



HUB VIBEO

DE LA PERFORMANCE DES ESPACES TERTIAIRES

L'IMPACT DE LA QUALITÉ DE
L'AIR INTÉRIEUR SUR LA VALEUR
D'USAGE DU BÂTIMENT

QU'EST-CE QUE LE HUB VIBEO ?

Le Hub VIBEO regroupe les entreprises qui pilotent la valeur d'usage des espaces tertiaires. Définie à la fois par les qualités intrinsèques du bâtiment, les aménagements intérieurs et extérieurs, les services offerts et l'emplacement, la valeur d'usage est donc la valeur financiarisée des caractéristiques globales d'un bâtiment. Dans le cas d'un bureau, elle peut s'exprimer par un gain sur la productivité.

Le Hub VIBEO s'est constitué afin de mieux caractériser les concepts de valeurs immatérielle et d'usage dans le bâtiment. Il regroupe une grande variété d'acteurs qui apportent leurs compétences sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment : conception, construction, exploitation.

Le Hub VIBEO est également un lieu de partage et de collaboration, notamment à travers la réalisation d'études collectives ou encore de retours d'expérience sur le thème de la valeur d'usage du tertiaire.

Les premières entreprises du Hub VIBEO sont :



En 2022, trois bureaux d'étude ont rejoint le Hub afin de mettre leur expertise à disposition des membres. Ils ont largement contribué à l'élaboration de cette étude grâce à leur connaissance terrain poussée de la qualité de l'air intérieur des bâtiments tertiaires.



SOMMAIRE





Introduction	4
Objectifs de l'étude	6
Résultats de l'étude	7
La qualité de l'air intérieur (QAI) : un facteur limitant, un ROI très faible, mais peu d'études	7
Agir sur la QAI, c'est mesurer puis mettre en place des solutions techniques et comportementales	7
Pour passer à l'action, 3 bouquets d'actions existent	8
Visualisation de l'impact de chaque bouquet d'action sur la valeur d'usage et le temps de ROI	8
Contexte de la QAI dans les immeubles de bureaux	9
Qu'est-ce que la qualité de l'air intérieur ?	9
L'enjeu des bureaux	9
Quels sont les polluants de l'air ?	10
Quelles sont les sources de polluants de l'air intérieur	10
1 Etat de la qualité de l'air intérieur du parc immobilier tertiaire en France	12
1. Etat de la QAI dans les bâtiments de bureaux français	12
1.1 La QAI fait rarement l'objet de mesures	12
1.2 La QAI est souvent perçue comme insatisfaisante par les occupants	12
2. Les conséquences de la QAI sont invisibles mais méritent une attention accrue	16
2.1 Les symptômes associés à une mauvaise QAI	16
2.2 Le cas extrême du syndrome du bâtiment malsain	17
2.3 Le risque d'effet cocktail en cas de multi-pollution	18
2.4 L'impact sur la performance des travailleurs et les coûts induits	19
3. Conclusion	20
2 Les solutions pour améliorer la qualité de l'air intérieur	21
1. Effectuer un état des lieux de la performance du bâtiment	21
1.1 Mesurer la qualité de l'air intérieur	21
1.2 Mesurer l'ensemble des paramètres de confort	22
2. Les bouquets d'actions à entreprendre pour améliorer la QAI	23
2.1 Le cas d'un bâtiment des années 1980	24
2.2 Le cas d'un bâtiment des années 2000	26
3. L'impact des bouquets d'actions sur la valeur d'usage des bâtiments	28
3.1 Méthodologie	28
3.2 Le cas d'un bâtiment des années 1980	29
3.3 Le cas d'un bâtiment des années 2000	30
Conclusion	30
Références	32

INTRODUCTION

De nombreuses caractéristiques d'un bâtiment influencent les productivités individuelles et collectives des collaborateurs, par exemple l'acoustique, la luminosité ou la variété des espaces de travail. D'autres facteurs impactent les charges, comme l'exposition ou la consommation d'eau. L'ensemble de ces facteurs constituent la valeur d'usage du bâtiment. Définie à la fois par les qualités intrinsèques du

bâtiment, les aménagements intérieurs et extérieurs, les services offerts et l'emplacement, la valeur d'usage est la valeur issue des caractéristiques globales d'un bâtiment ; une partie de cette valeur d'usage peut être financiarisée. Dans le cas d'un bureau, l'expression financière de cette valeur d'usage se traduit notamment par des gains de productivité des salariés. Thésaurus-VIBEO est un outil prédictif

permettant d'estimer la valeur d'usage d'un bâtiment. Le bâtiment étudié est comparé soit à des standards de construction définis au regard du parc immobilier français existant, soit à une autre situation (bâtiment optimisé, autre bâtiment, situation de télétravail). Les standards proposés par le modèle sont définis de la manière suivante :

	Standard Performant	Standard de base	Standard peu performant
	Le bâtiment dispose d'un bon niveau de conception fonctionnelle répondant à la plupart des besoins des utilisateurs	Le bâtiment dispose d'un agencement qui associe open-space et bureaux cloisonnés, et de quelques services internes qui permettent de satisfaire pour partie aux attentes des usagers	La structure organisationnelle de l'ouvrage est très hiérarchisée : bureaux fermés et cloisonnés, assortis de zones d'archivage et de stockage, qui ne répondent plus aux besoins actuels des usagers
	De facture récente, il répond aux exigences de gestion durable de l'énergie et de l'environnement (il fait l'objet d'une certification environnementale, par exemple éq.RT2012 ou BBC 2005)	Il répond à des normes thermiques et environnementales de qualité standard (par exemple RT2005)	De facture ancienne, le bâtiment ne satisfait pas aux exigences de gestion durable de l'énergie et de l'environnement.
	Temps de trajet moyen français. Ecart de - 50 % pour ce standard.	Temps de trajet moyen français. Valeur moyenne pour ce standard.	Temps de trajet moyen français. Ecart de + 50 % pour ce standard.
	Le bâtiment est situé dans une zone urbaine bien desservie par les transports en commun et plusieurs services de mobilité sont proposés sur le site.	Le bâtiment est situé dans une zone semi-urbaine bien desservie par les transports en commun et quelques services de mobilité sont proposés sur le site.	Le bâtiment est situé dans une zone semi-urbaine mal desservie par les transports en commun et aucun service de mobilité n'est proposé sur le site.

L'outil génère un bilan économique global à partir d'un écart de productivité (gain ou perte), entre la situation actuelle et la situation comparée. Les gains ou pertes de productivité proviennent de la variation des facteurs de productivité identifiés dans la littérature académique. La formule permettant d'évaluer la productivité est la suivante :

$$\text{PRODUCTIVITÉ} = \frac{\text{QUANTITÉ}}{\text{COÛTS}}$$

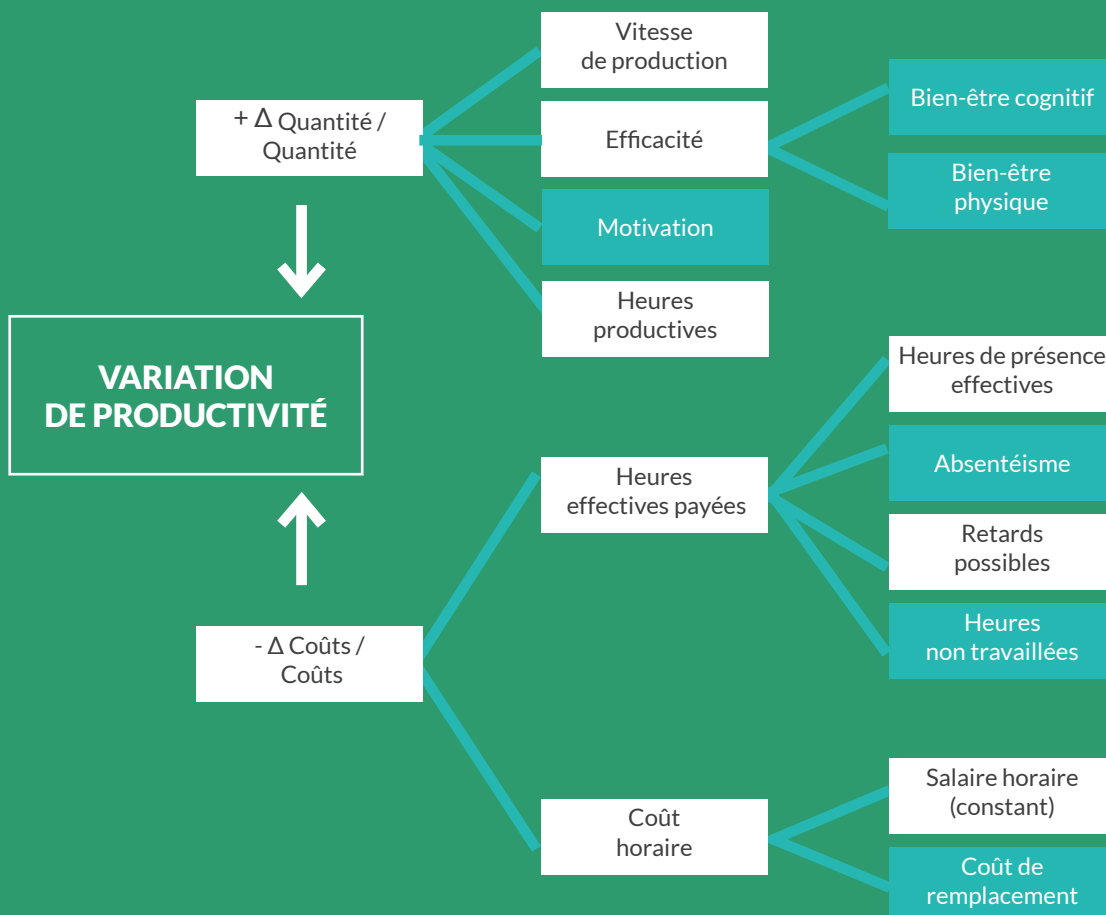
En considérant la quantité comme un produit de l'efficacité et de la motivation, la formule permettant d'évaluer l'écart de productivité est la suivante :

$$\frac{\Delta \text{PRODUCTIVITÉ}}{\text{PRODUCTIVITÉ}} = \frac{(1 + \Delta \text{Efficacité}) * (1 + \Delta \text{Motivation})}{1 + \Delta \text{Coûts}} - 1$$

Pour de petites variations, nous pouvons démontrer la relation suivante¹:

$$\frac{\Delta \text{PRODUCTIVITÉ}}{\text{PRODUCTIVITÉ}} = \frac{\Delta \text{Quantité}}{\text{Quantité}} - \frac{\Delta \text{Coûts}}{\text{Coûts}} = \frac{\Delta \text{Efficacité}}{\text{Efficacité}} + \frac{\Delta \text{Motivation}}{\text{Motivation}} - \frac{\Delta \text{Coûts}}{\text{Coûts}}$$

Les composantes de la quantité et les coûts ne sont pas forcément influencés par les qualités du bâtiment. L'arbre ci-dessous présente les éléments de décomposition sur lesquels le bâtiment peut avoir une influence (en bleu) :



¹ Cette relation relève d'un calcul de différentielles logarithmiques

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

La publication du HUB VIBEO de juin 2022 visait à élaborer une matrice de décision pour augmenter la valeur d'usage de son bâtiment tertiaire lors d'une rénovation.

Lors de cette étude, la qualité de l'air intérieur (QAI) est apparue comme étant un facteur important de l'amélioration de la valeur d'usage. En effet, l'amélioration de la qualité de l'air intérieur permettrait une **forte hausse de la performance des occupants** tout en ayant un temps de retour sur investissement rapide. A titre de comparaison, le temps de retour sur investissement moyen des travaux portant sur l'amélioration du confort hygrométrique est plus long et le gain moyen de performance des occupants plus faible.

Aussi, d'après l'observatoire du Hub VIBEO constitué de 30 évaluations de bâtiments, **la qualité de l'air apparaît comme facteur limitant**. Cela signifie que, pour ces bâtiments, l'amélioration de la qualité de l'air intérieur est un aspect à traiter de façon prioritaire.

