appelés à séjourner, l'air est renouvelé de façon à :
 - Maintenir un état de pureté de l'atmosphère propre à préserver la santé des travailleurs ;
 - Eviter les élévations exagérées de température, les odeurs désagréables et les condensations.
- ➔ Ventilation mécanique ou aération naturelle (voir schéma ci-après)
- ➔ Si ventilation mécanique débit minimale d'air neuf à introduire :

DESIGNATION DES LOCAUX	DEBIT MINIMAL d'air neuf par occupant (en mètres cubes par heures)
Bureaux, locaux sans travail physique	25
Locaux de restauration, locaux de vente, locaux de réunion	30
Ateliers et locaux avec travail physique léger	45
Autres ateliers et locaux	60



Simulation de l'évolution de la concentration en dioxyde de carbone/ renouvellement d'air (OUTIL INRS NT 32 10-2021)

<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil97>



Attention au courant d'air : $v > 0,2$ m/s inconfort thermique





Comment gérer la survenue de syndromes des bâtiments malsain (SBM) ?

DÉFINITION DU SYNDROME DES BÂTIMENTS MALSAINS

= syndrome collectif inexpliqué

Créé par l'OMS en 1982

Prévalence excessive de symptômes

- ▶ Non spécifiques
- ▶ Chez des personnes occupant le même bâtiment,
- ▶ Apparaissant durant la journée de travail et/ou disparaissant spontanément après l'arrêt de travail

Environ 20% des individus affectés au sein d'un même bâtiment

Décrit au départ dans les établissements de bureau (commerciaux, administratifs) puis hospitaliers, scolaires...

1/3 des bâtiments neufs ou rénovés seraient impliqués

SYMPTÔMES LIÉS
AU SYSTÈME
NERVEUX CENTRAL:

Céphalées, fatigue,
problèmes de
concentration,
léthargie

Démangeaisons et
irritations cutanées

Diarrhée



IRRITATION DES
MUQUEUSES:

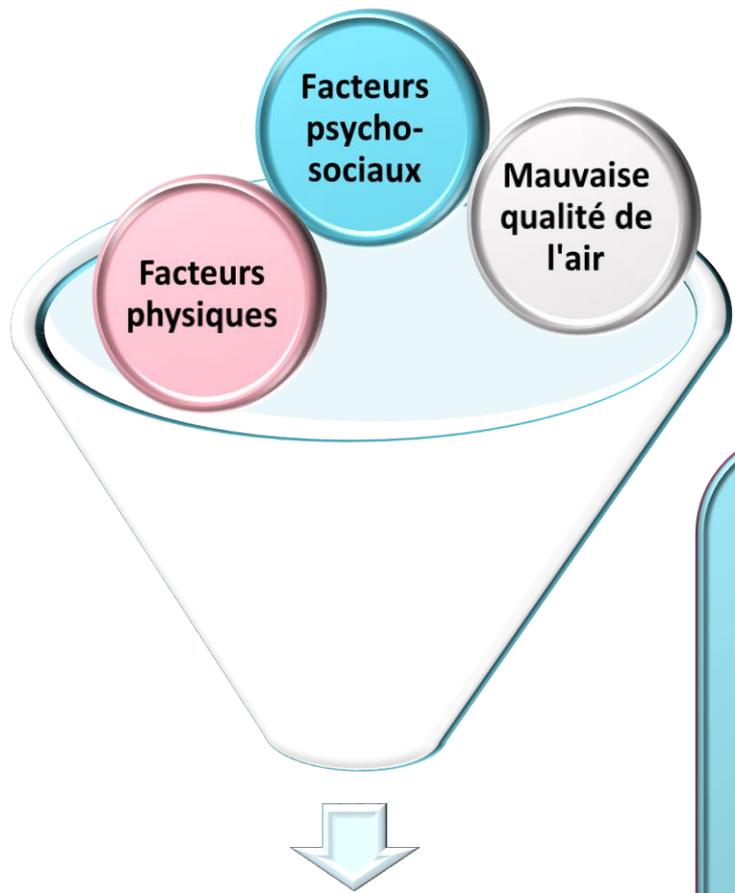
Démangeaisons et
inflammation des
yeux, du nez et de la
gorge

