

ENSP
ECOLE NATIONALE DE
LA SANTE PUBLIQUE

RENNES

CSTB
le futur en construction



Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion : 2005 - 2006

Date du Jury : 28 septembre 2006

Qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux : spécificités de la problématique et propositions d'études à mener (Tome 1)

Clémence de Baudouin

Ingénieur Agronome (ENSAR)

Référents professionnels : Séverine Kirchner et Bernard Collignan, CSTB

Référent pédagogique : Rémi Demillac, ENSP

Organisme d'accueil : CSTB, Marne-la-Vallée (77)

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu Monsieur Christian Cochet, chef de la division « Santé – Bâtiment », pour m'avoir accueillie au sein du CSTB.

Je remercie tout particulièrement Séverine Kirchner et Bernard Collignan pour leur disponibilité, leurs conseils, et leur encadrement tout au long de ce mémoire.

Je remercie ensuite Rémi Demillac, mon référent pédagogique, pour le temps qu'il m'a accordé et ses conseils avisés.

Je tiens aussi à remercier toutes les personnes que j'ai contactées et qui m'ont aidé dans ma démarche et mon projet.

Enfin, un grand merci à toute l'équipe de la division « Santé – Bâtiment » pour leur accueil chaleureux et leur soutien tout au long de ces quatre mois.

Abstract

Indoor air quality (IAQ) in office buildings is a real public health topic. In fact, people who work in tertiary sector spend a lot of time in their office. Moreover, there are more and more complaints about IAQ in office buildings since several decades. A lot of contaminants can be found in these buildings: they could be chemical, physical or biological contaminants. They could be at the origin of some mild disease, like headaches, nausea, allergies, dizziness, tiredness, eye, throat or nose irritations... Furthermore they could also create heavy diseases, like cancers.

The French observatory of IAQ (OQAI) wants to organize soon a study program on the IAQ in office buildings to know whether these interior environments are polluted in France and whether populations are exposed to these pollutants.

This study aims to prepare the future OQAI's program proposing a study protocol.

To respond to this objective, a bibliographic synthesis has first been made. Specificities of the topic have been shown. French data are scarce, so it has been decided to make a little investigation close to occupational physicians. It has shown that it exists in France some pathologies due to IAQ in office buildings.

At least, a study protocol for the OQAI's program has been elaborated. Few sampling plans have been proposed, and protocol phases have been developed.

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
PARTIE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1 Typologie des bâtiments de bureaux.....	3
1.1 Parc des bâtiments de bureaux en France métropolitaine.....	3
1.2 Typologie des bâtiments de bureaux.....	4
1.3 Conclusion.....	6
2 La pollution de l'air dans les bâtiments de bureaux.....	7
2.1 Introduction.....	7
2.2 Les polluants spécifiques des immeubles de bureaux.....	9
2.3 Les sources de pollution possibles dans les immeubles de bureaux.....	19
2.4 Conclusion.....	23
3 Impact de la QAI sur les occupants des bâtiments de bureaux.....	24
3.1 Effets sanitaires à cause identifiée : Building Related Symptoms (BRS)	24
3.2 Effets sanitaires à cause non identifiée : Sick Building Syndrome (SBS) ...	27
3.3 Arrêts maladie.....	29
3.4 Effets sur la productivité.....	30
3.5 Impact du confort, de l'environnement psychosocial et de la perception de la QAI sur la santé des occupants.....	30
3.6 Conclusion.....	32
PARTIE 2 : RÉALISATION D'UNE ENQUÊTE AUPRÈS DES MÉDECINS DU TRAVAIL.....	32
1 Introduction.....	32
2 Matériels et méthodes.....	33
3 Résultats et discussions.....	33
PARTIE 3 : MISE AU POINT DU PROTOCOLE D'ÉTUDE.....	37
1 Type d'étude.....	37
2 Échantillonnage.....	37
2.1 Sondage à plusieurs degrés.....	38
2.2 Sondage par quotas.....	38
2.3 Sondage en deux phases avec post-stratification.....	39
3 Mesurage.....	39
4 Proposition de protocole d'étude.....	43
4.1 Phase 1 : une phase d'évaluation.....	44
4.2 Phase 2 : une phase d'investigation détaillée.....	47
4.3 Phase 3 : classification finale des bâtiments.....	48
Conclusion.....	49
Bibliographie.....	51
Sites Internet cités.....	59

Liste des sigles utilisés

2,4-DNPH :	2,4-dinitrophénylhydrazine
ADEME :	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
BASE :	Building Assessment Survey and Evaluation
BRS :	Building Related Symptom
BSI :	Building Symptom Index
BTEX :	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylène
BTEXS :	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylène, Styène
CIRC :	Centre International de Recherche sur le Cancer
COV :	Composé Organique Volatil
COVT :	Composés Organiques Volatils Totaux
CSTB :	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
CTA :	Cellule de traitement de l'air
ERP :	Etablissement Recevant du Public
FCU :	Fan Coil Unit
FTE :	Fumée de Tabac Environnementale
HOPE :	Health Optimisation Protocol for Energy-efficient buildings
HPLC :	High Performance Liquid Chromatography
HVAC :	Heating Ventilation and Air-Conditioning
INERIS :	Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
INRS :	Institut National de Recherche et de Sécurité
MIRTMO :	Médecin Inspecteur Régional du Travail et de la Main d'Oeuvre
MVAC :	Mechanical Ventilation and Air-Conditioning
MOLP :	Microscope Optique à Lumière Polarisée
NIOSH :	National Institute for Occupational Safety and Health
NOx :	Oxydes d'azote
OQAI :	Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
ORL :	Oto-Rhino-Laryngologie
PCR :	Polymerase Chain Reaction
PM _{2.5} :	Matière Particulaire dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm
PM ₁₀ :	Matière Particulaire dont le diamètre est inférieur à 10 µm
QAI :	Qualité de l'Air Intérieur
RSEIN :	Réseau Recherche Santé Environnement INTérieur
SBS :	Sick Building Syndrome
US-EPA :	United States Environmental Protection Agency

Liste des tableaux et figures

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Parcs des bureaux dans quelques grandes villes de France (données issues des observatoires régionaux d'immobilier d'entreprise).....	3
Tableau 2 : Division du parc des bureaux en France en fonction de l'utilisation (Riederer 2002).....	4
Tableau 3 : Surfaces neuves de bureaux climatisées ou rafraîchies en 2003 (ADEME 2004).....	6
Tableau 4 : Valeurs guides de l'OMS pour certains COV (World Health Organization 2000).....	8
Tableau 5 : Concentrations en COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – moyenne et 10 ^{ème} -90 ^{ème} percentiles.....	10
Tableau 6 : Nombre moyens de particules selon leur diamètre (Stridh, Andersson et al. 2002).....	14
Tableau 7 : Distribution des types de particules trouvés dans 6 bureaux à Oslo (Kruse, Madsø et al. 2002).....	15
Tableau 8 : Emissions moyennes de COVT, ozone et PM ₁₀ à partir de deux types d'imprimantes.....	21
Tableau 9 : Symptômes du SBS les plus couramment rencontrés.....	28
Tableau 10 : Coefficients de corrélation entre les variables de confort et de santé ; P est la probabilité que ces coefficients soient égaux à 0 (Johner, Roulet <i>et al.</i> 2005).....	31
Tableau 11 : Coefficients de corrélation entre le BSI et la perception de l'environnement et du contrôle que les employés peuvent avoir sur lui (Johner, Roulet <i>et al.</i> 2005) ...	31
Tableau 12 : Résultats de l'enquête réalisée auprès des Consultations de Pathologies Professionnelles et des MIRTMO : 5 réponses sur 7 obtenues, une étant inexploitable, l'autre étant analysée séparément (Aquitaine).....	34
Tableau 13 : Principales causes citées par les médecins du travail aquitains.....	36
Tableau 14 : Liste des polluants susceptibles d'être mesurés et leur classification (HOPE 2005).....	39
Tableau 15 : Principes des méthodes et matériels de prélèvement pour les différents paramètres d'intérêt.....	42
Tableau 16 : Méthode de classification des bâtiments par rapport aux critères sanitaires (HOPE 2005).....	45
Tableau 17 : Méthode de classification des bâtiments en fonction de leur consommation énergétique totale (HOPE 2005).....	45
Tableau 18 : Polluants susceptibles d'être mesurés lors de la phase 2 à l'issue de la première classification.....	47