En effet, sans l'améliorer, les gains de productivité issus d'autres actions d'amélioration ne pourront être que minimales. A contrario, une amélioration de la qualité de l'air intérieur se traduira par un fort gain de performance des occupants. Pour autant, cette thématique ne semble, pour l'heure, pas être perçue comme telle, l'attention semblant davantage se porter sur le confort hygrothermique **à l'heure d'éco-énergie tertiaire**. Les deux aspects peuvent néanmoins être liés, l'un pouvant être l'occasion d'améliorer le second.

L'objectif de la présente étude est donc de quantifier l'impact de la qualité de l'air intérieur sur la valeur d'usage de façon plus poussée que dans la précédente étude mais aussi de proposer des bouquets d'actions à mener pour les gestionnaires, propriétaires et occupants de bâtiments tertiaires souhaitant améliorer leur qualité de l'air intérieur.

LES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR (QAI) : UN FACTEUR LIMITANT, UN ROI TRÈS FAIBLE, MAIS PEU D'ÉTUDES

D'après la [précédente étude du Hub VIBEO](#), la qualité de l'air intérieur doit faire l'objet d'une attention particulière puisqu'elle est souvent le **facteur limitant** des bâtiments de bureaux.

Cela signifie que, pour ces bâtiments, **l'amélioration de la qualité de l'air intérieur est un aspect à traiter de façon prioritaire**. En effet, sans l'améliorer, les gains de productivité issus d'autres actions d'amélioration ne pourront être que minimes. A contrario, une amélioration de la qualité de l'air intérieur se traduira par un fort gain de performance des occupants.

Pour autant, la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux en France fait l'objet de peu de mesures. D'après l'OQAI (Observatoire de la qualité de l'air intérieur), 69 % des bâtiments de bureaux sont peu pollués, 5 % sont multi-pollués et 26 % disposent d'une concentration trop élevée en COV (aldéhydes) c'est-à-dire au-delà des seuils prescrits par l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire

de l'alimentation, de l'environnement et du travail).

Cela peut nuire à la concentration des occupants, à leur bien-être, leur santé ou encore leur productivité. L'ensemble de ces conséquences impacte donc directement les entreprises, car elles impliquent une détérioration de l'environnement de travail et du bien-être voire de la santé des employés, mais aussi in fine un impact économique et des coûts induits. Ainsi, la question de la qualité de l'air intérieur n'est pas seulement une **question sanitaire**, mais également une **question ayant trait à la performance économique de l'entreprise**.

Thésaurus-VIBEO est un outil permettant d'estimer les **gains en valeur d'usage** permis par des bouquets de travaux et de les financieriser. Ainsi, les investissements pour l'amélioration de la qualité de l'air intérieur disposent d'un **ROI court**, comme démontré dans la précédente étude.

AGIR SUR LA QAI, C'EST MESURER PUIS METTRE EN PLACE DES SOLUTIONS TECHNIQUES ET COMPORTEMENTALES

La **première étape d'une démarche d'amélioration consiste en un état des lieux**. Lorsque l'on s'intéresse à la qualité de l'air intérieur, un audit est nécessaire. Par ailleurs, il est recommandé de s'intéresser à l'ensemble des paramètres de confort puisqu'ils influencent la qualité de l'air réelle ou perçue. Une fois les axes d'amélioration identifiés, deux types de solutions existent, dépendamment du problème.

Les **solutions techniques** visent à améliorer la fonction d'usage en mobilisant un ou plusieurs équipements et composants. Il peut s'agir d'actions relatives à :

- La conception du bâtiment et de ses équipements ;
- L'efficacité et l'adaptation des équipements ;

- Le choix des matériaux et produits ;
- La charte de maintenance et d'entretien des installations.

Les **solutions comportementales** tentent de modifier les comportements inadaptés que les usagers ont acquis par leur expérience quotidienne. Ces actions peuvent concerner :

- Des règles de comportement (interdiction de la consommation de tabac à l'intérieur) ;
- Des choix d'usage de produits d'entretien (désodorisants, détergents etc.) ;
- L'implication des usagers dans les paramètres de confort et de qualité de l'air (choix de la température, aération naturelle, niveau d'humidité etc.).

POUR PASSER À L'ACTION, 3 BOUQUETS D' ACTIONS EXISTENT

1

Un bouquet d'actions prioritaires

Il s'agit des actions à mener en première intention. Elles sont un préalable à l'adoption d'actions complémentaires. C'est pour cela que l'audit de l'existant est indispensable afin de savoir, parmi ces actions, lesquelles sont pertinentes pour le bâtiment cible.

1 AN < ROI < 2 ANS

Les objectifs

- Mise en conformité ;
- Limiter la pollution ;
- Réviser les installations existantes.

2

Un bouquet d'actions opportunistes

A mettre en place lors de la réalisation de travaux dédiés par ailleurs. Notamment à l'occasion du décret tertiaire, il est possible que des travaux relatifs à l'amélioration de la qualité de l'air intérieur puissent s'intégrer à moindre frais.

ROI : ENVIRON 5 ANS

Les objectifs

- Réaménagement ;
- Installation GTB ;
- Modernisation de la ventilation ;
- Négociation du contrat ménage.

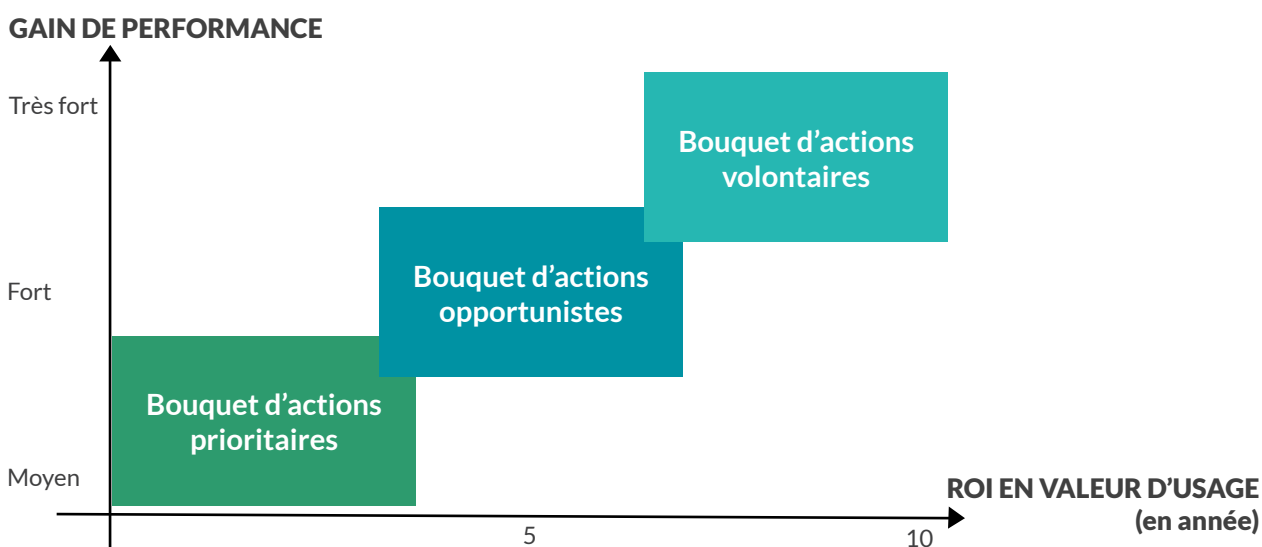
3

Un bouquet d'actions exemplaires

Ce dernier type d'actions vise à atteindre une qualité de l'air optimale, avec parfois un double objectif tel que l'économie d'énergie.

ROI : 10 ANS

VISUALISATION DE L'IMPACT DE CHAQUE BOUQUET D' ACTIONS SUR LA VALEUR D'USAGE ET LE TEMPS DE ROI



CONTEXTE DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR DANS LES IMMEUBLES DE BUREAUX

Après le logement, c'est au bureau que l'on passe le plus de temps, **7,9 heures par jour** en moyenne en 2019 selon l'INSEE. Le lieu de travail représente le second lieu où nous passons le plus de temps après le domicile or, en 2018, selon l'INSEE, 76,1 % des Français occupent un emploi dans le secteur tertiaire.

QU'EST-CE QUE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR ?

D'après l'ANSES, en climat tempéré comme en France, 85 % du temps quotidien des individus est passé dans des environnements clos, majoritairement l'habitat (Anses, 2021). Or, la qualité de l'air intérieur est un sujet recevant nettement moins d'attention que la qualité de l'air extérieur. Souvent, les données collectées lors des mesures de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments (qui doivent permettre d'établir des critères sanitaires) demeurent insuffisantes pour parvenir à des valeurs de référence chez les individus, ainsi il est complexe d'estimer précisément les impacts sur leur santé de la qualité ou dégradation de l'air intérieur (Anses, 2021).

C'est pour faire face à cet enjeu que l'Anses a proposé une méthode d'élaboration des VGAI (Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur), qui permettent de définir des objectifs précis en termes de niveaux

de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère à atteindre à long terme avec le but de préserver la santé humaine et l'environnement dans l'ensemble (Anses, 2021).

Définies en 2011 par l'Anses, les VGAI sont des valeurs numériques associées « à un temps d'exposition correspondant à une concentration dans l'air d'une substance chimique en dessous de laquelle aucun effet sanitaire ou aucune nuisance ayant un retentissement sur la santé » ne sont en principe attendus (Anses, 2021). Elles sont fixées afin de protéger d'effets à seuil de dose de polluants.

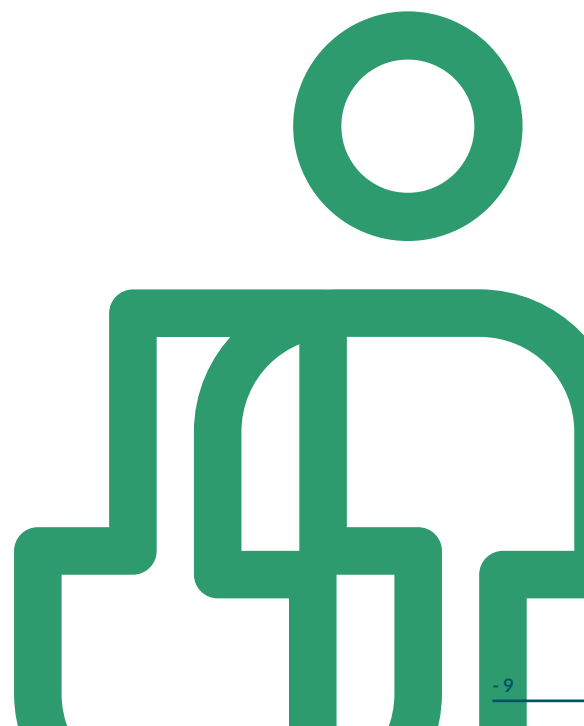
Ainsi, une bonne qualité de l'air intérieur peut être définie **comme l'absence de polluants dans l'air, ou bien leur présence en quantité « acceptable »**, d'après les seuils définis par l'Anses.

L'ENJEU DES BUREAUX

Si les espaces de bureaux constituent le second lieu intérieur où les individus passent le plus de temps, ils sont bien moins étudiés que les logements, alors même qu'ils présentent de nombreuses spécificités du point de vue de la qualité de l'air intérieur : entretien particulier, systèmes de ventilation particuliers, mobilier et revêtements particuliers, forte quantité d'appareils bureautiques... (OQAI, 2014).

La qualité de l'air intérieur est déterminante pour de multiples enjeux :

- Pour la santé et le bien-être : une mauvaise qualité de l'air intérieur peut entraîner une détérioration de la santé (par exemple avec des allergies, maux de tête, asthme, irritations, somnolence, syndrome des bâtiments malsains, etc.) et du confort général des individus. Cela peut ensuite entraîner des conséquences directes sur la qualité du travail (employés moins présents, ou encore moins motivés, etc.)



- Pour la **performance économique** : un environnement intérieur non optimisé ou dégradé peut représenter un coût économique important, lié à une baisse de performance et d'efficacité des individus dans ces espaces de travail.
- Pour l'**environnement** : afin de préserver les ressources en matériaux et énergie, les immeubles de bureaux doivent être conçus ou rénovés en limitant leurs impacts sur les occupants mais aussi la biodiversité et l'environnement au sens large. Cela conduit à un raisonnement global sur la réduction des émissions (construction passive ou positive notamment) mais aussi sur l'efficacité des solutions techniques réduisant les nuisances environnementales de la construction (système de ventilation notamment).