Gêne respiratoire et
symptômes
asthmatiformes
(sans respiration
sifflante véritable)

Intolérance aux
odeurs

SBM : DES FACTEURS MULTIPLES

- ▶ Température
- ▶ Hygrométrie
- ▶ Ventilation
- ▶ Climatisation
- ▶ Luminosité



- ▶ COV, COSV ?
- ▶ Ozone ?
- ▶ Tabagisme passif
- ▶ CO et CO2

- ▶ Stress
- ▶ Manque de contrôle sur l'environnement
- ▶ Facteurs organisationnels :
 - Niveau hiérarchique bas
 - Conditions de travail difficiles
 - Conflits sociaux
 - Marge de manœuvre restreinte, faible support, travail passif

Syndrome malsain des bâtiments



LES ÉTAPES DE LA DÉMARCHE SBM

PENDANT LA CRISE :

Questionnaire individuel par les équipes médicales du SPST

- ▶ **Anonyme et confidentielle**
- ▶ **Pour interpréter collectivement pour recueillir des infos sur :**
 - ➔ Le nombre de salariés touchés
 - ➔ Les symptômes prédominants (qui pourront être mis en relation avec d'éventuels polluants retrouvés).
 - ➔ Les données spatio-temporels d'apparition /disparition de ces symptômes dans le bâtiment / hors bâtiment

Approche technique dictée par l'enquête épidémiologique

A DISTANCE DE LA CRISE :

- ▶ **Evolution de l'état de santé (individuel et collectif)**
- ▶ **Si besoin approfondissement de l'enquête (RPS, ventilation,...)**

COMMUNICATION DES RESULTATS



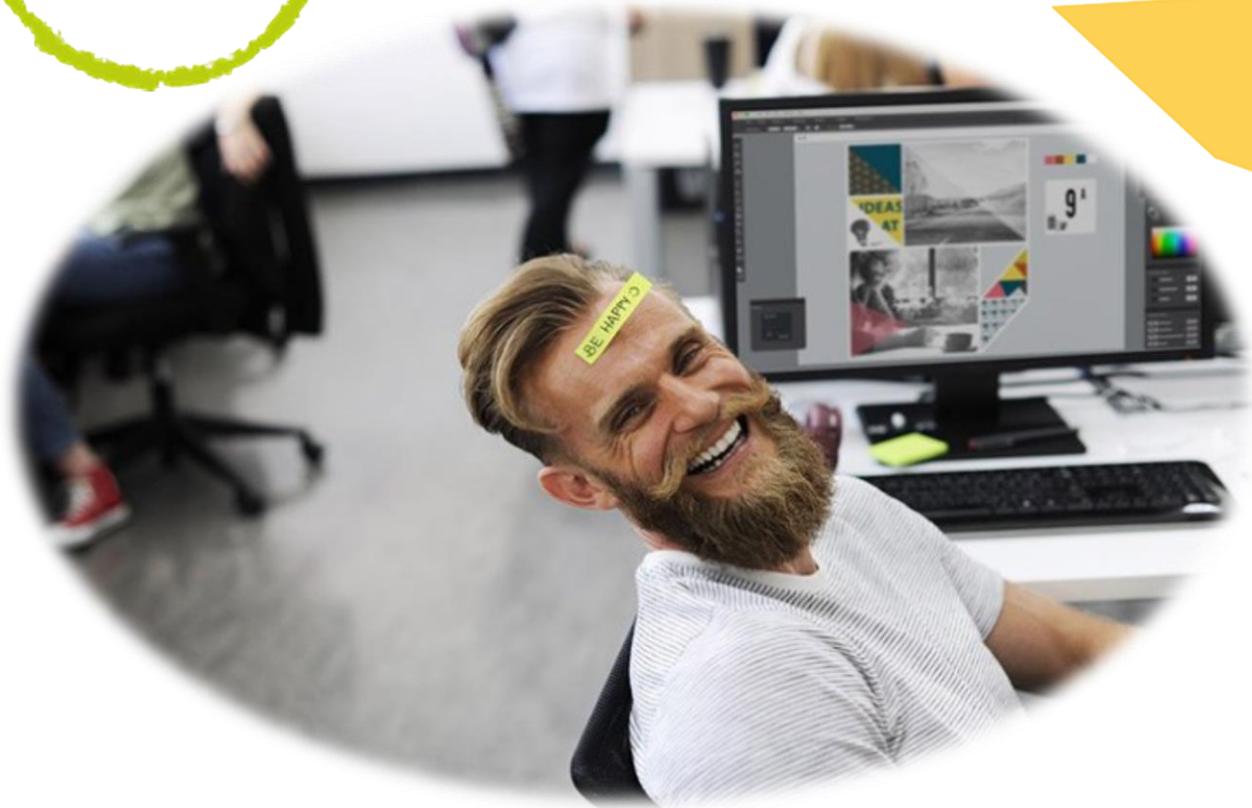
MESURES COMPLÉMENTAIRES DE POLLUANTS CHIMIQUES