Liste des figures :

Figure 1 : Carte du dynamisme des départements métropolitains pour la construction ou la rénovation de bâtiments de bureaux en 2004 (en m ² de bureaux où des travaux ont commencés).....	4
Figure 2 : Répartition des différents types de bâtiments de bureaux.....	6
Figure 3 : Réponses des 15 médecins du travail aquitains à l'enquête : les symptômes rencontrés.....	35
Figure 4 : Schéma de principe du programme d'étude HOPE sur les bâtiments de bureaux (HOPE 2005).....	43

Liste des annexes (cf. Tome 2)

Annexe 1 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives aux COV	I
Annexe 2 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives à la contamination bactériologique	III
Annexe 3 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives à la contamination fongique.....	V
Annexe 4 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives à la contamination due aux allergènes	VII
Annexe 5 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives aux particules.....	IX
Annexe 6 : Revue des émissions de COV par les matériaux dans les bâtiments de bureaux (Yu and Crump 1998).....	XI
Annexe 7 : Association entre l'environnement psychosocial au travail et les plaintes des employés de bureaux vis-à-vis de la QAI (n = 11 154) (Lahtinen, Sundman-Digert <i>et al.</i> 2004).....	XVII
Annexe 8 : Enquête envoyée aux MIRTMO et aux Consultations de Pathologies Professionnelles dans chaque région.....	XIX
Annexe 9 : Liste des Consultations de Pathologies Professionnelles et des MIRTMO à qui l'enquête a été envoyée	XXIII
Annexe 10 : Check-list destinée à être remplie par les techniciens enquêteurs lors du programme d'étude de l'OQAI dans les bâtiments de bureaux.....	XXIX
Annexe 11 : Questionnaire destiné aux occupants des bâtiments de bureaux investigués par l'OQAI	LIII
Annexe 12 : Proposition de protocole de prélèvement de la FTE	LXI
Annexe 13 : Proposition de protocole de prélèvement du radon (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXIII
Annexe 14 : Proposition de protocole de prélèvement des COV (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXV
Annexe 15 : Proposition de protocole de prélèvement des aldéhydes (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXVII
Annexe 16 : Proposition de protocole de prélèvement de l'ozone	LXIX
Annexe 17 : Proposition de protocole de prélèvement des bactéries	LXXI
Annexe 18 : Proposition de protocole de détection et de quantification des moisissures	LXXIII
Annexe 19 : Proposition de protocole de prélèvement des allergènes dans les poussières et dans l'air (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXXV
Annexe 20 : Proposition de protocole de prélèvement de la matière particulaire (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI).....	LXXVII
Annexe 21 : Proposition de protocole de mesure de la lumière.....	LXXIX
Annexe 22 : Proposition de protocole de mesure du bruit	LXXXI
Annexe 23 : Proposition de protocole de mesure de la température (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXXXIII
Annexe 24 : Proposition de protocole de mesure de l'humidité relative (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXXXV
Annexe 25 : Proposition de protocole de mesure du CO ₂ (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI).....	LXXXVII

INTRODUCTION

La préservation de la qualité de l'air intérieur (QAI) est un réel enjeu de santé publique et occupe une place importante au sein du Plan National Santé Environnement (PNSE).

"Protéger la population de la pollution à l'intérieur des locaux" est un des axes structurants du PNSE qui décline, pour ce faire, cinq actions à mettre en œuvre, dont "Mieux connaître les déterminants de la qualité de l'air intérieur et renforcer la réglementation". Cette dernière action est en effet l'enjeu l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI).

L'OQAI a été mis en place en 2001 dans le cadre d'une convention entre les ministères en charge du logement, de la santé, de l'environnement, l'ADEME et le CSTB. Il vise à établir un dispositif permanent de collecte de données sur les polluants présents dans les différents lieux de vie afin d'évaluer et de gérer les risques sanitaires liés à la pollution de l'air intérieur.

Les immeubles de bureaux sont, en terme de temps passé, le second lieu, après l'habitat, fréquenté par les personnes travaillant dans le secteur tertiaire. Un adulte y passe en effet trente-cinq heures par semaine en moyenne. Les méthodes de constructions modernes (immeubles de grande hauteur assez hermétiques avec des systèmes de ventilation/climatisation complexes) ainsi que l'équipement de ces édifices (ordinateurs, photocopieurs...) sont autant de facteurs qui peuvent influencer sur la qualité de l'air intérieur. L'air à l'intérieur des bureaux présente donc des spécificités qu'il est important d'étudier, d'autant plus que les plaintes formulées à cet égard par les occupants ne sont pas rares.

De nombreuses études sur la qualité de l'air intérieur ont déjà été menées, et ceci dans de nombreux lieux de vie : habitat, écoles, bureaux... Elles ont permis de connaître, à chaque fois dans un contexte différent, la QAI et ses implications sanitaires. Seule la qualité de l'air à l'intérieur des habitations a fait l'objet d'une étude d'ampleur nationale (étude achevée en décembre 2005, résultats actuellement en cours d'analyse par l'OQAI). L'OQAI souhaite mettre en place prochainement une étude sur la QAI dans les bâtiments de bureaux. Le but de cette étude est de mieux connaître l'état de la pollution dans ces lieux de vie et notamment de recenser les polluants présents, d'en déterminer les concentrations et d'en connaître toutes les conséquences en terme de santé publique, tout en faisant le lien avec les enjeux économiques de la QAI dans les bâtiments de bureaux.

L'objectif de ce mémoire est de préparer ce futur programme d'étude de l'OQAI dans les bâtiments de bureaux.

Afin de répondre à cet objectif, une synthèse bibliographique, recensant une grande partie les travaux internationaux sur le sujet, a tout d'abord été réalisée. Celle-ci a permis de dégager les spécificités de la problématique de la QAI dans les bâtiments de bureaux, notamment en terme de santé publique. Etant donné qu'il n'existe que très peu d'études françaises sur le sujet, il a été décidé de compléter l'état documentaire par une enquête auprès de médecins du travail. Puis, un projet de programme d'étude a été élaboré.

PARTIE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1 Typologie des bâtiments de bureaux

Les bâtiments de bureaux représentent un ensemble complexe et vaste de bâtiments à vocation tertiaire dont l'architecture, l'âge et l'agencement intérieur peuvent être très hétérogènes. Cette partie a pour vocation d'éclaircir la notion de « bâtiments de bureaux » et constitue une première étape de préparation à l'établissement d'un protocole d'étude.

1.1 Parc des bâtiments de bureaux en France métropolitaine

On ne connaît pas avec exactitude la taille du parc des bâtiments de bureaux en France. Les seules sources disponibles sont des sources indirectes ; on sait par exemple que la surface chauffée de bureaux était de 176 912 000 m² en 2002 (ADEME 2004).