QUELS SONT LES POLLUANTS DE L'AIR ?

L'air peut être contaminé par de nombreux polluants. Ces polluants peuvent provenir de l'air extérieur, du bâtiment et de ses équipements, ou encore de ses occupants et de leurs activités (Baudouin, 2006). Il peut s'agir :

- De **polluants chimiques** : pouvant exister sous forme de gaz, d'aérosols ou de particules, les polluants chimiques sont de loin les plus nombreux. Leur toxicité pour les individus provient de leur composition chimique, et touche principalement les fonctions respiratoires. Ils comprennent :
 - Le **monoxyde de carbone (CO)**, qui vient de la combustion incomplète de matériaux carbonés (installations de chauffage mal réglées généralement).
 - Les **oxydes d'azote (NOx)**, qui viennent de combustion à haute température (installations de chauffage ou production d'eau chaude, gazinières, tabagisme, circulation automobile...).
 - L'**ozone (O₃)**, qui se forme sous l'effet du rayonnement solaire à partir du NO₂ et du CO, ou vient d'imprimantes laser, photocopieurs et certains purificateurs d'air.
 - Le **dioxyde de carbone (CO₂)**, qui provient principalement de la respiration.
 - Les **composés organiques volatiles (COV)**, qui viennent des matériaux de construction, de l'ameublement et des équipements (installations de chauffage, imprimantes) ou encore des activités humaines (tabagisme, entretien, bricolage).
 - Le **plomb**, qui vient d'écaillés de peintures.
- De **polluants physiques** : en l'occurrence le radon, gaz radioactif d'origine naturelle.
- De **polluants particulaires** : poussières, amiante et autres fibres minérales tel que les laines de roches et de verre (ces polluants sont des particules solides, plus ou moins fines).
- De **polluants biologiques** : bactéries, virus, moisissures, allergènes (d'animaux ou d'insectes), acariens, pollens.

Les **paramètres de confort de l'air** (température, humidité, luminosité, renouvellement de l'air, etc...) sont également à prendre en considération car ils sont directement impliqués dans l'apparition de pollutions intérieures (comme des acariens ou moisissures) et ainsi dans l'altération de la qualité de l'air intérieur (réelle ou perçue).

QUELLES SONT LES SOURCES DE POLLUANTS DE L'AIR INTÉRIEUR ?

- L'**extérieur** : certains polluants proviennent de l'extérieur des bâtiments, comme par exemple ceux issus de la circulation automobile.
- Les **individus** et leurs activités : les produits d'entretien (détergents, désodorisants...) sont à l'origine de l'émission de COV, le tabagisme émet des particules nocives (concentration élevée en nicotine notamment), etc.
- Le **bâti** et les matériaux de construction : Lee et al. ont mis en évidence le fait que certains matériaux de construction peuvent fortement affecter la qualité de l'air intérieur, surtout les matériaux

poreux qui peuvent dégager ou absorber des composés organiques volatiles (Lee, Haghghat et al. 2005). Les matériaux d'isolation ainsi que les encadrements de fenêtres en particulier peuvent être à l'origine de contaminations bactériennes et fongiques (moisissures susceptibles de produire des mycotoxines) (Halonen, Kokotti et al. 2005).

- Les **équipements** et le mobilier : Les polluants intérieurs émanant des équipements et du mobilier peuvent provenir des appareils d'impression, des ordinateurs, ainsi que des éléments de décoration de l'intérieur des bâtiments. D'après une étude de Lee et al., le fonctionnement des imprimantes et photocopieurs est à l'origine d'ozone, en raison des rayonnements UV ou laser, des décharges électrostatiques ou des hautes tensions électriques. Les imprimantes laser peuvent aussi être à l'origine de COV, et l'encre de particules de carbone (Lee, Lam et al. 2001). Les ordinateurs sont également une source importante d'émissions de composés chimiques (phénol, toluène, 2- ethylhexanol, formaldéhyde et styrène) qui dégradent la qualité de l'air

intérieur (Baudouin). Bako-Biro et al. ont montré que la présence d'ordinateurs dans une pièce augmentait le pourcentage de personnes insatisfaites de la qualité de l'air intérieur de 13% à 41%, et augmentait de 9% le temps nécessaire pour rédiger un texte (Bako-Biro, Wargocki et al., 2004). Les éléments de décoration sont également une source de polluants, notamment de COV. Cela comprend les moquettes, linoléums, panneaux de bois, papiers peints, revêtements en tissus, mais aussi le mobilier avec les bureaux, tables, et chaises. Les COV qui en émanent sont multiples, et ont des conséquences sur les fonctions respiratoires (asthme...) (Baudouin, 2006). Néanmoins, ces émissions tendent à décroître fortement avec le temps.

- Le **système de ventilation** : Les filtres âgés d'un système de ventilation qui arrivent à saturation peuvent relarguer des polluants préalablement filtrés, ou créer des réactions entre les polluants fixés sur les filtres qui génèrent ainsi des composés nocifs qui vont dégrader la qualité de l'air intérieur (Clausen, 2004).

En conclusion, voici les différentes sources de polluants qui peuvent influencer la qualité de l'air intérieur (présentation inspirée de celle de l'institut de veille sanitaire) :

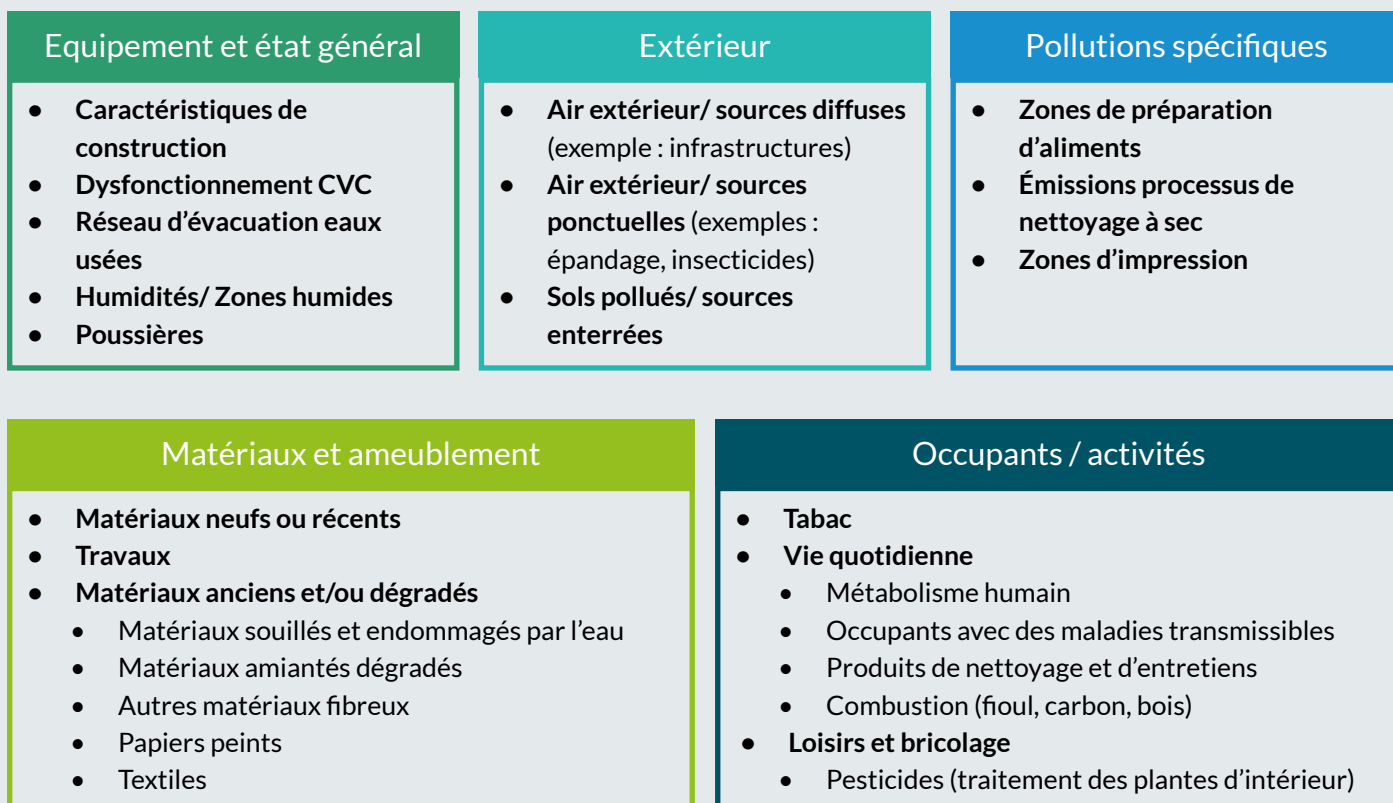


Figure 1 : Exemples de sources et facteurs contribuant à la qualité de l'air à l'intérieur des locaux

1

ÉTAT DE LA QAI DU PARC IMMOBILIER TERTIAIRE EN FRANCE

La qualité de l'air intérieur du parc immobilier tertiaire est avant tout une question de confort des environnements de travail, et a donc un impact direct sur la qualité de la concentration des occupants, la qualité de leur travail et de leurs relations dans l'enceinte des bureaux, et donc sur leur productivité. Aussi, les paramètres fondamentaux de ce confort influent sur la perception par les occupants des risques et de la qualité de leur environnement de travail, et une mauvaise qualité de l'air peut représenter un coût important pour les entreprises, via les troubles physiologiques qu'elle cause chez les occupants.

Ainsi, cette première partie explorera l'état de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments tertiaires de bureaux en France à travers la revue d'études de terrain, pour ensuite détailler les conséquences physiques, économiques et humaines d'une mauvaise qualité de l'air intérieur pour les entreprises.

1. ÉTAT DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR DANS LES BÂTIMENTS DE BUREAUX FRANÇAIS

La qualité de l'air dans les bâtiments tertiaires français est peu mesurée, bien moins que celle des logements. Deux études récentes se sont penchées sur cette thématique en combinant à chaque fois mesures des concentrations et polluants ; et interrogation des occupants. L'objectif est ainsi de confronter la pollution mesurée et les symptômes existants.

1.1 LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR FAIT RAREMENT L'OBJET DE MESURES

L'Observatoire Français de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI), organisme de référence en matière d'étude de la qualité de l'air intérieur, a recensé les études internationales effectuées à propos de la qualité de l'air intérieur entre 2009 et 2012 : 71 portaient sur les logements, 19 portaient sur les écoles/crèches et 8 portaient sur les bâtiments de bureaux. Pourtant, les bâtiments de bureaux présentent des caractéristiques propres : VMC, forte densité humaine et technologique, systèmes d'impression, mobilier nombreux, entretien des locaux intensif du fait de la fréquentation, etc.

Le sujet est donc très peu étudié. Deux études de grande ampleur ont depuis été publiées :

LE PROJET OFFICAIR

La première est le résultat du projet européen OFFICAIR (On the reduction of health effects from combined exposure to indoor air pollutants in modern offices, dont l'OQAI). Il a été conduit entre 2010 et 2014 par 13 partenaires de 8 pays d'Europe : Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Italie, Pays-Bas et Portugal. L'OQAI reprend dans un rapport les conclusions de cette étude.

Pour la première phase de l'étude, 167 bâtiments ont été sélectionnés sur la base du volontariat. Les données techniques de chacun des bâtiments tertiaires ont été recueillies. Si l'on s'intéresse exclusivement aux immeubles français :

- 52 % des bâtiments participant à l'étude étaient rénovés (contre 19 % dans le panel européen) ;
- 100 % étaient ventilés mécaniquement avec 19 immeubles disposant d'une VMC double-flux et 2 d'une VMC simple flux ;
- 76 % des immeubles étaient climatisés (contre 93 % dans le panel européen).

La seconde phase de l'étude consistait en la mesure, en été puis en hiver, du lundi au vendredi, de la qualité de l'air de 4 espaces de travail ainsi que l'air extérieur. 37 bâtiments ont participé à cette seconde phase dont 9 bâtiments français. Les paramètres mesurés lors de cette seconde phase sont :

- 7 aldéhydes ;
- 12 composés organiques volatils (COV) ;
- Dioxyde d'azote (NO₂) ;
- Ozone (O₃) ;
- Particules de diamètre médian inférieur à 2,5 µm (masse et composition), appelées PM_{2,5} ;
- Température et humidité relative.