- ▶ **Prélèvements actifs sur supports spécifiques TIDCOV et Aldéhydes.**
- ▶ **Approche qualitative et semi-quantitative** : on caractérise l'atmosphère de travail et on la compare non pas aux valeurs limite d'exposition professionnelles (VLEP) mais aux valeurs de gestion de l'air intérieur (VGAI) fixées par l'ANSES !



Pompe de prélèvement

**Support de prélèvement
Tube charbon actif
Multiphase**



Comment agir sur la QAI ?

Minimiser les émissions de polluants à l'intérieur du bâtiment

- ▶ Etiquetage réglementaire et labels **produits construction** (décoration et produits d'ameublement en projet...)
- ▶ Isoler les **activités polluantes** : impression, autres...
- ▶ Choix **produits d'entretien**
- ▶ Proscrire les **parfums d'intérieur**

Aérer/Ventiler suffisamment

- ▶ Aérer régulièrement
- ▶ Dimensionner arrivée d'air neuf : 50 m³/h/pers minimum
- ▶ Epurateurs d'air souvent inefficaces et parfois dangereux !

Protéger l'environnement intérieur contre la pollution extérieure

- ▶ Positionnement des **prises d'air** à l'abris des sources de pollution
- ▶ Catégories de **filtres appropriés** (*norme EN ISO 16890*).

Maintenir de bonnes conditions climatiques

- ▶ Vigilance infiltrations et maintien des conditions **T et H ergonomiques**





Nouvelles obligations réglementaire QAI 2023

Décrets n°2022-1689 et n°2022-1690 du 29 décembre 2022 + 3 arrêtés d'application
: renforcement de la surveillance de la QAI dans certains ERP

Qui est concerné ?

A compter du 1^{er} janvier 2023 :

- crèches, écoles, établissements d'enseignement ou de formation professionnelle, accueil de loisirs de jour.

A partir du 1^{er} janvier 2025 :

- maison de retraite, EHPAD, structures médico-sociales et pénitentiaires mineurs, ...

La responsabilité de la surveillance de la QAI appartient au propriétaire ou à l'exploitant des lieux, si une convention le prévoit.

Que doit t-on réaliser?