Des données sur le parc des bâtiments de bureaux existent également dans certaines grandes villes. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Ville	Parc au 31/12/05 (m ²)
Aix en Provence	540 000
Angers	825 000
Avignon	195 000
Bordeaux	1 708 000
Lille	3 600 000
Lyon	4 608 800
Marseille	2 100 000
Metz	1 100 000
Montpellier	1 400 000
Mulhouse	620 000
Nantes	2 585 000
Nice	310 000
Sophia-Antipolis	450 000
Strasbourg	2 650 000
Toulouse	2 300 000
Montluçon	30 000

Tableau 1 : Parcs des bureaux dans quelques grandes villes de France (données issues des observatoires régionaux d'immobilier d'entreprise)

Enfin, les données issues des permis de construire nous informent sur le dynamisme des départements en ce qui concerne la construction d'immeubles neufs ou les rénovation/réhabilitation de bâtiments anciens (base de données SITADEL du Ministère de l'Équipement, [1]). Ces données peuvent être intéressantes du fait de l'utilisation, dans ces cas-là, de nouveaux matériaux, éléments de mobiliers ou de décoration qui sont potentiellement des sources de polluants dans l'air intérieur. À partir des surfaces de travaux engagés, des classes ont pu être dégagées et une carte réalisée :

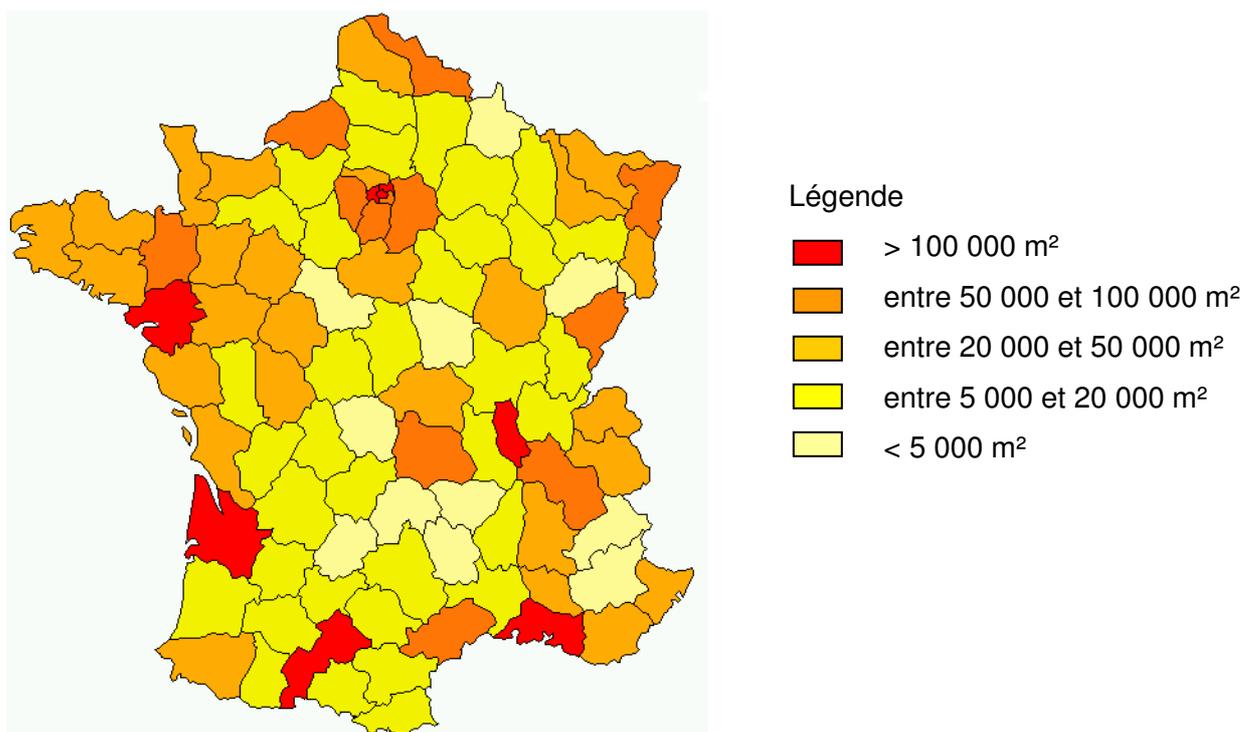


Figure 1 : Carte du dynamisme des départements métropolitains pour la construction ou la rénovation de bâtiments de bureaux en 2004 (en m² de bureaux où des travaux ont commencés)

On remarque que la répartition des surfaces de travaux commencés est hétérogène sur le territoire. Il existe donc des départements plus dynamiques que d'autres dans la construction ou la rénovation de bâtiments de bureaux, ce qui est évidemment aussi lié au parc initial de bureaux dans ces mêmes régions.

1.2 Typologie des bâtiments de bureaux

Il est très difficile de réaliser une typologie des bâtiments de bureaux du fait de leur diversité. On peut en effet considérer comme bâtiment de bureaux aussi bien des immeubles anciens, type haussmanniens à Paris, que des immeubles de grande hauteur (IGH), comme les tours de La Défense par exemple.

Le parc de bureaux peut aussi être divisé en fonction de son utilisation comme indiqué dans le tableau suivant :

Nature	% de la surface totale
Secteur privé	49
Communes	22
État	17
Autres collectivités locales	8
Autres	4

Tableau 2 : Division du parc des bureaux en France en fonction de l'utilisation (Riederer 2002)

L'étendue des architectures ou des années de construction et des années de rénovation est très vaste, ce qui rend absolument nécessaire mais extrêmement difficile la réalisation d'une typologie.

Des ingénieurs du CSTB ont réalisé une telle typologie en 1997 (François, Lahrech *et al.* 1997). Celle-ci est présentée ci-dessous :

1. *Immeubles de bureaux construits dans le cœur des villes pour un effet de « bureaux »*

Le bâtiment de type haussmannien situé à Paris est le plus représentatif de ce type d'immeubles de bureaux. Ces immeubles administratifs sont conçus sur un modèle proche des bâtiments d'habitation avec de longs couloirs desservant des batteries de petits bureaux. Ces bâtiments sont de type R+5 à R+6. Ils représentent les immeubles construits avant 1939 et leur part sur l'ensemble du parc peut être estimée entre 5 et 7%.

2. *Immeubles de logements réaffectés en immeubles de bureaux*

Il s'agit en grande partie d'anciens logements datant des trois derniers siècles et dans lesquels s'installent de petites sociétés ou des cabinets de professions libérales. Ces bâtiments sont eux aussi situés en zone urbaine et au cœur des villes anciennes. Ils ont été aménagés, en règle générale, avant 1939 et sont de type R+2 à R+5. Leur part sur l'ensemble du parc peut être estimée entre 5 et 7%.

3. *Immeubles de bureaux au cœur des vieilles villes complètement modernisés*

Il s'agit d'immeubles anciens qui devenaient obsolètes et qui ne répondaient plus aux demandes des entreprises : ces immeubles ont subi une réhabilitation lourde qui souvent s'est traduite par la destruction de l'ensemble avec maintien de la façade. Ils sont souvent situés en zone urbaine, et leur date de construction est antérieure à 1939. Ils sont de type R+5 à R+6. La part de ces immeubles sur l'ensemble du parc peut être estimée entre 4 et 6%.

4. *Immeubles de bureaux « publics » à vocation administrative avec accueil du public*

Ils ont été construits sur les deux derniers siècles, avec 7 à 10% du parc construit avant 1968 (mairies, hôtels de ville, ministères, etc. en zone urbaine et de type R+1 à R+3), 6 à 9% du parc construit entre 1970 et 1980 d'un type « uniforme » (de type R+2 à R+4, en zones urbaines et périurbaines bien desservies par les transports), et 7 à 10% du parc construit après 1982 d'une tendance architecturale « monumentale » (il est difficile de distinguer un type du fait de leur architecture originale).

5. *Immeubles de bureaux « publics » à vocation commerciale avec accueil du public de type « agence »*

Ce type regroupe des bâtiments de type postes, agences bancaires, etc. Ils sont caractérisés par un faible nombre d'étages (souvent de type R ou R+1), et une grande partie de ce parc date d'une vingtaine d'année. La part de ces immeubles sur l'ensemble du parc peut être estimée entre 15 et 20%.

6. *Immeubles de bureaux purs : bâtiments standards banalisés et tendance architecturale internationale*

Egalement appelés bureaux en blanc, ils se trouvent dans les centres d'affaire, les parcs technologiques, les villes nouvelles, etc. Ils sont standardisés mais s'adaptent au site. Les plans d'étage deviennent ainsi le seul facteur discriminant : on distingue les bâtiments avec une circulation qui s'entoure autour d'un noyau technique central (plateaux larges), représentant 10 à 15% du parc total, des bâtiments à simple circulation desservant de part et d'autre deux bandes de bureaux (plateaux minces), représentant également 10 à 15% du parc.

7. *Immeubles de bureaux purs comportant un atrium*

Ces immeubles sont souvent récents et de type R+4 à R+8. La part de ces immeubles sur l'ensemble du parc peut être estimée entre 2 et 5%.

8. *Immeubles de bureaux purs, tendance architecturale régionaliste et formes complexes*

Il s'agit pour la plupart de sièges sociaux de grandes entreprises reflétant une image de marque. Une typification de ces bâtiments est impossible.