Les résultats des mesures ainsi que les VGAI sont les suivantes :

Unité : µg.m-3	Été		Hiver		VGAI long terme en France
	Médiane tous immeubles (n=37)	Médiane immeubles français (n=9)	Médiane tous immeubles (n=35)	Médiane immeubles français (n=9)	
Benzène	0,95	2,2	1,8	1,5	2
Toluène	4,7	15	2	2,8	20 000
Ethylbenzène	1,1	2,7	1,0	0,9	1 500
Xylènes	2,5	3,5	2,2	2,2	/
n-hexane	1,4	3,0	1,2	1,1	/
α-pinène	3,0	3,5	4,3	3,7	/
Limonène	3,9	4,5	16	16	/
Formaldéhyde	14	16	7,5	6,4	100
Acétaldéhyde	6,1	6,3	4,5	3,5	160
Propionaldéhyde	2,4	2,4	1,2	0,9	/
Hexanal	10	12	4,4	4,6	/
Dioxyde d'azote	16	13	18	19	40
Ozone	5,6	1,8	< 0,8	1,9	20
PM _{2,5} *	9,2	/	16	/	10

* Les particules n'ont pas été mesurées dans tous les immeubles en raison de contraintes techniques

Figure 2 : Concentration des polluants de l'air lors de la phase 2 de l'étude OFFICAIR, tableau mis en forme par l'OQAI

Les concentrations sont inférieures aux valeurs de référence à l'exception du benzène en été. Pour autant, on note une concentration accrue de certains polluants suivant la saison. En hiver, benzène, α -pinène, limonène et dioxyde d'azote présentent une concentration plus importante alors que le formaldéhyde et l'ozone sont plus importants en été. Cette étude précise également qu'au sein d'un même bâtiment, les concentrations varient d'un espace à l'autre.

En conclusion, pour mesurer la qualité de l'air d'un bâtiment il faut :

- Effectuer des mesures dans plusieurs espaces ;
- Effectuer des mesures à minima lors de deux saisons contrastées.

LA CAMPAGNE NATIONALE BUREAU

La seconde étude d'ampleur est la campagne nationale bureau. Elle a été menée par l'OQAI face au manque de données sur la qualité de l'air intérieur dans les bureaux. Elle a permis d'étudier 645 espaces de travail dont 85 tirés au sort et 44 volontaires, entre 2013 et 2017.

Les polluants étudiés étaient les particules ultrafines (inférieures à $0,1\mu\text{m}$), les paramètres d'ambiance (température, humidité relative et CO_2) ainsi que les COV et aldéhydes classés en trois catégories :

- Les classiques : benzène, toluène, tétrachloroéthylène, formaldéhyde et acétaldéhyde
- D'autres composés d'intérêt, i.e. fréquemment rencontrés dans les logements : hexanal, benzaldéhyde, éthylbenzène, xylènes, styrène, naphthalène, 2-butoxyéthanol et phénol
- Des composés spécifiques de certaines sources, intéressants à rechercher comme les COV émis par les produits d'entretien et parfums : limonène et α -pinène

Lorsque l'on s'intéresse à l'échantillon étudié, il est à noter que :

- Les immeubles de bureaux étudiés se situaient tous en zone urbaine (40 dans des zones commerciales et/ou industrielles, 12 % en zone périurbaine et 48 % en zone à forte densité d'habitations).
- 35 % des bureaux étaient des bureaux paysagers.
- 82 % des bâtiments disposaient d'une VMC (pour 74 % d'entre eux, une à double flux et pour 26 % une à simple flux). 73 % des immeubles disposaient d'une climatisation. Dans 15 % il était possible d'ouvrir les fenêtres dans les espaces de bureaux.

D'après les mesures effectuées, **la valeur guide réglementaire de qualité de l'air intérieur en benzène est dépassée dans 26 % des espaces de bureaux** et la valeur d'alerte dans 2 %. Ces concentrations élevées

se retrouvent notamment dans les zones urbaines denses.

La concentration médiane des particules ultrafines s'élevait à 6 800 particules par cm^3 . Cette concentration est corrélée à :

- Une construction ancienne
- Une absence de VMC ou une VMC simple flux
- La saison estivale
- Une présence importante d'imprimantes ou de photocopieuses dans l'espace de travail

A titre de comparaison, la concentration en particules ultrafines à Paris s'élevait à 6 600 particules par cm^3 en zone urbaine en Ile-de-France en période hivernale 2020-2021 (contre 2 700 particules par cm^3 en zone rurale) selon Airparif.

Enfin, le temps où la concentration en CO_2 mesurée était supérieure à 1000 ppm a été mesurée.

Pour 63 % des espaces de bureaux cela ne se produisait pas, pour 11 % c'était le cas moins d'1h par jour et pour 26 % cette concentration était dépassée pendant plus d'une heure par jour.

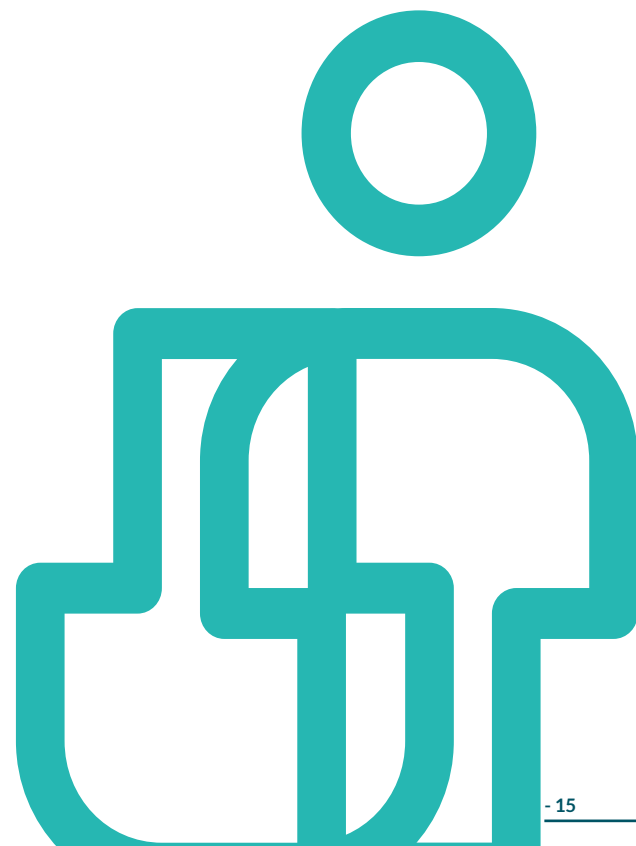
Nous pouvons conclure de ces deux études que les mesures, bien que rares, témoignent de niveaux de qualité de l'air intérieur disparates selon les espaces de bureaux. **Bien que 69 % soient peu pollués selon l'OQAI, 5 % sont multi-pollués et 26 % disposent d'une concentration trop élevée en COV** (aldéhydes). Aussi, il est tout aussi important de se pencher sur le ressenti des occupants des bâtiments.

1.2 LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR EST SOUVENT PERÇUE COMME INSATISFAISANTE PAR LES OCCUPANTS

Lors du projet OFFICAIR, les occupants ont été invités à participer à des exercices en ligne visant à évaluer la sécheresse de yeux, la réactivité et la mémorisation. Cette étude est la première à combiner mesure de la qualité de l'air intérieur et évaluation de la performance au travail sur des sites réels. Un questionnaire en ligne anonyme a été envoyé aux occupants des bâtiments afin de recueillir les données relatives à la santé et au confort. Ces thèmes doivent ici être compris au sens large puisqu'ils recoupaient des questions relatives à l'environnement physique mais aussi aux risques psychosociaux (RPS) : reconnaissance au travail, charge de travail, etc. D'après les 7 441 répondants, quel que soit le pays, les deux paramètres d'inconfort sont le bruit généré par les autres occupants et l'**air trop sec**.

La campagne nationale bureau a aussi questionné 5 547 occupants sur les paramètres de confort en été et en hiver. Le sentiment d'**air confiné** (30 %) et d'**air sec** (20 à 30 %) sont perçus quelle que soit la saison. Ils ont aussi été questionnés sur leur santé : 40 % rapportent des difficultés de concentration et autant rapportent de la fatigue.

Il est donc important de se concentrer sur les conséquences de cette qualité de l'air intérieur dégradée au vu des mesures et des symptômes rapportés par les occupants.



2. LES CONSÉQUENCES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SONT INVISIBLES MAIS MÉRITENT UNE ATTENTION ACCRUE

Une mauvaise qualité de l'air intérieur se traduit par des symptômes pour les occupants, certains plus sérieux que d'autres, mais qui peuvent avoir un impact sur la performance des individus et l'absentéisme (arrêt maladie). Une mauvaise qualité de l'air intérieur pourrait alors représenter un coût pour les entreprises.

2.1 LES SYMPTÔMES ASSOCIÉS À UNE MAUVAISE QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Une mauvaise qualité de l'air intérieur induit un ensemble de pathologies et symptômes, aussi appelés BRS (Building Related Symptoms) :

- **Irritations oculaires** : Ces symptômes sont relativement fréquents, une étude menée auprès de 169 employés de bureaux à Copenhague démontre que 25 % d'entre eux sont touchés par des irritations oculaires plusieurs fois par semaine (Franck, 1986). Ces résultats sont confortés par les travaux conduits par Backman et Haghghat (1999) sur 877 occupants d'immeuble de bureaux et qui révèlent que près d'un tiers d'entre eux souffre de cette pathologie. Cet inconfort oculaire est lié à un changement physiologique des yeux semblable à une sensation d'yeux secs.
- **Irritations cutanées** : Touchant la peau ainsi que la bouche, la gorge et le nez, ces irritations sont déclenchées par une concentration importante en COV (Brasche et al., 2005). Une humidité relative faible entraîne également ces pathologies, et lorsque celle-ci se situe de 10-20 % à 23-24 %, les symptômes diminuent (Lagercrantz et al., 2002). Les irritations perçues et celles objectivement constatées par un médecin peuvent parfois différer et la perception de ces pathologies est accrue si les conditions de travail sont mauvaises ou si la personne est sujette aux allergies (Brasche et al., 2005).
- **Infections** : Les infections, et en particulier celles des voies respiratoires inférieures, sont déclenchées par une contamination microbiologique découlant majoritairement d'un mauvais drainage des réservoirs de climatisation et par la présence de débris dans l'air entrant (Mendell, Naco et al. 2003). Ces facteurs de risque, en lien avec l'efficacité des systèmes de ventilation, sont également soulignés par Myatt, Johnston et al. (2004) qui ont mis en évidence une hausse de la transmission du rhinovirus dans les bâtiments de bureaux si le taux de renouvellement d'air est trop faible. A noter également que la fréquence et le degré de gravité des infections augmentent en cas d'antécédents asthmatiques.
- **Allergies** : En analysant la littérature, il ressort que peu d'études ont exploré l'impact de la qualité de l'air intérieur sur les allergies. Néanmoins, une mauvaise qualité d'air semble avoir un impact plus prononcé chez certains sujets dits « sensibles », c'est-à-dire présentant un terrain allergique.
- **Asthme** : Un lien entre concentration en COV et pathologies asthmatiques a été établi par Tuomainen et al. (2004). Leur étude porte sur la présence de sujets asthmatiques parmi les employés travaillant dans un bâtiment de bureaux finlandais ayant été rénové. Sur 130 personnes, 8 nouveaux cas se sont déclarés en quatre ans. L'incidence de l'asthme y était 9

fois supérieure à celles d'autres employés exerçant un métier similaire. Les résultats de cette étude ont pu mettre en évidence les causes de la surreprésentation de cette pathologie : la forte présence de COV, 2-éthyl,1-hexanol et 1-butanol dans le revêtement des sols.

- **Cancer** : Si la littérature est assez restreinte sur le sujet, il est néanmoins établi que certains COV comme le benzène et le formaldéhyde sont mutagènes ou cancérigènes.
- Une mauvaise qualité de l'air intérieur peut également induire une **baisse du métabolisme** comme le suggèrent les travaux de Bakó-Biró, Wargocki et al. (2004). Dans leur étude, 60 femmes ont été exposées à des niveaux de qualité d'air différentes pendant plusieurs heures, tout en effectuant des tâches typiques du travail de bureau. Les résultats ont mis en lumière que la production de CO₂ diminuait de 13 % lorsque les sujets étaient insatisfaits de la qualité de l'air. Cette baisse peut être reliée à une diminution du flux respiratoire ou à la capacité de travail plus faible en présence d'un air pollué.