- une **évaluation annuelle des moyens d'aération** des bâtiments incluant notamment une mesure à lecture directe de la **concentration en CO2** de l'air intérieur ;
- un **autodiagnostic de la QAI**, réalisé au moins tous les quatre ans ;
- une **campagne de mesures des polluants réglementaires** réalisée à chaque « **étape clé** » de la vie du bâtiment pouvant impacter la QAI (Benzène, Formaldéhyde, CO2) , par un organisme accrédité COFRAC*;
- un **plan d'actions** régulièrement actualisé, proposant des actions correctives à mettre en œuvre afin d'améliorer la QAI en prenant en compte les résultats de la surveillance.

GUIDES : <https://vimeo.com/830551138>

https://www.cerema.fr/system/files/documents/2023/03/guide_qai.pdf

https://www.cerema.fr/system/files/documents/2023/03/plaquette_qai.pdf

<https://www.oqai.fr/fr/media/rapports/protocole-surveillance-confinement-erp-2023>



EN CONCLUSION

- ▶ Air intérieur dans les bureaux souvent pollué par diverses sources internes / externes
- ▶ Syndrome des bâtiments malsains pourrait concerner 30% des bâtiments. La QAI est une des causes principales
- ▶ Nombreuses études ont mis en exergue le lien entre QAI et productivité
- ▶ Solutions existent pour améliorer la QAI
- ▶ Autres facteurs influent sur la sensation de bien être au travail
- ▶ Cela fait parti des risques à évaluer dans le DU + plan d'actions





Avez-vous des questions ?

Un corpus réglementaire applicable depuis le 1er janvier 2023...

Les textes réglementaires applicables depuis le 1er janvier 2023 sont les suivants :

- [**Décret n° 2022-1689 du 27 décembre 2022**](#) modifiant le code de l'environnement en matière de surveillance de la qualité de l'air intérieur
- [**Décret n° 2022-1690 du 27 décembre 2022**](#) modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012
- [**Arrêté du 27 décembre 2022 modifiant l'arrêté du 1er juin 2016**](#) relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public
- [**Arrêté du 27 décembre 2022 modifiant l'arrêté du 1er juin 2016**](#) relatif aux modalités de présentation du rapport d'évaluation des moyens d'aération
- [**Arrêté du 27 décembre 2022**](#) fixant les conditions de réalisation de la mesure à lecture directe de la concentration en dioxyde de carbone dans l'air intérieur au titre de l'évaluation annuelle des moyens d'aération

[Protocole de mesure en continu du dioxyde de carbone dans l'air \(indice de confinement de l'air ICONE\) dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de l \(oqai.fr\)](#)



FOCUS SUR LES APPAREILS DE BUREAUTIQUE

- ▶ Imprimantes: production de COV, PM10, Ozone
- ▶ Plastiques, circuits imprimés: toluène, éthylbenzène, styrène
- ▶ Encre: articles de carbone
- ▶ Produits de nettoyage: pollution secondaire
 - Réaction des terpènes avec l'ozone
 - ➔ Formaldéhyde, particules ultra-fines



VGAI établies par l'ANSES

Concentration dans l'air intérieur d'une substance chimique en dessous desquelles aucun effet sanitaire ou aucune nuisance ayant un retentissement sur la santé n'est attendu pour la population générale dont les individus les plus sensibles en l'état des connaissances actuelles.

INRS et DGT « conseillent » de retenir et de suivre les VGAI comme valeurs de référence en cas de mesure de polluants chimiques dans des locaux à pollution non spécifique

https://www.anses.fr/fr/system/files/Tableau_VGAI_Avril2021.pdf

SUBSTANCE	CHEMICAL ABSTRACTS Service (CAS)	VALEUR-GUIDE POUR L'AIR INTÉRIEUR
Formaldéhyde	50-00-0	100 µg/ m3 pour une exposition à court terme
Benzène	71-43-2	2 µg/ m ³ pour une exposition de longue durée