9. Immeubles de bureaux de grande hauteur

Ils sont situés en grande partie à la Défense et dans les centres d'affaire des zones urbaines. Ils sont de type R+15 à R+55, sont très souvent hermétiques (i.e. sans ouvrant), et peuvent être subdivisés en deux types : les tours épaisses avec des bureaux paysagers datant des années 1960-1970 et représentant 1 à 3% du parc, et les tours de plus faible épaisseur, aux bureaux individuels ou semi-paysagers qui sont plus récents (datant de la dernière décennie) et qui représentent entre 4 et 6% du parc.

10. Bureaux associés à une activité technique ou de production : locaux polyvalents

Ils sont situés en zone d'activité ou dans des parcs technologiques et comportent généralement un ou deux étages. On peut estimer que la plupart de ces immeubles ont moins de quinze ans. La part de ces immeubles peut être estimée entre 12 et 18% sur l'ensemble du parc.

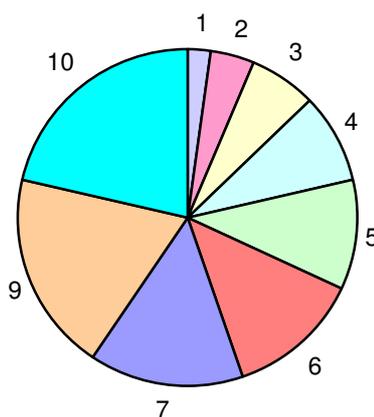


Figure 2 : Répartition des différents types de bâtiments de bureaux

Aucune donnée plus récente n'a pu être trouvée afin de compléter et d'actualiser cette typologie. Or, il est communément admis que le renouvellement moyen du parc des bâtiments de bureaux est de trente ans. Les pourcentages cités dans la typologie précédente ne sont donc probablement plus d'actualité, mais celle-ci permet cependant de fixer les idées et de donner les tendances constructives.

De plus, il n'existe aucune donnée sur l'agencement intérieur des bâtiments de bureaux, ni sur leurs équipements, tels le mobilier, les éléments de décoration, ou même les systèmes de ventilation. On ne connaît que les surfaces neuves de bureaux qui sont climatisées ou rafraîchies :

Type de ventilation	Surfaces neuves (en m ²)
Climatisées	1 513 200
Rafraîchies	578 400

Tableau 3 : Surfaces neuves de bureaux climatisées ou rafraîchies en 2003 (ADEME 2004)

En 2003, le taux de climatisation s'est en effet stabilisé avec 30% des surfaces autorisées à la construction, climatisées (ADEME 2004).

1.3 Conclusion

Il n'existe aucune donnée permettant d'avoir une idée précise du parc actuel des bâtiments de bureaux, ni de leur agencement intérieur, ni de leurs équipements, ni de leurs systèmes de ventilation.

Dans ce mémoire seront considérés comme bâtiments de bureaux seulement les immeubles de bureaux construits dans le cœur des villes pour un effet de « bureaux », les immeubles de logements réaffectés en immeubles de bureaux, les immeubles de bureaux

au cœur des vieilles villes complètement modernisés, les immeubles de bureaux purs, et les immeubles de grande hauteur, selon la typologie précédente.

Les bâtiments recevant du public et les locaux polyvalents ne seront pas étudiés car ils possèdent des caractéristiques de construction et réglementaires particulières.

2 La pollution de l'air dans les bâtiments de bureaux

2.1 Introduction

L'air intérieur peut être contaminé par de nombreux polluants provenant de l'air extérieur, du bâtiment et de ses équipements ou des occupants et de leurs activités.

Il existe quatre grandes catégories de polluants : les polluants chimiques, biologiques, physiques ou particulaires.

Certains paramètres comme le renouvellement de l'air, la température ou l'humidité sont également impliqués dans l'apparition de la pollution (moisissures, acariens, etc.) et participent directement au niveau du confort des occupants (World Health Organization 2000; Mosqueron and Nedellec 2001; Ministère de l'Équipement des Transports et du logement, Ministère de l'Emploi et de la solidarité *et al.* 2002; Mosqueron and Nedellec 2004; Jédor 2005).

2.1.1 Les polluants chimiques

Les polluants chimiques de l'air intérieur sont de loin les plus nombreux. Ils peuvent être trouvés sous forme gazeuse, d'aérosols, ou sous forme particulaire. Leur toxicité tient principalement de leur formule chimique. Les principaux polluants sont :

- le **monoxyde de carbone (CO)**, qui provient de la combustion incomplète de matériaux carbonés, donc en général d'installations de chauffage mal réglées ou mal entretenues ; il est responsable de nombreuses morts par asphyxie, car, se liant préférentiellement et solidement à l'hémoglobine à la place du dioxygène, il empêche ce pigment de jouer son rôle dans la respiration ; les valeurs guides de l'OMS sont de 5 ppm pour 24 heures d'exposition, de 10 ppm pour 8 heures, de 25 ppm pour 1 heure, et de 90 ppm pour 15 minutes d'exposition ;
- les **oxydes d'azote (NOx)**, gaz formés d'azote et d'oxygène, comprenant le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) ; ils sont émis lors de combustions à haute température ; la pollution intérieure provient essentiellement des appareils de chauffage ou de production d'eau chaude, des gazinières, du tabagisme ou de la circulation automobile (transfert de la pollution extérieure à l'intérieur des bâtiments) ; leur effet sanitaire concerne principalement les phénomènes d'irritation de l'appareil respiratoire (poumons) ; les valeurs guides de l'OMS sont de 0,08 ppm pour 8 heures d'exposition, et de 0,21 ppm pour 1 heure ;
- l'**ozone (O₃)** est un gaz ubiquitaire dans l'environnement ; il constitue la couche stratosphérique protectrice de l'atmosphère, mais est aussi dans la troposphère un polluant notable ; il se forme sous l'effet du rayonnement solaire à partir du NO₂ et du CO, de même que lors du fonctionnement d'imprimantes laser, de photocopieurs ou de certains purificateurs d'air ; il s'agit d'un très fort oxydant et ses effets sanitaires se situent principalement au niveau des voies respiratoires (irritations, asthme, toux, difficultés respiratoires...) ; les valeurs guides de l'OMS sont de 0,05 ppm pour 8 heures d'exposition, et de 0,076 ppm pour 1 heure ;
- les **composés organiques volatiles (COV)** sont très nombreux (plus de 900 COV identifiés par l'OMS en 1989) et correspondent à plusieurs familles chimiques : alcanes, alcènes, aldéhydes, cétones, esters, alcools, terpènes... Ils sont, eux aussi, ubiquitaires dans l'environnement, mais seulement 50 à 100 d'entre eux peuvent être mesurés dans l'air intérieur ; les sources intérieures de COV sont les activités humaines (tabagisme, entretien, bricolage, utilisation de bougies, d'encens...), les matériaux de construction, l'ameublement et les équipements

(imprimantes, appareils de chauffage...); quelques composés font l'objet de valeurs guides par l'OMS :

Composés	Valeurs guides	Temps d'exposition
Toluène	7,5 mg/m ³	24 h
Toluène	1 mg/m ³	30 min
Tétrachoroéthylène	5 mg/m ³	24 h
Dichlorométhane	3 mg/m ³	24 h
Trichloroéthylène	1 mg/m ³	24 h
Formaldéhyde	0,1 mg/m ³	30 min
Benzène	0,17 µg/m ³	Vie entière (pour un risque de 10 ⁻⁶)

Légende : Toxicité aiguë

Toxicité chronique

Tableau 4 : Valeurs guides de l'OMS pour certains COV (World Health Organization 2000)

- le **plomb**, qui se trouve essentiellement sous forme particulaire, provient d'écailles de peintures ; les effets sanitaires sont le plus souvent chroniques, les expositions aiguës étant rares ; il s'agit le plus souvent d'atteintes neurologiques ou d'anémies ; aucun seuil de dose n'a été trouvé jusqu'à présent.
- le **dioxyde de carbone (CO₂)** est, lui, issu principalement de la respiration ; il peut être utilisé pour déterminer le niveau de confinement d'un local, le niveau de la ventilation...