2.2 LE CAS EXTRÊME DU SYNDROME DU BÂTIMENT MALSAIN

Le Sick Building Syndrome ou Syndrome du Bâtiment Malsain (SBM) désigne une combinaison de différents symptômes touchant les occupants d'un bâtiment. Ce syndrome diffère des pathologies de type BRS précédemment abordées, qui apparaissent progressivement et se prolongent sur le long terme, puisque, ici, les symptômes de type SBM s'estompent ou disparaissent lorsque les personnes quittent le bâtiment (Malchaire, 2000).

Une définition du SBM basée sur quatre caractéristiques a été apportée par Perdrix et al. (2005) :

- L'apparition de symptômes aspécifiques, hétérogènes et **médicalement inexpliqués**. Il peut s'agir notamment de manifestations respiratoires et ORL (rhinorrhée, obstruction et sécheresse nasales, irritation de la gorge etc.), de symptômes oculaires (sécheresses, larmoiement, prurit etc.), de problèmes cutanés (érythème, prurit, sécheresse etc.), ou de dérèglement neuropsychiques et généraux (asthénie, somnolence, céphalées etc.) ;
- Une **pathologie « collective »**, c'est-à-dire touchant plus de 20 % des occupants du bâtiment ;
- Une origine dans un **lieu unique**, climatisé ou non ;
- Une **absence d'étiologie** spécifique ou univoque.

Ce phénomène est relativement répandu puisqu'il concernerait, selon l'OMS (1986), **30 % des bâtiments**, pour un taux d'occupants atteints allant de 10 à 30 %. Le niveau d'importance de ce problème est également souligné par Burge et Hoyer (1990), dont l'étude des symptômes de SBS menée sur 42 bâtiments administratifs au Royaume-Uni rassemblant 4 329 employés a conclu que 80 % d'entre eux avaient souffert d'au moins un des symptômes du SBS au cours des douze derniers mois.

Si les causes du SBS ne sont pas clairement établies, celui-ci est lié à la qualité de l'air intérieur, et certains facteurs de risque ont été identifiés, comme la présence de systèmes de climatisation. En effet, les résultats d'une étude conduite sur 4 479 employés de bureaux de 27 bâtiments ont permis de constater que 76 % des occupants de ces bâtiments climatisés et présentant un air intérieur de qualité acceptable, rapportaient au moins un symptôme de SBS par mois (Hedge et al., 1996).

2.3 LE RISQUE D'EFFET COCKTAIL EN CAS DE MULTI-POLLUTION

L'exposition jointe à plusieurs polluants présents dans un même milieu peut donner lieu à des effets combinés sur la santé physiologique des individus, différents des effets isolés de chaque polluant : on parle alors d'« effet cocktail ».

Dans les années 1990, l'impact des synergies de polluants a été questionnée (Berenbaum, 1989). Depuis, il est admis que 5 modes d'actions peuvent être observées entre polluants (Fernandes, 2010) :

- L'effet additif : les polluants s'ajoutent les uns aux autres ;
- L'**effet synergique** : les effets toxiques des polluants s'amplifient au contact d'autres polluants ;
- L'**effet de potentialisation** : un polluant non toxique peut le devenir au contact d'un ou plusieurs autres polluants ;
- L'effet antagoniste : l'effet d'un composé chimique peut être contre balancé par une autre substance chimique ;
- L'effet d'indépendance : les substances chimiques en mélange n'interagissent pas entre elles.

Ces effets sont représentés sur le graphique suivant, qui représente les différentes réactions de substances chimiques présentes dans un même milieu :

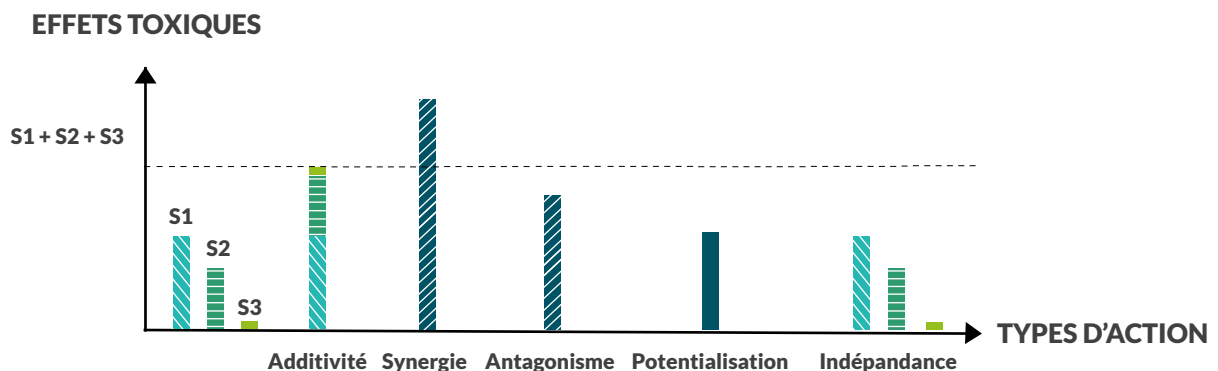


Figure 3 : Illustration des effets toxiques de substances chimiques en mélange.

L'effet synergique et l'effet de potentialisation sont les effets qui nous intéressent tout particulièrement puisqu'ils sont les plus redoutés.

Des études ont été conduites afin d'étudier ce phénomène d'effet cocktail. En 2013, l'examen des risques de 144 mélanges de polluants a été conduit et révèle que **les deux tiers des mélanges étudiés ont une interaction significative**, et présentent ainsi des effets potentiellement sur-additifs ou sous-additifs (Lokke et al., 2013). Parmi les exemples d'effets sur-additifs de polluants on peut citer le tabac et le radon, ou encore le tabac et l'amiante : ils entrent dans le cas de la synergie. Dans ce cadre, certains seuils peuvent alors être dépassés, et ainsi contribuer à la détérioration de la qualité de l'air intérieur. Delfosse et al. (2015) démontrent la possibilité d'effets toxiques d'une exposition jointe à deux substances dont l'exposition indépendante ne présente pas de risque. Cela démontre l'existence du phénomène de l'effet de potentialisation des polluants.

Pour autant, le sujet reste à approfondir. En effet, toutes les combinaisons et interactions entre polluants n'ont pas été étudiées. Face au constat de la campagne nationale bureau qui conclut que 5 % des espaces de bureaux sont multi-pollués, cet effet cocktail constitue une préoccupation. De fait, il est pour le moment difficile de prévoir la réaction de ces mélanges de polluants bien qu'il est clair que cela puisse avoir un impact sur la santé des occupants.

2.4 L'IMPACT SUR LA PERFORMANCE DES TRAVAILLEURS ET LES COÛTS INDUITS

La dégradation de la qualité de l'air intérieur des bâtiments de bureaux peut entraîner des conséquences diverses sur la condition physique mais aussi mentale des individus y travaillant. De nombreuses études mettent en évidence des liens directs de cause à effet entre la qualité de l'air intérieur et la présence, la santé, la productivité, le confort et globalement la qualité de l'environnement psychosocial des travailleurs.

- **Absentéisme** : La présence de polluants dans l'air peut affecter directement la santé des travailleurs. Des études ont montré un **lien entre qualité de l'air intérieur et nombre d'arrêts maladie**. Une corrélation entre les arrêts maladie et le nombre de travailleurs dans les bureaux, de personnes par bureau, et la distance à la fenêtre peut notamment être observée (Brightman, Wypij et al. 2005).

La qualité du nettoyage des bureaux est également directement liée à la diminution du nombre d'arrêts maladie de courte durée, d'après une étude de Nilsen et al. (Nilsen, Blom et al. 2002). L'étude de Fisk et al. (2011) a mis en évidence le fait que des améliorations de la qualité de l'environnement intérieur dans les bureaux américains pourraient empêcher l'apparition de symptômes de type SBS et prévenir l'absentéisme au travail de plusieurs millions de travailleurs. Les bénéfices les plus élevés qui ont été identifiés correspondent en premier lieu à l'augmentation de la performance, puis à la diminution de l'absentéisme.

- **Performance des travailleurs** : Un environnement de travail pollué peut affecter la capacité des individus à se concentrer et accomplir leurs tâches quotidiennes, et de fait impacter leur productivité.

Un lien entre la **productivité des employés et les symptômes de SBS** dans des bâtiments de bureaux climatisés, montrant ainsi que la productivité chutait à mesure que les symptômes apparaissaient chez les employés (Heslop, 2003). De même, l'étude de Nishihara et al. décrit la corrélation positive entre un environnement intérieur pollué et l'accentuation de l'intensité des symptômes de SBS ainsi que la baisse de performance de rédaction des employés induite (Nishihara, Wargocki et al. 2005).

Le projet OFFICAIR, première étude sur l'influence de la qualité de l'air intérieur sur la performance au travail en conditions réelles menée en France par l'OQAI, a montré que les concentrations intérieures des xylènes (COV venant des peintures, vernis, colles ou insecticides) et de l'ozone pourraient **influencer le temps de réaction** en été, et que globalement la capacité des individus de contrôler la température intérieure augmenterait leur productivité. Une étude menée par des chercheurs de Harvard et publiée dans la revue scientifique « Environmental Research Letters » a cherché à tracer précisément le lien entre qualité de l'air intérieur et capacités cognitives, en donnant des tests de logique à réaliser aux répondants dans des environnements de travail différents. Les résultats démontrent que le niveau de concentration, la rapidité et l'exactitude des réponses ont effectivement baissé à mesure que les niveaux de concentration de particules fines et CO₂ augmentaient (Jose Guillermo Cedeño Laurent et al., 2021).

Face au constat de réduction de la performance et de hausse possible de l'absentéisme en cas de dégradation important de la qualité de l'air intérieur, l'entreprise subit des **coûts financiers** non négligeables. La perte financière associée à la baisse de productivité est estimée à 208 227 dollars en 2003 (Rohr and Brightman, 2003). Les travaux permettant d'améliorer la qualité de l'air intérieur se caractérisent par un retour sur investissement (ROI) conséquent. Des analyses coûts-bénéfices de l'amélioration de la qualité de l'air intérieur dans des bâtiments de bureaux ont montré que les bénéfices en productivité apportés par les travaux sur la qualité de l'air inférieure étaient 60 fois supérieurs aux coûts engagés, avec un ROI positif au bout de seulement 2,1 ans (Wargocki and Djukanovic 2003).

3. CONCLUSION

Les polluants de l'air intérieur et plus globalement les paramètres de la qualité de l'air intérieur présentent diverses interactions, et constituent des facteurs incontournables de qualité - ou dégradation - de l'environnement de travail des Français. L'ensemble des études concluent que la qualité de l'air intérieur peut être dégradée sans que le sujet soit pour autant pris en compte par les entreprises en première intention. Le manque de données primaires, combiné au manque de sensibilisation sur le sujet, est un déterminant certain de la sous-estimation de cet enjeu par les entreprises.

Or, si la composition de l'air est invisible, les conséquences d'une qualité de l'air intérieur dégradée sont tangibles et multiples : sur la concentration des employés, sur leur bien-être, sur leur santé, leur productivité... L'ensemble de ces conséquences impacte directement la performance des entreprises, car elles induisent des coûts économiques importants liés à la détérioration de l'environnement de travail et du bien-être des employés. Ainsi, la question de la qualité de l'air intérieur n'est pas seulement une question sanitaire, mais également une question ayant trait à la performance économique de l'entreprise.



2 LES SOLUTIONS POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Artélia, Elan et G-ON, trois bureaux d'études spécialisés, ont travaillé ensemble pour définir les étapes nécessaires à l'amélioration de la qualité de l'air intérieur d'un bâtiment tertiaire en fonction de ses caractéristiques. Cela se structure en deux étapes : une étape de diagnostic, via des mesures in-situ, suivie de bouquets d'actions. Grâce à Thésaurus VIBEO, nous avons pu estimer les gains de performance de ces bouquets en valeur d'usage des bouquets d'actions.