CRITÈRES PRODUITS CONSTRUCTION

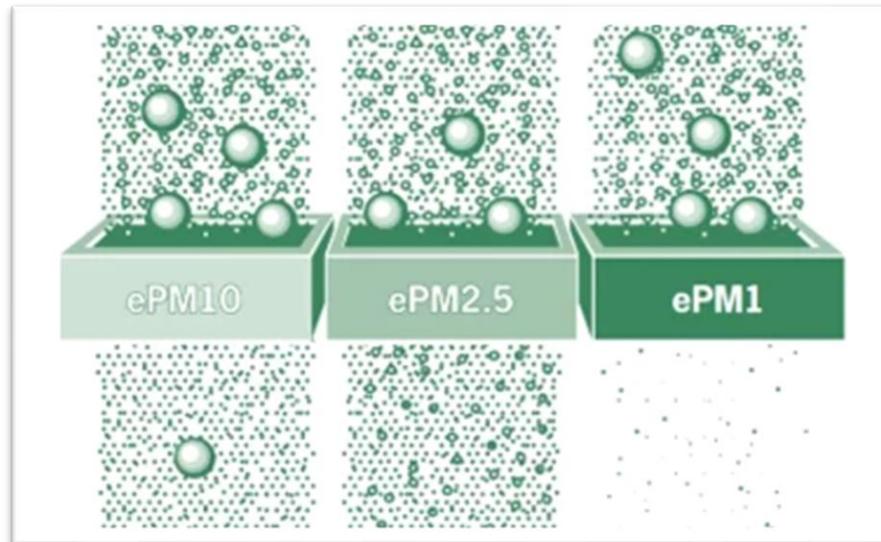
4 classes d'émission de A+ à C

Substances	n° CAS	normes mesure	classes d'émission			
			C	B	A	A+
formaldéhyde	50-00-0	ISO 16000-3	> 120	< 120	< 60	< 10
acétaldéhyde	75-07-0	ISO 16000-3	> 400	< 400	< 300	< 200
toluène	108-88-3	ISO 16000-6	> 600	< 600	< 450	< 300
tétrachloréthylène	127-18-4	ISO 16000-6	> 500	< 500	< 350	< 250
xylène	1330-20-7	ISO 16000-6	> 400	< 400	< 300	< 200
1,2,4-triméthylbenzène	95-63-6	ISO 16000-6	> 2000	< 2000	< 1500	< 1000
1,4-dichlorobenzène	106-46-7	ISO 16000-6	> 120	< 120	< 90	< 60
éthylbenzène	100-41-4	ISO 16000-6	> 1500	< 1500	< 1000	< 750
2-butoxyéthanol	111-76-2	ISO 16000-6	> 2000	< 2000	< 1500	< 1000
styrène	100-42-5	ISO 16000-6	> 500	< 500	< 350	< 250
COVT		ISO 16000-6	> 2000	< 2000	< 1500	< 1000



LA FILTRATION

- ▶ Ancienne norme EN 779 classait les filtres à air de G1 à F9 et les classes d'efficacité de M5 à F9 s'appuyaient sur une **taille moyenne de particules de 0,4 µm** (micromètres).
- ▶ Nouvelle norme ISO 16890 (depuis 1^{er} juillet 2018) définit l'efficacité de la filtration pour **3 plages de taille de particules** : PM1 (0,3-1,0 µm), PM2,5 (0,3-2,5 µm) et PM10 (0,3-10 µm).



Recommandations tertiaire : filtres classés ePM1 minimum 50%

EFFICACITÉS DES ÉPURATEURS D'AIR INTÉRIEUR ?



- ▶ Uniquement comme **compléments aux systèmes de ventilation** / pollution particulaire
- ▶ **Equipés filtres HEPA de classe minimale H13** selon la norme EN 1822-1
- ▶ Fortement **déconseillé de choisir des appareils utilisant un traitement physico-chimique de l'air** (catalyse, photocatalyse, plasma, ozonation, charbons actifs...) : efficacité vis-à-vis virus n'est pas prouvée et formation de composés potentiellement dangereux pour la santé (CMR).