2.1.2 Les polluants physiques

Le **radon** est un gaz radioactif d'origine naturelle provenant de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre. On le trouve principalement dans les zones de socle. Il accroît de façon certaine les risques de cancer du poumon, et causerait la mort de 2000 personnes par an en France. Aucun seuil de dose n'existe pour ce polluant. En pratique, les pouvoirs publics distinguent trois niveaux en terme d'exposition et ont récemment défini une législation pour certains ERP dans 31 départements :

1. en dessous de 400 Bq/m³, la situation ne justifie pas d'action correctrice particulière ;
2. entre 400 et 1000 Bq/m³, il est souhaitable d'entreprendre des actions correctrices simples ;
3. au delà de 1000 Bq/m³, des actions correctrices, éventuellement d'envergure, doivent être impérativement conduites à bref délai, car on aborde un niveau de risque qui peut être important. Ce dernier niveau, conduira, en fonction de sa fréquentation, à envisager la fermeture de l'établissement recevant du public jusqu'à la réalisation des actions correctrices.

En ce qui concerne les bâtiments à construire, et pour tenir compte des phénomènes de vieillissement, une valeur guide de 200 Bq/m³ peut être retenue.

2.1.3 Les polluants particuliers

Dans cette rubrique sont classés les polluants sous forme particulaire dont le principal effet sanitaire est dû au nombre, à la taille ou à la forme des particules, et non à leur composition chimique. Sont classées dans cette catégorie :

- les **poussières**, qui sont des particules solides de nature très diverse ; leur effet sanitaire dépend de leur taille, les plus fines s'engouffrant plus profondément dans

les voies respiratoires, et de leur concentration ; leur présence peut se traduire par des effets respiratoires ou cardiaques, et/ou par l'affaiblissement du système immunitaire ; outre les effets sanitaires dus à leurs caractéristiques physiques, les particules possèdent bien souvent des substances toxiques adsorbées à leur surface ; il n'existe pas de valeurs guides de l'OMS, mais des effets à court terme ont été vus pour des concentrations inférieures à 100 µg/m³ et des effets à long terme pour des concentrations inférieures à 20 µg/m³ ;

- l'**amiante** est une fibre minérale utilisée principalement pour l'isolation ; son utilisation est interdite depuis 1997 ; les fibres d'amiante libérées dans l'air sont considérées comme un cancérigène certain par le CIRC (cancer du poumon, mésothéliome), et peuvent aussi générer une amiantose (ou asbestose) ;
- les **autres fibres minérales**, c'est-à-dire les laines de roches et de verre, sont elles aussi utilisées pour l'isolation ; une exposition brève à ces fibres peut entraîner une irritation de la peau, du nez et des yeux ; une exposition chronique peut causer des problèmes pulmonaires, et un effet cancérigène est suspecté selon la structure des fibres et leur fabrication.

2.1.4 Les polluants biologiques

Les polluants biologiques sont constitués de l'ensemble des micro-organismes et des vecteurs particulaires en suspension dans l'air. Ils sont omniprésents et très divers, il s'agit des **bactéries** (dont certaines produisent des endotoxines), des **virus**, des **moisissures** (dont certaines produisent des mycotoxines), des **allergènes d'animaux** (chats, chiens), d'**insectes** (blattes) ou d'**acariens**, ou des **pollens**.

Les effets sanitaires de ces micro-organismes, pollens, ou résidus de micro-organismes pour les allergènes, vont dépendre des espèces présentes, de leurs concentrations et de la durée d'exposition et des personnes exposées. Outre le risque infectieux (infections respiratoires en ce qui concerne la QAI), il existe des risques immuno-allergiques et toxiques non négligeables.

2.1.5 Les paramètres de confort

Les paramètres de confort regroupent un ensemble de paramètres : la température, l'importance des courants d'airs, l'humidité relative, l'acoustique, la luminosité... Ces paramètres influent sur la perception de l'environnement et de la qualité de l'air intérieur, et sont donc à prendre en considération. De plus, certains de ces paramètres jouent directement sur la qualité de l'air intérieur, comme par exemple la température et l'humidité qui peuvent favoriser le développement bactérien.

Leurs effets sanitaires propres peuvent être multiples, allant du rhume causé par le froid et la forte humidité, à la déshydratation par de fortes températures et une humidité relative faible.

2.2 Les polluants spécifiques des immeubles de bureaux

Une recherche bibliographique a été effectuée sur la thématique « pollution de l'air intérieur dans les immeubles de bureaux (office buildings) ». Plusieurs sources documentaires ont été utilisées :

- recherche par le service de documentation du CSTB dans les bases de données du CSTB, PubMed et ScienceDirect ;
- extraction de la base de données RSEIN de l'INERIS avec le mot-clé « office » ;
- recherches complémentaires effectuées sur Internet.

Ces recherches ont permis de dégager près de **400 publications** en lien avec la problématique de la qualité de l'air intérieur dans les immeubles de bureaux et de ses effets sanitaires.

Ces publications internationales ont été lues et classées, ce qui a permis d'en sélectionner **150** traitant spécifiquement des polluants de l'air intérieur dans les immeubles de bureaux.

La synthèse suivante est issue des données fournies par ces documents. Elle met en avant les polluants les plus étudiés ainsi que ceux qui sont spécifiques aux immeubles de bureaux. Elle a également pour but d'indiquer les niveaux de pollution moyens rencontrés par les différents auteurs. Elle permettra de déterminer les polluants d'intérêt pour une future étude.

2.2.1 Les composés organiques volatils

Les polluants organiques sont les polluants les plus étudiés dans les immeubles de bureaux (26 publications). Ils sont assez difficiles à caractériser car :

- ils sont très nombreux, et ont des concentrations variées ;
- leurs sources et leurs effets sanitaires sont multiples ;
- ils peuvent se trouver sous plusieurs formes : gazeux ou adsorbés sur des particules ; dans ses travaux sur 19 bureaux en **Suède**, Andersson et al. ont en effet montré que la concentration en COV adsorbés sur les particules peut être comprise entre 460 et 1700 µg/g de poussière (Andersson, Fredriksson et al. 2002).

Une synthèse des travaux suivants est présentée en Annexe 1.

Il n'existe que peu d'études réalisées en **France** sur le sujet. Saude et al., en 1993 et sur deux immeubles de bureaux parisiens, mettent en évidence des concentrations intérieures en COV 1,2 à 7 fois plus élevées qu'à l'extérieur. Les concentrations en composés aromatiques (BTEX), en formaldéhyde, en acétaldéhyde et en acétone sont semblables dans les deux immeubles, même si le système de ventilation diffère (ventilation naturelle et climatisation). Cependant il existe des pics de pollution plus marqués dans les bureaux climatisés (Saude, Loewenstein et al. 1993).

Une seconde étude réalisée par Kirchner et al. en 1995 a permis de mesurer dans six immeubles parisiens les concentrations en COVT. Celles-ci variaient de 204 à 616 µg/m³ (Kirchner, Ribéron et al. 1995).

Enfin, Ginestet et al. en 2003 ont réalisé une série de mesures de formaldéhyde dans des immeubles de bureaux à Lyon et Paris. Les concentrations varient selon la saison, et d'un bureau à l'autre, de 33 à 503 µg/m³ dans les bureaux parisiens (Ginestet, Ribot et al. 2003).

Une étude réalisée dans 20 immeubles de bureaux à **Hong Kong** (Chao C.Y. 2001) a permis de mettre en évidence la présence d'au moins 43 COV. Les composés les plus concentrés sont le benzène, l'éthyl-benzène, le toluène, le xylène (BTEX), le chloroforme et les trichloréthylènes. Ceux-ci étaient présents dans 100% des échantillons. Le 1,3,5-triméthylbenzène, le méthylchlorure et le dichlorométhane étaient, quant à eux, présents dans 75% des échantillons. En pourcentage (par rapport au poids), ce sont les hydrocarbures aromatiques qui sont les plus importants (80%), viennent ensuite les hydrocarbures chlorés (14%), et enfin les organohalogénés (6%).