1. EFFECTUER UN ÉTAT DES LIEUX DE LA PERFORMANCE DU BÂTIMENT

La première étape d'une démarche d'amélioration consiste en un état des lieux. Lorsque l'on s'intéresse à la qualité de l'air intérieur, un audit est nécessaire. Par ailleurs, il est recommandé de s'intéresser à l'ensemble des paramètres de confort dans la mesure où ils influencent la qualité de l'air réelle ou perçue.

1.1 MESURER LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

La première partie de cette étude a exploré le niveau de la qualité de l'air intérieur dans le parc immobilier tertiaire en France ainsi que ses conséquences sur les usagers, mettant ainsi en lumière la nécessité d'améliorer la qualité de l'air intérieur. Cette amélioration doit impérativement débiter par une mesure de la qualité de l'air du bâtiment.

Pour cela, comme vu dans les résultats du projet OFFICAIR, des mesures doivent être effectuées dans plusieurs espaces et celles-ci doivent être réalisées à minima lors de deux saisons contrastées. Plus précisément, un audit de la qualité de l'air intérieur doit être réalisé, afin de cibler les problèmes à résoudre, de quantifier la concentration en polluants et d'établir une liste des actions à mener. Cet audit doit s'accompagner d'une mesure des débits d'air ainsi que, si possible, d'une étude des matériaux du bâtiment.

1.2 MESURER L'ENSEMBLE DES PARAMÈTRES DE CONFORT

Au-delà d'estimer la qualité de l'air intérieur, il est nécessaire de faire un état des lieux des paramètres de confort du bâtiment. En effet, permettre aux usagers une marge de manœuvre dans le choix de ces paramètres a un impact direct sur le niveau d'appréciation de la qualité de l'air intérieur, permettant ainsi une diminution des symptômes potentiels (Muhic et Butala, 2004).

Thésaurus VIBEO décrit ainsi huit paramètres influençant la performance des occupants d'un bâtiment tertiaire, en plus de la qualité de l'air intérieur :



La **biophilie** fait référence au lien entre un bâtiment et son environnement dit naturel ;



Le **confort acoustique** est un ressenti qui se traduit par l'absence de dérangements sonores ;



Le **confort visuel** est un ressenti subjectif quant à la quantité, la distribution et la qualité de la lumière ;



La **personnalisation** désigne la capacité à s'approprier un espace ;



L'**aménagement des espaces** renvoie tant à leur agencement qu'à leur variété ;



Le **confort hygrothermique** fait référence à une température ressentie constante et agréable ;



La **qualité de l'air intérieur** est estimée au regard des polluants physiques, biologiques et chimiques qui sont présents dans l'air ambiant ;



La **mobilité** renvoie à la capacité à se déplacer dans divers lieux. Lorsque l'on aborde le secteur tertiaire, nous abordons principalement les déplacements domicile-travail.

Le projet OFFICAIR identifiait ainsi le confort acoustique comme élément d'inconfort, en plus de la qualité de l'air intérieur. Pour autant, comme évoqué en introduction, d'après les 30 évaluations de bâtiments via l'outil Thésaurus-VIBEO, le **facteur limitant** qui apparaît dans 93 % des bâtiments, empêchant donc des gains de performance issus d'autres actions d'amélioration lorsque lui-même ne fait pas l'objet de mesures correctives, est **la qualité de l'air intérieur**.

2. LES BOUQUETS D' ACTIONS À ENTREPRENDRE POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'AIR

Une fois cet état des lieux effectué, des actions d'amélioration peuvent être mises en œuvre. La partie suivante présente les solutions à appliquer qui peuvent être distinguées selon leur nature : les solutions techniques et les solutions comportementales.

Les **solutions techniques** visent à améliorer la fonction d'usage en mobilisant un ou plusieurs équipements et composants. Il peut s'agir d'actions relatives à :

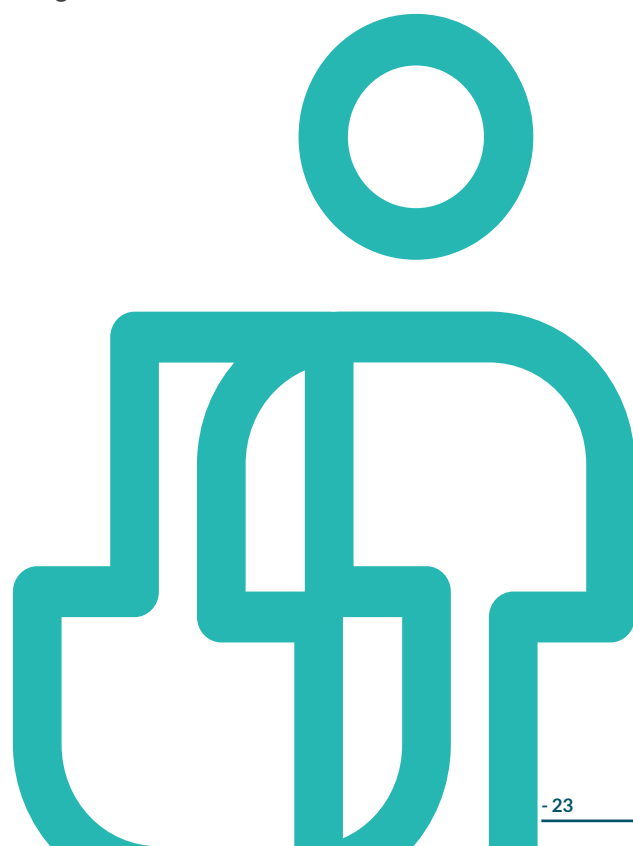
- La conception du bâtiment et de ses équipements ;
- L'efficacité et l'adaptation des équipements ;
- Le choix des matériaux et produits ;
- La charte de maintenance et d'entretien des installations.

Les **solutions comportementales** tentent de modifier les comportements inadaptés que les usagers ont acquis par leur expérience quotidienne. Ces actions peuvent concerner :

- Des règles de comportement (interdiction de la consommation de tabac à l'intérieur) ;
- Des choix d'usage de produits d'entretien (désodorisants, détergents etc.) ;
- L'implication des usagers dans les paramètres de confort et de qualité de l'air (choix de la température, aération naturelle, niveau d'humidité etc.) comme détaillé précédemment.

Le plan d'amélioration de la qualité de l'air doit être adapté selon l'ancienneté du bâtiment ou de la rénovation. Ensuite, en fonction de l'objectif de qualité de l'air visé, plusieurs bouquets d'actions peuvent être adoptés à savoir :

- Un **bouquet d'actions prioritaires** : il s'agit des actions à mener en première intention. Elles sont un préalable à l'adoption d'actions complémentaires. C'est pour cela que l'audit de l'existant est indispensable afin de savoir, parmi ces actions, lesquelles sont pertinentes pour le bâtiment cible ;
- Un **bouquet d'actions opportunistes** : lors de la réalisation de travaux dédiés par ailleurs, notamment à l'occasion du décret tertiaire, il est possible que des travaux relatifs à l'amélioration de la qualité de l'air intérieur puissent s'intégrer à moindre frais ;
- Un **bouquet d'actions exemplaires** : ce dernier type d'actions vise à atteindre une qualité de l'air optimale, avec parfois un double objectif tel que l'économie d'énergie.



2.1 LE CAS D'UN BÂTIMENT DES ANNÉES 1980

Un bâtiment construit dans les années 1980 ou dont la dernière rénovation remonte aux années 1980 est confronté à plusieurs problématiques en matière de qualité de l'air à savoir : l'absence de système de renouvellement d'air, le manque d'étanchéité des réseaux, les émissions potentielles de gaz, ou encore le mauvais fonctionnement des équipements de combustion.

En réponse à ces problèmes éventuels, et selon le niveau d'exigence du plan d'amélioration, trois bouquets d'actions peuvent être distingués.

BOUQUET PRIORITAIRE

Le bouquet d'actions prioritaires consiste en la mise en conformité des équipements existants. En cas d'installation d'équipements neufs, il est nécessaire d'opter pour un équipement de qualité, adapté aux besoins et de mettre en place la maintenance adéquate pour maximiser sa durée de vie.

Tout d'abord, il est impératif de se **mettre en conformité** en vérifiant que les installations respectent la réglementation en vigueur en matière d'émissions de composés organiques volatiles.

Certains **produits et équipements** devront être créés ou modernisés :

- Les bâtiments des années 1980 ne disposent généralement pas de système de renouvellement d'air. Si c'est le cas dans le bâtiment cible, il faut en installer un qui soit adapté (en termes d'apport d'air neuf) et correctement dimensionné (selon les usages, le taux d'occupation etc.) ;
- Il faut privilégier les produits très faiblement émissifs (étiquetés A+) afin de limiter la présence de composés organiques volatiles ;
- Les filtres d'aspirateurs doivent également être adaptés ;
- Les éléments de filtration doivent être performants, adaptés et changés à minima annuellement.

En matière de **conception**, si des entrées d'air sont situées à proximité de zones de pollution, telles que les zones fumeurs ou les rejets d'air de cuisine, il est nécessaire de les déplacer.

Il est aussi possible d'adapter les **comportements des occupants**, notamment pour les zones fumeurs. Ces dernières peuvent être déplacées pour être éloignées des entrées d'air et un rappel des règles d'interdiction de fumer sur certaines zones peut être conduit.

Les **contrats de prestation** doivent aussi être revus pour une meilleure prise en compte des enjeux de qualité de l'air intérieur.

- Des produits d'entretien à faible impact sanitaire doivent être privilégiés pour limiter les émissions de composés organiques volatiles ;
- Les contrats de maintenance doivent inclure la maintenance préventive et corrective des systèmes (en réponse à l'émission potentielle de gaz ou au manque d'étanchéité des réseaux) ainsi que la maintenance et l'entretien des équipements de combustion (chauffage au fioul, gaz, etc.). Dans le cadre des opérations de maintenance des équipements de combustion, un air comburant extérieur doit être apporté. Ces questions sont cruciales car certains gaz relatifs à une mauvaise combustion ou une étanchéité défectueuse sont dangereux. Il s'agit notamment du cas du monoxyde de carbone.

Dans le cadre de **travaux**, des règles doivent être suivies pour garantir une bonne qualité de l'air lors du retour des occupants dans les locaux. Il faut tout d'abord veiller au séchage réglementaire de la chape avant la pose des revêtements de sol. Une sur-ventilation du bâtiment avant l'arrivée des occupants est indiquée.

BOUQUET OPPORTUNISTE

Lors d'un **réaménagement des espaces de travail**, vous pouvez améliorer la qualité de l'air intérieur en :

- Optant pour des moquettes et tissus d'ameublement faiblement émissifs ou étiquetés A+ ;
- Créant un local dédié et ventilé spécifiquement pour les imprimantes et photocopieurs lasers ;
- Choissant les plants végétaux et leur localisation selon leur potentiel allergisant.

A l'occasion de l'**installation d'une gestion technique du bâtiment**, il est intéressant d'installer :

- Des sondes CO₂ sur les réseaux de ventilation ;
- Des alertes d'encrassement des filtres.

Lors de la **création ou de la modernisation d'un système de ventilation** :

- Le rééquilibrage des débits d'air selon les mesures préalablement effectuées doit être conduit ;
- Un extracteur d'air à double vitesse pour les sanitaires peut être installé afin d'intégrer un mode occupé et un mode inoccupé qui permet de réduire les odeurs.

Lors de la **renégociation de la prestation ménage**, le carnet d'entretien et les produits utilisés peuvent être adaptés afin de créer un cahier des charges limitant, notamment, l'émission de composés organiques volatiles (dont le benzène qui est présent en trop forte concentration dans 26 % des bâtiments de bureaux en France selon la campagne nationale bureau).

BOUQUET EXEMPLAIRE

Des **équipements complémentaires** peuvent être adoptés afin d'augmenter encore davantage la qualité de l'air :

- L'utilisation de filtres à charbon actif associe pouvoir filtrant et capture des odeurs ;
- La mise en place de balises de suivi des concentrations en temps réel via la Gestion Technique du Bâtiment (GTB) permet une maintenance et un pilotage plus fins. Cela peut conduire à une amélioration des paramétrages (déclenchement d'une ventilation accrue) ou signaler aux occupants la nécessaire ouverture des fenêtres par exemple ;
- L'ajout de boîtes de débit variable sur le réseau pour les espaces à occupation variable (auditoriums, salles de réunion etc.) permet d'adapter la ventilation à l'occupation pour garantir un niveau de qualité de l'air maximal tout en limitant les consommations énergétiques.