Une autre étude réalisée par Springston et al. à **New York** montre que, parmi les 136 bureaux commerciaux investigués, près de 88% d'entre eux présentent des concentrations en COV dépassant la valeur guide européenne de 0,3 mg/m³ (Springston, Esposito et al. 2002).

L'étude EXPOLIS réalisée à **Milan** sur 50 employés de bureaux (Carrer, Cavallo et al. 2002) montre des niveaux de pollution moyens dans les bureaux pour les BTEX et les COVT :

	Air intérieur des bureaux (N = 45)
Benzène	9,8 (4,2-36,1)
Toluène	37,3 (14,5-192,3)
<i>o</i> -Xylène	6,4 (2,0-32,2)
<i>m,p</i> -Xylène	21,7 (8,4-96,3)
COVT	346 (176-1016)

Tableau 5 : Concentrations en COV (µg/m³) – moyenne et 10^{ème}-90^{ème} percentiles

Ces travaux montrent de plus l'influence de la saison sur les concentrations intérieures en COV : celles-ci sont significativement supérieures en hiver par rapport à l'été, ce qui est probablement dû à un plus fort taux de ventilation pendant la période estivale. De même, il semble que la présence d'imprimantes augmente elle aussi la concentration en COV, sans que cette augmentation soit significative.

Une étude de grande ampleur a été réalisée aux **Etats-Unis** dans 56 immeubles de bureaux afin d'en déterminer le niveau de pollution en COV (étude BASE). Celle-ci a permis de mettre en évidence 48 COV dans cet environnement intérieur à des concentrations quantifiables (Girman, Hadwen et al. 1999). Huit COV ont été trouvés dans tous les échantillons, et 26 dans 81-99% des échantillons. Les douze COV ayant les concentrations moyennes les plus importantes sont : l'acétone (7,7-220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), le toluène (1,6-360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), le D-limonène (0,3-140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), les m & p-xylènes (0,8-96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), le 2-butoxyethanol (0,7-78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), le n-undécane (0,6-58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), le benzène (0,6-17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), le 1,1,1-trichloroéthane (0,6-450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), le n-dodécane (0,5-72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), l'hexanal (0,8-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), le nonanal (1,2-7,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et le n-hexane (0,6-21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Parmi ces douze composés, on retrouve ceux identifiés par Chao.

D'autres travaux spécifiques au formaldéhyde ont été réalisés. Haruki *et al.*, dans leur étude sur 300 immeubles de bureaux au **Japon** (Haruki, Yasuhiro et al. 2003), ont montré que 1,5% des échantillons dépassaient la valeur guide de 0,08 ppm, mais que la concentration moyenne en formaldéhyde était de 0,3 ppm. Les concentrations moyennes en formaldéhyde dans les immeubles de bureaux semblent varier d'une région à l'autre. Cependant, les auteurs privilégient l'hypothèse de l'âge des bâtiments comme facteur dominant dans les concentrations en cette substance. Il ne faut pas non plus négliger les éventuelles réparations et rénovations effectuées sur ces bâtiments. Néanmoins, les immeubles datant des années 75-80 semblent présenter une concentration moindre en formaldéhyde. Haruki *et al.* mettent aussi en évidence l'influence de la température sur la concentration intérieure en formaldéhyde : les pièces avec une température plus faible présentent aussi des concentrations en HCHO plus faibles, et inversement.

Enfin, des travaux réalisés par Zuraimi *et al.* comparent les concentrations en COV à **Singapour** et en **Europe** (Zuraimi, Roulet et al. 2003). Ils observent certaines différences, aussi bien dans la composition que dans les concentrations en COV, dans les environnements intérieurs de ces deux régions. Ainsi les concentrations en 2-méthylpentane, en heptane, en petits alcanes, en limonène et en isoprène sont plus élevées en Europe qu'à Singapour ; l'inverse est vrai pour le benzène et le toluène. Cette étude montre qu'il existe des différences dans les environnements intérieurs entre les régions du monde. Il est donc nécessaire de réaliser des études en France pour pouvoir estimer l'exposition des Français aux polluants de l'air intérieur.

2.2.2 Les biocontaminants

Avec 25 publications, les biocontaminants sont la seconde famille de polluants la plus étudiée dans les immeubles de bureaux.

Les publications montrent une grande diversité de ces biocontaminants, ainsi que leur ubiquité dans les environnements intérieurs, et notamment dans les immeubles de bureaux.

Si ces polluants sont tellement étudiés, c'est que les scientifiques soupçonnent les systèmes de ventilation de participer à leur diversité et à leur dissémination. Les microorganismes peuvent de plus représenter un danger pour la santé, car en plus de représenter un risque d'infection, certains produisent des toxines (endotoxines pour les bactéries et mycotoxines pour les champignons). Enfin, les allergènes, comme leur nom l'indique, sont susceptibles de provoquer des allergies très graves chez des personnes sensibles.

Des tableaux récapitulatifs des études citées ci-dessous sont présentés en Annexes 2 à 4.

A) Les bactéries

Des travaux **français** effectués dans des immeubles de bureaux montrent jusqu'à plus de 500 souches de bactéries différentes dans l'air intérieur, sur les surfaces de travail et dans la poussière (Bouillard, Michel et al. 2005). Cette étude, réalisée sur 20 bureaux, montre de plus que les bactéries Gram - sont plus nombreuses que les bactéries Gram +, et que les employés de ces bureaux peuvent donc être exposés à de larges concentrations en endotoxines issues de ces bactéries.

De plus, il semble que chaque immeuble ait un profil de contamination différent (Pesonen-Leinonen, Tenitz et al. 2004).

Quelques **études françaises** ont été menées sur le sujet depuis les années 80. Elles ont toutes pour objectif de comparer la charge bactérienne de l'air à l'intérieur de bureaux avec le type de ventilation. Ainsi, Mouillesseaux et al. ont réalisé une enquête sur 112 immeubles de bureaux climatisés en région parisienne et ont dénombré en moyenne 401 (+/-287) UFC/m³ (Mouillesseaux, Squinazi et al. 1993). La flore bactérienne à l'intérieur des locaux échantillonnés renferme quelques *Staphylococcus aureus*, et dans certains cas des entérobactéries. Vincent et al. ont, eux, réalisé une étude sur trois immeubles de bureaux parisiens (Vincent, Annesi et al. 1997), et dénombrent en moyenne entre 458,7 (+/-274,4) et 547,6 (+/- 260,4) UFC/m³ selon le type de ventilation pour la flore totale, et pour *Staphylococcus aureus* entre 0,48 (+/- 1,09) et 0,62 (+/- 0,95) UFC/m³. L'équipe de Parat et al. en 1995 lors de l'étude européenne JOULE II (Parat, Perdrix et al. 1995; Parat, Perdrix et al. 1997) dénombrent dans six immeubles de bureaux en moyenne entre 189 (+/-119) et 409 (+/-191) UFC/m³ selon le type de ventilation. Les espèces les plus fréquemment rencontrées sont *Staphylococcus*, *Micrococcus* et *Bacillus*, avec une prédominance de *Staphylococcus epidermidis*. Enfin, en 2003, Ginestet et al. dénombrent dans un immeuble lyonnais et deux immeubles parisiens entre 50 et 300 UFC/m³ (Ginestet, Ribot et al. 2003).

Par ailleurs, des dénombrements de bactéries dans l'air intérieur des bureaux ont été réalisés par deux équipes. Il s'agit d'études en climat tropical (**Rio de Janeiro** et **Ile Maurice**), ce qui pose la question de la représentativité des résultats obtenus sous un climat plus tempéré. L'équipe de Nunes et al. a obtenu en moyenne 300 UFC/m³ dans les 2066 bureaux brésiliens échantillonnés (Nunes, Martins et al. 2005), alors que l'équipe de Bholah et al. en a dénombré entre 3 et 1110 UFC/m³ dans les 23 immeubles mauriciens sélectionnés (Bholah R. 2002).

Enfin, l'étude de grande ampleur BASE effectuée aux **Etats-Unis** par l'US-EPA sur cent immeubles de bureaux montre que les bactéries liées à la présence humaine (coques Gram +) sont plus concentrées l'été dans l'air intérieur que dans l'air extérieur ; au contraire, les bactéries associées au sol et aux plantes sont plus présentes dans l'air extérieur par rapport à l'air intérieur, et ceci quelle que soit la saison (Tsai and Macher 2005).

Dans tous les cas, la flore totale est nettement supérieure à l'intérieur des bâtiments qu'à l'extérieur, et sa principale source est l'occupation humaine.

Il est à noter, de plus, que les bactéries ont à chaque fois été isolées et identifiées après mise en culture, ce qui laisse présumer que les résultats sont largement sous-estimés étant donné que seuls 0,1 à 10 % des bactéries sont cultivables (Eduard 1997).

B) Les champignons

En ce qui concerne la contamination fongique, il semble que les moisissures dominent dans l'environnement intérieur. Notons, de plus, que toutes les études suivantes ont été réalisées à l'aide de mises en culture, ce qui sous-entend les mêmes limites que pour les travaux sur les bactéries.

Parmi les études réalisées en **France**, on en dénombre quelques unes relatives à la contamination fongique. Ainsi, Mouillesseaux et al., dans la même étude que précédemment (Mouillesseaux, Squinazi et al. 1993), ont montré dans leur panel de 112 immeubles de bureaux, que la flore fongique présente dans les environnements intérieurs

des bureaux est hétérogène, avec cependant une majorité de *Penicillium* et *Aspergillus*. Dans leur étude de 1999, Parat *et al.* montrent qu'il existe une forte variation saisonnière dans la contamination fongique intérieure et extérieure : celle-ci est en effet nettement supérieure en été qu'en hiver (Parat, Perdrix *et al.* 1999). De plus, ils montrent que la contamination fongique est plus importante dans les immeubles à ventilation naturelle que dans les immeubles climatisés (en moyenne, 208 UFC/m³ contre 17 UFC/m³). Les immeubles à ventilation naturelle présentent une majorité de *Penicillium*, qui est aussi prédominant dans l'environnement extérieur ; les plus fortes contaminations en été sont dues à l'augmentation de *Cladosporidium*. Au contraire, les immeubles climatisés présentent un moindre pic de contamination en été, et les espèces majoritaires sont *Cladosporidium* et *Penicillium*.

L'étude, plus récente, de Ginestet *et al.* montre une contamination fongique dans leurs deux immeubles qui peut être considérée comme faible (< 100 UFC/m³). Néanmoins, les auteurs considèrent que le très fort taux de renouvellement d'air à l'intérieur des immeubles peut expliquer ces faibles valeurs (Ginestet, Ribot *et al.* 2003).

Dans leur étude dans deux immeubles de bureaux, Kemp *et al.* montrent que la flore fongique à l'intérieur des bâtiments est différente de celle à l'extérieur (Kemp P.C., Esposito *et al.* 2003). Ainsi, si certaines moisissures sont transportées de l'extérieur vers l'intérieur par les systèmes de ventilation, on ne peut négliger les apports par la présence et les activités humaines.

Les travaux de Chasseur *et al.* dans 24 immeubles de bureaux **bruxellois** permettent d'obtenir un dénombrement des champignons mésophiles : les auteurs considèrent comme immeubles « moyens » ceux dont la contamination fongique se trouve entre les percentiles 50 et 75, i.e. 12 et 23 UFC/m³ (Chasseur, Gofflot *et al.* 2002). Ils soulignent de plus que les moisissures thermophiles sont rarement identifiées dans les environnements intérieurs de bureaux.

Lorenz *et al.* montrent, eux, la présence d'espèces jusqu'alors inconnues en **Allemagne**, et qui peuvent être dangereuses car produisant des aflatoxines cytotoxiques : *Aspergillus pseudoustus* (Lorenz, Trautmann *et al.* 2003).

L'étude de Chao *et al.* sur 4 immeubles de bureaux à **Boston** montre, entre autres, que la concentration de champignons dans l'air intérieur est plus importante en été qu'en hiver (Chao, Schwartz *et al.* 2002).

Enfin, les résultats de l'étude BASE réalisée aux **Etats-Unis** sur 100 immeubles de bureaux montrent la présence de spores (en moyenne 274 sp/m³) et de champignons (en moyenne 99 UFC/m³) dans l'environnement intérieur d'immeubles de bureaux où aucun problème sanitaire notoire n'a été démontré (Tsai, Macher *et al.* 2005).

C) Les allergènes

Il existe plusieurs types d'allergènes susceptibles d'être rencontrés dans l'air intérieur des bureaux : allergènes d'acariens, d'animaux domestiques, d'insectes, de champignons... Cependant, très peu d'études ont été réalisées sur le sujet.

L'étude américaine BASE réalisée sur 93 immeubles de bureaux aux **Etats-Unis** a recensé des allergènes de chat (*Fel 1*) dans 94% des échantillons, et des allergènes d'acariens, selon de type (*Der f1* et *Der p1*), dans 45 et 51 % des échantillons respectivement (Macher, Tsai *et al.* 2002).

Les travaux de Perfetti *et al.* dans 160 lieux de travail en **Italie** ont permis de mettre au jour la présence d'allergènes d'acariens *Der f1* dans 54 % et *Der p1* dans 55% des bureaux, des allergènes de chat (*Fel 1*) dans 54% des bureaux et des allergènes de blattes (*Bla g2*) dans 1,9% des bureaux. Ces auteurs montrent aussi que les sièges de bureaux matelassés peuvent être un réservoir pour ces allergènes (Perfetti L., Ferrari *et al.* 2004).

Néanmoins, Freund, qui a comparé les concentrations en allergènes dans l'environnement intérieur des logements à celles dans les bureaux en **France**, conclut que « l'exposition aux allergènes d'acariens sur ces lieux de travail ne semble pas représenter

un risque majeur de sensibilisation ou de majoration de symptômes chez des sujets atopiques » (Freund V. 2002).

La seule autre **étude française** sur le sujet est celle de Vincent *et al.* (Vincent, Annesi et al. 1997). Des allergènes de chat et d'acariens ont été recherchés dans la poussière des trois immeubles de bureaux parisiens étudiés. Selon le type de ventilation, la concentration en allergènes varie : entre 121,8 et 236,1 ng/m² pour les allergènes de chat, et entre 6,4 et 20,9 ng/m² pour les allergènes d'acariens, la concentration la plus faible étant, dans les deux cas, pour l'immeuble à ventilation naturelle.

2.2.3 Les particules

En nombre d'études, les particules viennent ensuite, avec 13 publications.

Rappelons que nous prenons en compte ici les particules sous leur forme physique, et en aucun cas leur composition chimique, qui peut elle aussi être source de risques sanitaires. Un tableau récapitulatif de ces études est présenté en Annexe 5.

Notons qu'aucune étude n'a permis d'évaluer spécifiquement les concentrations en fibres minérales.

En ce qui concerne les **études françaises**, une seule est assez récente et peut donc être comparée aux études étrangères. Les études plus anciennes ont en effet été réalisées avant ou juste après la promulgation de la loi Evin et l'interdiction de fumer dans les lieux collectifs fermés, ce qui influe beaucoup sur les concentrations en particules.

L'étude de Ginestet *et al.*, réalisée en 2003 (Ginestet, Ribot et al. 2003), montre que les concentrations en particules sont en général inférieures à 30 µg/m³, sans précision de la fraction granulométrique. Les auteurs soulignent également qu'aucune variation saisonnière n'est observée, ce qui tend à confirmer les conclusions de Stridh *et al.* présentées ci-après. Cependant, la valeur de 30 µg/m³ semble un peu élevée comparée à celles mesurées par les autres auteurs. La question se pose donc de savoir si cette valeur est due à la sélection des immeubles de bureaux, ou s'il s'agit d'une spécificité française. Dans leur étude, Stridh *et al.* ont mesuré la concentration en particules dans 18 bureaux répartis dans 3 bâtiments **suédois** (Stridh, Andersson et al. 2002). Le but de ce travail était d'établir des valeurs guides pour les particules dans des immeubles sans problème apparent. La valeur moyenne de 16 +/- 5 µg/m³ a été déterminée. Les travaux de Stridh *et al.* ont également permis de montrer que les particules les plus nombreuses sont aussi les plus petites, et donc les plus dangereuses. De par leur taille, les particules les plus fines sont en effet susceptibles de s'engouffrer très profondément dans les voies respiratoires.