Des prestations de **maintenance complémentaires** peuvent aussi être demandées :

- Contrôle annuel de l'étanchéité des joints du système de ventilation et d'empoussièrement ;
- Inspection et nettoyage du système aéraulique ;
- Déshumidification régulière.

2.2 LE CAS D'UN BÂTIMENT DES ANNÉES 2000

Les bâtiments construits ou rénovés après les années 2000 rencontrent des problématiques similaires à ceux des années 1980 mais le niveau de gravité de ces dernières, et donc l'ordre de priorité des solutions à apporter, peut différer. L'étape préalable de mesure de la qualité de l'air, comprenant la réalisation d'un audit de la qualité de l'air intérieur, la mesure des débits d'air, ou encore l'étude des matériaux, est ici aussi indispensable. Une fois réalisée, trois bouquets d'actions peuvent être mis en œuvre :

BOUQUET PRIORITAIRE

Tout d'abord, il est impératif de se **mettre en conformité** en vérifiant que les installations respectent la réglementation en vigueur en matière d'émissions de composés organiques volatiles.

Certains **produits et équipements** devront être modernisés :

- Les bâtiments des années 2000, à la différence de ceux des années 1980, disposent d'un système de renouvellement de l'air. Suivant les mesures effectuées, un rééquilibrage des débits d'air peut être nécessaire ;
- Il faut privilégier les produits très faiblement émissifs (étiquetés A+) afin de limiter la présence de composés organiques volatiles ;
- Les filtres d'aspirateurs doivent également être adaptés ;
- Les éléments de filtration doivent être performants et adaptés et changés à minima annuellement.

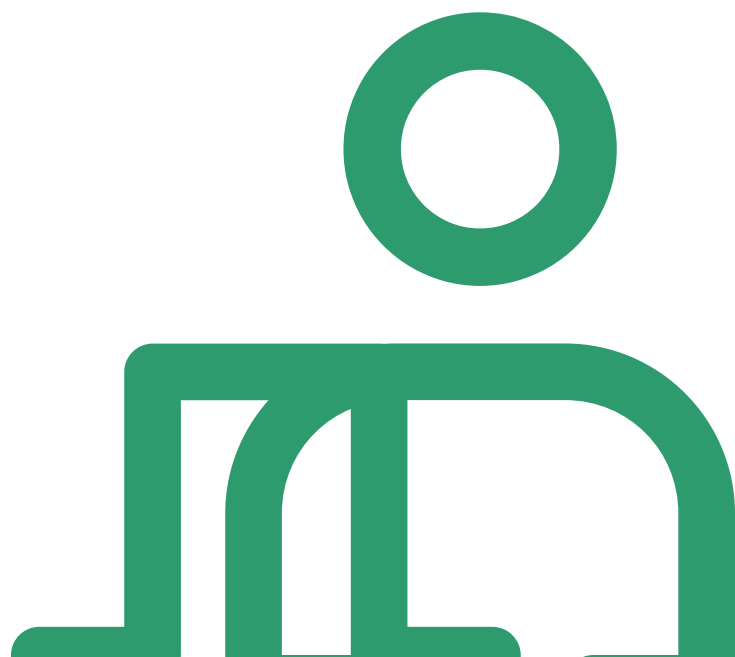
En matière de **conception**, si des entrées d'air sont situées à proximité de zones de pollution, telles que les zones fumeurs ou les rejets d'air de cuisine, il est nécessaire de les déplacer.

Il est aussi possible d'**adapter les comportements des occupants**, notamment pour les zones fumeurs. Ces dernières peuvent être déplacées pour être éloignées des entrées d'air et un rappel des règles d'interdiction de fumer sur certaines zones peut être conduit.

Les **contrats de prestation** doivent aussi être revus pour une meilleure prise en compte des enjeux de qualité de l'air intérieur.

- Des produits d'entretien à faible impact sanitaire doivent être privilégiés pour limiter les émissions de composés organiques volatiles ;
- Les contrats de maintenance doivent inclure la maintenance préventive et corrective des systèmes (en réponse à l'émission potentielle de gaz ou au manque d'étanchéité des réseaux) ainsi que la maintenance et l'entretien des équipements de combustion (chauffage au fioul, gaz, etc.). Dans le cadre des opérations de maintenance des équipements de combustion, un air comburant extérieur doit être apporté. Ces questions sont cruciales car certains gaz relatifs à une mauvaise combustion ou une étanchéité défectueuse sont dangereux. Il s'agit notamment du cas du monoxyde de carbone.

Dans le cadre de **travaux**, des règles doivent être suivies pour garantir une bonne qualité de l'air lors du retour des occupants dans les locaux. Il faut tout d'abord veiller au séchage réglementaire de la chape avant la pose des revêtements de sol. Une sur-ventilation du bâtiment avant l'arrivée des occupants est indiquée.



BOUQUET OPPORTUNISTE

Lors d'un **réaménagement des espaces de travail**, vous pouvez améliorer la qualité de l'air intérieur en :

- Optant pour des moquettes et tissus d'ameublement faiblement émissifs ou étiquetés A+ ;
- Créant un local dédié et ventilé spécifiquement pour les imprimantes et photocopieurs lasers ;
- Choisisant les plants végétaux et leur localisation selon leur potentiel allergisant.

Lors du paramétrage de la **Gestion Technique du Bâtiment** (GTB), l'ajout de balises de suivi des concentrations en temps réel permet une maintenance et un pilotage plus fins. Cela peut conduire à une amélioration des paramètres (déclenchement d'une ventilation accrue) ou signaler aux occupants la nécessaire ouverture des fenêtres par exemple.

Lors de la **création ou de la modernisation d'un système de ventilation**, un extracteur d'air à double vitesse pour les sanitaires peut être installé afin d'intégrer un mode occupé et un mode inoccupé qui permet de réduire les odeurs.

Lors de la **renégociation de la prestation ménage**, le carnet d'entretien et les produits utilisés peuvent être adaptés afin de créer un cahier des charges limitant, notamment, l'émission de composés organiques volatiles (dont le benzène qui est présent en trop forte concentration dans 26 % des bâtiments de bureaux en France selon la campagne nationale bureau).

Enfin, une **déshumidification** du bâtiment peut être menée.

BOUQUET EXEMPLAIRE

Des **équipements complémentaires** peuvent être adoptés afin d'augmenter encore davantage la qualité de l'air :

- L'utilisation de filtres à charbon actif associe pouvoir filtrant et capture des odeurs ;
- L'ajout de boîtes de débit variable sur le réseau pour les espaces à occupation variable (auditoriums, salles de réunion etc.) permet d'adapter la ventilation à l'occupation pour garantir un niveau de qualité de l'air maximal tout en limitant les consommations énergétiques.

Un contrôle annuel de l'étanchéité des joints du système de ventilation et d'empoussièrement peut être mené si l'on souhaite que la **maintenance** soit optimale.

3. L'IMPACT DES BOUQUETS D' ACTIONS SUR LA VALEUR D'USAGE DES BÂTIMENTS

3.1 MÉTHOLOGIE

Le gain de valeur d'usage se calcule grâce à Thésaurus-VIBEO. Il s'agit d'un outil prédictif permettant d'estimer la valeur d'usage d'un bâtiment. Le bâtiment étudié est comparé à des standards de construction définis au regard du parc immobilier français existant.

Les gains de valeur d'usage financiarisés par l'outil ne tiennent pas compte des gains potentiels autres que ceux pour la qualité de l'air intérieur (limitation des nuisances sonores liées à une ventilation défectueuse ou amélioration du confort hygrothermique notamment).

Le standard dit « peu performant » correspond à un bâtiment des années 1980 environ. Il présente de multiples facteurs qui limitent la performance des occupants : faible confort hygrothermique lié à un manque d'isolation du bâti, qualité de l'air intérieure faible via l'absence de système de ventilation ou un système défectueux, etc. Le facteur limitant de cette typologie de bâtiment est l'agencement intérieur : la structuration du bâtiment rend son usage peu fonctionnel pour ses occupants.

Le bâtiment des années 2000 correspond à un standard dit « de base ». En effet, il s'agit d'un bâtiment représentatif du parc immobilier tertiaire actuel. Sur le plan environnemental il répond à des normes de qualité standard (telle que la RT2005). Il allie open-space et bureaux cloisonnés et propose des services de base qui répondent pour partie aux attentes des usagers. Enfin, il est situé dans une zone semi-urbaine bien desservie par les transports en commun et permettant aux collaborateurs de se rendre sur leur lieu de travail dans un délai en adéquation avec la moyenne nationale. Les bâtiments évalués dans l'observatoire correspondent à cette catégorie et, **dans 93 % des évaluations, la qualité de l'air intérieur apparaît comme étant le facteur limitant.**

Le gain de valeur d'usage permis par les bouquets d'actions modélisés est ensuite financiarisé par l'outil.

Il est à noter qu'aucun des standards ne s'inscrit dans le cas extrême du syndrome du bâtiment malsain dans lequel l'absentéisme et le volume d'heures non travaillées sont bien plus élevés. Dans ce cas précis, le facteur limitant est systématiquement la qualité de l'air et une augmentation de la qualité de l'air intérieur aura bien évidemment un impact encore plus fort que les impacts décrits ci-après.

3.2 LE CAS D'UN BÂTIMENT DES ANNÉES 1980

En appliquant la méthodologie précédemment décrite à un bâtiment fictif de 3000 m² et 200 salariés, nous obtenons les gains de performance suivants.

Si l'on applique le bouquet d'actions prioritaires à un bâtiment des années 1980 qui s'apparente à un standard peu performant, on obtient un **gain de performance de 0,24 % soit 41 000 € de gains par an pour le bâtiment type.**

LE TEMPS DE ROI EST ALORS ESTIMÉ À 1 AN.

L'application du bouquet de travaux opportunistes permet un gain de performance de 0,25 % soit 42 000 € de gains annuels. Ce gain est d'autant plus important que le coût des travaux est réduit. Le fait même que des travaux soient opportunistes et puissent donc induire, par des ajustements à la marge, une amélioration de la qualité de l'air intérieur, engendre des **gains nets annuels net de l'ordre de 42 000 €.**

LE TEMPS DE ROI EST ALORS COMPRIS ENTRE 3 ET 5 ANS.

Si l'on effectue le bouquet de travaux exemplaires, on obtient **0,32 % de gains de performance soit 55 000 € de gains annuels** pour le bâtiment type.

LE TEMPS DE ROI EST ALORS COMPRIS ENTRE 5 ET 10 ANS.

La différence entre les gains de valeur d'usage permis par les deux bouquets paraît faible. Cela s'explique grâce aux caractéristiques du bâtiment précédemment décrites. Un bâtiment des années 1980 présente plusieurs caractéristiques qui limitent le confort des usagers. La plus importante est l'agencement du bâtiment. Si l'on améliore la qualité de l'air intérieur uniquement, on ne résout qu'une source d'inconfort et d'insatisfaction des occupants. Cela explique qu'en effectuant le bouquet d'actions prioritaires, on obtienne un niveau de qualité de l'air satisfaisant et des gains notables. Pour autant, en passant d'une qualité de l'air intérieur satisfaisante à exemplaire, les gains supplémentaires restent modérés car d'autres problématiques demeurent.

Lorsque l'on s'intéresse à un bâtiment de cette typologie, si l'on veut obtenir un gain de confort et de performance optimal, comme la qualité de l'air intérieur n'est pas un facteur limitant, il faut adopter un bouquet d'actions transverses qui visera à résoudre les principaux dysfonctionnements du bâtiment : agencement intérieur, qualité de l'air intérieur, confort acoustique, confort visuel mais aussi confort hygrothermique. Ces 5 paramètres de confort doivent être améliorés simultanément pour que le gain en valeur d'usage soit le plus important.

3.3 LE CAS D'UN BÂTIMENT DES ANNÉES 2000

Si l'on applique à bâtiment fictif des années 2000 ayant la même surface et la même capacité notre bâtiment fictif des années 1980, et en y réalisant les mêmes bouquets de travaux, les résultats sont bien différents.

En réalisant le bouquet d'actions prioritaires dans un bâtiment des années 2000, on obtient **un gain de performance de 0,16 % soit 28 000 € de gains par an** pour le bâtiment type. Il s'agit d'un gain moindre que pour le bâtiment peu performant. Le bâtiment des années 2000 répond déjà à certaines exigences en matière de qualité de l'air intérieur, bien que cette qualité soit améliorable. Ce bouquet d'actions prioritaires permettra donc des gains moindres que pour le bâtiment des années 1980.

LE TEMPS DE ROI EST ALORS ESTIMÉ À 1 AN.

L'application du bouquet de travaux opportunistes permet **un gain de performance de 0,39 % soit 67 000 € de gains annuels**. Ce gain est d'autant plus important que le coût des travaux est réduit. Le fait même que des travaux soient opportunistes et puissent donc induire, par des ajustements à la marge, une amélioration de la qualité de l'air intérieur, engendre des gains annuels nets de l'ordre de 67 000 €.

LE TEMPS DE ROI EST ALORS COMPRIS ENTRE 3 ET 5 ANS.

Si l'on effectue le bouquet de travaux exemplaires, on obtient **0,94 % de gains de performance soit 158 000 € de gains annuels** pour le bâtiment type. Un bâtiment de bureaux représentatif du parc fait donc l'objet d'une performance thermique, acoustique ou encore visuelle satisfaisante. Pour autant la qualité de l'air intérieure est peu mesurée et peu étudiée dans les bâtiments de bureaux en France comme présenté précédemment.

LE TEMPS DE ROI EST ALORS COMPRIS ENTRE 5 ET 10 ANS.

Agir de façon significative sur la qualité de l'air intérieur permet des gains de performance importants puisqu'il s'agit du facteur limitant. Dans un bâtiment représentatif du parc immobilier de bureaux français, l'action sur la qualité de l'air intérieur est aujourd'hui le levier premier d'amélioration de la performance des occupants. En effet, cet aspect invisible est rarement au premier plan des rafraîchissements qui ont souvent un objectif d'amélioration de la décoration. Les travaux d'amélioration de la performance thermique de bâtiments en vue de la mise en conformité via-à-vis d'éco-énergie tertiaire constitue une opportunité pour accroître la qualité de l'air intérieur à moindre coût.



CONCLUSION

Dans cette étude nous nous sommes intéressés particulièrement à deux typologies de bâtiment afin de comprendre quels travaux mener en priorité pour améliorer le confort des occupants et voici nos conclusions.

Lorsque l'on s'intéresse à un **bâtiment des années 1980**, si l'on veut obtenir un gain de confort et de performance optimal, il faut adopter un **bouquet d'actions transverses** qui visera à résoudre les principaux dysfonctionnements du bâtiment : agencement intérieur, qualité de l'air intérieur, confort acoustique, confort visuel mais aussi confort hygrothermique. Ces 5 paramètres de confort doivent être améliorés simultanément pour que le gain en valeur d'usage soit le plus important.

Dans le cas d'un **bâtiment des années 2000**, représentatif d'un bâtiment du parc immobilier tertiaire actuel, d'après l'observatoire du HUB VIBEO, c'est la qualité de l'air intérieur qui apparaît comme étant le facteur limitant dans 93 % des évaluations. Agir de façon significative sur la qualité de l'air intérieur permet des gains de performance importants puisque la qualité de l'air intérieur est alors **le premier levier d'amélioration de la performance des occupants** avec des gains pouvant aller jusqu'à 158 000 € par an. En effet, cet aspect invisible est rarement au premier plan des rafraîchissements qui ont souvent un objectif d'amélioration de la décoration. Les travaux d'amélioration de la performance thermique de bâtiments en vue de la mise en conformité via-à-vis d'éco-énergie tertiaire constitue une opportunité pour accroître la qualité de l'air intérieur à moindre coût.

RÉFÉRENCES

Airparif, "Les Particules Ultrafines Dans Le Viseur D'Airparif." Airparif, 2022. <https://www.airparif.asso.fr/actualite/2022/les-particules-ultrafines-dans-le-viseur-dairparif>.

Anses, Valeurs guides de Qualité d'Air intérieur (VGAi). (1er avril 2021). URL : <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualite-d-air-interieur-vgai>

Backman, H. et Haghghat, F. (1999), Indoor-air quality and ocular discomfort. J Am Optom Assoc., 70(5):309-16. PMID: 10457708.

Bako-Biro, Z., P. Wargocki, C. J. Weckler et P. O. (2004) "Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices", Indoor air 14

Bartzis, J. "On the Reduction of Health Effects from Combined Exposure to Indoor Air Pollutants in Modern Offices." cordis.europa, 2014. <https://www.researchgate.net/project/OFFICAIR-On-the-reduction-of-health-effects-from-combined-exposure-to-indoor-air-pollutants-in-modern-offices>.

Berenbaum, MC. (1989) "What is synergy?" Pharmacol Rev 41: 93-141.

Brasche, S., Bullinger, M., Petrovitch, A., Mayer, E., Gebhardt, H., Herzog, V., & Bischof, W. (2005). Self-reported eye symptoms and related diagnostic findings--comparison of risk factor profiles. Indoor air, 15 Suppl 10, 56-64. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00358.x>

Brightman, H. et al. (2005) "Building characteristics associated with workplace productivity in the United States office buildings," Indoor Air, pp. 329-333.

Burge H.A., Hoyer M.E. (1990) Indoor air quality. App. Occup. Environ. Hyg. 5, 2, 84-93.

Chanel, O, H Labarrière, and S Schucht. "Recherche Sur l'Air : Sources, Effets Sanitaires Et Perspectives - Anses." anses.fr, 2019. https://www.anses.fr/fr/system/files/RSC191017_Schucht.pdf.

Clausen, G. (2004) "Ventilation filters and indoor air quality: A review of research from the International Centre for Indoor Environment and Energy," Indoor Air, 14(s7), pp. 202-207. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00289.x>.

Clinkemaiillé, T. (2021), La Qualité de l'air dans un bureau affecte la concentration des employés, Les Echos. URL : <https://www.lesechos.fr/idees-debats/sciences-prospective/la-qualite-de-lair-dans-un-bureau-affecte-la-concentration-des-employes-1345311>

DE BAUDOUIN, C. (2006). Qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux : spécificités de la problématique et propositions d'études à mener. ENSP et OQAI

Franck C. (1986). Eye symptoms and signs in buildings with indoor climate problems ('office eye syndrome'). Acta Ophthalmol (Copenh), 64(3):306-11. doi: 10.1111/j.1755-3768.1986.tb06925.x. PMID: 3751520.

Fernandes, TF, (2010) "Assessing Hazard and Risk" (lectures), Edinburgh Napier University.

Fisk WJ., Black D., Brunner G. (2011) "Benefits and costs of improved IEQ in U.S. offices". Indoor Air, 21: 357-67.

Halonen, R., H. Kokotti, L. Kujanpaa et M. Reiman (2005). "Presence of microbes in indoor air, in insulation material and on surfaces in an office : Possible association with adverse health effects", Indoor air

Hedge, A., Erickson, W.A. and Rubin, G. (1996) "Predicting sick building syndrome at the individual and aggregate levels," Environment International, 22(1), pp. 3-19. Available at: [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(95\)00099-2](https://doi.org/10.1016/0160-4120(95)00099-2).

Heslop, K. (2003), "The influence of sick building syndrome on self-reported productivity and work disruption amongst office employees in two buildings in south africa", Healthy buildings

INSEE. "Tableaux De L'économie Française." Insee Références, 2020. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277675?sommaire=4318291>.

Institut de Veille Sanitaire. "Gestion De La Qualité De l'Air Intérieur." Ministère de la santé et des sports, 2010. <https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/guid0910.pdf>.

Guillermo J., L. Cedeño et al. "Associations between Acute Exposures to PM2.5 and Carbon Dioxide Indoors and Cognitive Function in Office Workers: A Multicountry Longitudinal Prospective Observational Study." Environmental Research Letters 16, no. 9 (2021): 094047. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1bd8>.

Lee, S. C.; S. Lam et H. K. Fai (2001). "Characterization of VOCs, ozone, and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber", Building and environment 36

Lee, C. S., F. Haghghat et W. S. Ghaly (2005). "A study on voc source and and sink behavior in porous building materials – analytical model development and assessment", Indoor air 15

Cedeño L., J. Guillermo et al.. "Associations between Acute Exposures to PM2.5 and Carbon Dioxide Indoors and Cognitive Function in Office Workers: A Multicountry Longitudinal Prospective Observational Study." Environmental Research Letters 16, no. 9 (2021): 094047. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1bd8>.

Cedeño L., J. Guillermo et al.. "Associations between Acute Exposures to PM2.5 and Carbon Dioxide Indoors and Cognitive Function in Office Workers: A Multicountry Longitudinal Prospective Observational Study." Environmental Research Letters 16, no. 9 (2021): 094047. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1bd8>.

Malchaire J., J. Chasseur, N. Nolard. (2000) "Sick building syndrome : analyse et prevention." Institut national de recherche sur les conditions de travail.

Mandin, C., Campagne nationale dans les immeubles de bureaux (2 décembre 2021), OQAI et CSTB

Mendell, M. J., Naco, G. M., Wilcox, T. G., & Sieber, W. K. (2003). Environmental risk factors and work-related lower respiratory symptoms in 80 office buildings: an exploratory analysis of NIOSH data. American journal of industrial medicine, 43(6), 630–641. <https://doi.org/10.1002/ajim.10211>

Myatt, Theodore A., Sebastian L. Johnston, Zhengfa Zuo, Matthew Wand, Tatiana Kebabdzé, Stephen Rudnick, and Donald K. Milton. "Detection of Airborne Rhinovirus and Its Relation to Outdoor Air Supply in Office Environments." American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 169, no. 11 (2004): 1187–90. <https://doi.org/10.1164/rccm.200306-760oc>.

Nilsen, S., P. Blom, J. Rydock, J. Nersveen et K. Fostervold (2002), "An intervention study of the relationships between indoor air-related health problems, productivity and cleanliness in an office setting", Indoor air

Nishihara, N., P. Wargocki, and S.Tanabe. "Cerebral Blood Flow, Fatigue, Mental Effort, and Task Performance in Offices with Two Different Pollution Loads." Indoor Air 15 (2005): 377–82. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.09.018>.

OQAI. "Campagne Nationale 'Bureaux.'" OQAI, 2021. <https://www.oqai.fr/fr/media/autres/4-1-bureaux-campagne-nationale-oqai>.

Perdrix A., Parat S., Liaudy S., Maître A. (2005). "Syndrome Des Bâtiments Malsains (SBM) ", Revue Francophone des Laboratoires, 373, 67-72. ISSN 1773-035X, [https://doi.org/10.1016/S0338-9898\(05\)80237-9](https://doi.org/10.1016/S0338-9898(05)80237-9).

Rohr, A. C. et H. Brightman (2003), "Effects of building characteristics on self-reported productivity of office workers: The base study", Healthy Buildings

Kirchner, S. "Qualité De l'Air Intérieur Et Confort Dans Les Immeubles De Bureaux." Edited by A Buchmann. Bulletin de l'OQAI 8, no. Décembre (2014): 1-8. <https://doi.org/https://www.oqai.fr/fr/campagnes/officair>.

Tuomainen, A., Seuri, M., & Sieppi, A. (2004). "Indoor air quality and health problems associated with damp floor coverings". International archives of occupational and environmental health, 77(3), 222-226. <https://doi.org/10.1007/s00420-003-0481-2>

Wargocki, P. et J. Djukanovic (2003), "Estimate of an economic benefit from investment in improved indoor quality in an office building", Healthy Buildings

YVERNAU, H.; MANDIN, C.; Influence de la qualité de l'environnement intérieur dans les bureaux sur la performance des occupants : méthodes d'évaluation, données disponibles et coûts économiques associés (1er Avril 2013). Revue "POLLUTION ATMOSPHERIQUE" N° 218. URL : <https://www.oqai.fr/fr/media/publications-scientifiques/influence-de-la-qualite-de-l-environnement-interieur-dans-les-bureaux-sur-la-performance-des-occupants>





UN BUREAU PERFORMANT EST
UN LEVIER ÉNORME DE PRODUCTIVITÉ.
MAIS QU'EST-CE QU'UN BUREAU PERFORMANT ?
ET QUELS GAINS DE PRODUCTIVITÉ ?

Votre contact : christophe.rodriquez@ifpeb.fr