Intervalle de diamètre (µm)	Nombre moyen de particules x 10 ⁶ par m ³
0,3 - 0,5	9
0,5 - 1,0	2
1,0 - 5,0	0,4
5,0 - 10,0	0,007
10,0 - 20,0	0,002
> 20,0	< 0,001

Tableau 6 : Nombre moyens de particules selon leur diamètre (Stridh, Andersson et al. 2002)

Les concentrations en particules ne présentent pas de variation saisonnière significative, mais peuvent être légèrement plus importantes la nuit lorsque le système de ventilation est à l'arrêt.

Kruse *et al.* ont, eux, identifié selon la taille et la composition des particules qu'ils ont récoltées lors de leurs travaux dans six immeubles de bureaux à **Oslo** (Kruse, Madsø et al. 2002). Il en résulte les résultats suivants :

Taille des particules (μm)	Concentration moyenne (particules/ m^3)
> 10	$1,2 \cdot 10^4$
5 - 10	$1,2 \cdot 10^5$
1 - 5	$3,7 \cdot 10^5$

Taille (μm)	Béton	Gypse	Autres particules minérales	Métaux	Oxydes de fer	Autres particules inorganiques	Squames	Fibres organiques	Autres particules organiques	Agrégats (particules diesel par exemple)	Non classifiable
> 10											
5-10											
1-5											

Légende :

Non trouvées ou très peu de particules	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%
--	-------	--------	--------	--------	--------

Tableau 7 : Distribution des types de particules trouvés dans 6 bureaux à Oslo (Kruse, Madsø et al. 2002)

Les particules de taille inférieure à $1 \mu\text{m}$ n'ont pas pu être classées du fait des limites de la méthode de détermination utilisée. Néanmoins, l'auteur souligne que ces particules de diamètre inférieur à $1 \mu\text{m}$ sont de loin les plus nombreuses dans l'environnement intérieur des bureaux qu'il a investigué, avec une concentration de $1,3 \cdot 10^8$ particules/ m^3 .

L'étude BASE réalisée aux **Etats-Unis** sur 100 immeubles de bureaux a aussi porté sur les mesures de concentrations en PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ (Burton, Girman et al. 2000). Les résultats de cette étude montrent une concentration moyenne en PM_{10} entre $3,0$ et $35,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une moyenne géométrique de $11,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et en $\text{PM}_{2,5}$ entre $1,3$ et $24,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une moyenne géométrique de $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les échantillons, pour la plupart, ne dépassaient pas les $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est du même ordre de grandeur que les résultats obtenus par Stridh *et al.*

2.2.4 L'ozone

L'ozone est un polluant que l'on rencontre le plus souvent dans l'air extérieur (troposphère). Il est produit à partir de la réaction entre le NO_2 et le CO émis par la circulation automobile. Cependant, il peut être aussi produit dans l'environnement intérieur par des équipements utilisant les rayonnements UV ou lasers, tels que les imprimantes, les photocopieuses... L'ozone constitue donc un polluant de l'air intérieur qui semble assez spécifique des immeubles à usage tertiaire.

Tous les travaux sur l'ozone dans les immeubles de bureaux sont relatifs soit aux sources d'ozone (cf. paragraphe 2.3), soit aux réactions entre l'ozone et les COV et à la formation de composés organiques secondaires. Aucune étude ne donne les concentrations moyennes en ozone dans les immeubles de bureaux.

Douze études traitent des réactions et des produits de réaction entre l'ozone et les composés organiques volatils.

Parmi ces travaux, Wolkoff *et al.*, dans leur revue de littérature (Wolkoff, Wilkins et al. 2006), mettent en avant la production de composés irritants de structures connues et inconnues par réaction entre l'ozone et plusieurs terpènes : le R-limonène, l' α -pinène, et l'isoprène.

Li *et al.*, en 2002, montrent que la réaction entre l'ozone et le d-limonène produit des hydroperoxydes, dont le composé majoritaire est le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) (Li, Turpin *et al.* 2002). Ce dernier composé peut être transporté dans les voies respiratoires inférieures. Des aérosols organiques secondaires sont aussi produits par ces réactions (diamètre compris entre $0,3$ - $0,7 \mu\text{m}$).

Enfin, Bakó-Biró *et al.* ont examiné les relations entre la concentration en ozone dans l'environnement intérieur et le taux d'émission de composés oxygénés (Bakó-Biró, Weschler et al. 2005). Il en résulte que la somme des taux d'émission des aldéhydes à 6,

9 et 10 atomes de carbone augmente de façon quasi-linéaire avec l'augmentation de la concentration en ozone dans l'air intérieur.

2.2.5 Fumée de tabac environnementale

Logiquement, il ne devrait pas y avoir de paragraphe sur ce thème, puisque le tabagisme est interdit dans tous les lieux publics collectifs depuis la loi Evin de 1993. Néanmoins, plusieurs études réalisées depuis cette date montrent une certaine « réticence » de certains fumeurs à respecter cette loi !

La fumée de tabac environnementale (FTE) est unanimement reconnue pour être un facteur de risques sanitaires important dans l'air intérieur des bâtiments.

Une **étude française** réalisée au milieu des années 90 (Phillips, Bentley et al. 1998) a permis de montrer, outre le niveau plus important des indicateurs de FTE dans les environnements intérieurs où les fumeurs sont présents, que d'une manière globale et en présence de fumeurs, l'exposition dans les lieux de travail est plus importante que dans les logements. Les auteurs soulignent que le solanesol (terpénoïde à 45 atomes de carbone) est le marqueur d'exposition le plus approprié pour évaluer l'exposition à la FTE.

2.2.6 CO₂

Le dioxyde de carbone est souvent utilisé comme indicateur de confinement des pièces. Si la pièce est mal aérée ou sur-occupée, le CO₂ issu de la respiration va en effet s'accumuler. N'étant pas un gaz pouvant représenter un grand danger sanitaire, peu d'études s'y intéressent, sauf évidemment les études concernant l'étude de la ventilation.

Dans leur revue de littérature, Seppänen *et al.* montrent que les concentrations en CO₂ dans l'air intérieur des immeubles de bureaux varient entre 330 et 2500 ppm (Seppänen, Fisk et al. 1999).

Néanmoins, les travaux de Bakó-Biró *et al.*, réalisés au **Danemark** en 2005, offrent une perspective nouvelle sur les concentrations en CO₂ de l'air intérieur (Bakó-Biró, Wargocki et al. 2005). Cette étude expérimentale réalisée sur soixante femmes et pour six qualités d'air différentes, a montré que la production de CO₂ par les sujets est affectée par la qualité de l'air intérieur. Celle-ci diminue de 13 % quand le pourcentage d'insatisfaction au sujet de la QAI augmente de 8 à 40 %, ce qui indique une relation dose-réponse. Ainsi, plus les occupants sont insatisfaits de la QAI, moins ils produisent de CO₂. Ceci est dû à un ralentissement de la respiration ou du rythme de travail, ce qui diminue le métabolisme, en présence d'un air pollué.

2.2.7 CO

Le monoxyde de carbone est en général peu présent dans les immeubles de bureaux, étant donné que les sources potentielles y sont assez rares : il y a en effet peu d'appareil à combustion dans ce type d'immeubles, et le tabagisme y est interdit depuis 1993.

Certains auteurs ont cependant effectué des mesures. C'est le cas de Vincent *et al.*, en 1993, durant leurs travaux sur 139 bureaux tirés au sort dans trois immeubles **parisiens** (Vincent, Annesi et al. 1993). Les mesures effectuées mettent en évidence une concentration moyenne de 2,5 +/- 0,6 ppm, et cela, quel que soit le type de ventilation. Or, la valeur guide donnée par l'OMS pour une exposition de huit heures est de 10 ppm. Le monoxyde de carbone ne semble donc pas représenter un risque sanitaire dans les immeubles de bureaux.

Les travaux de Ginestet *et al.* à **Paris** et **Lyon** présentent des conclusions similaires, à savoir que les concentrations sont très faibles et qu'il n'y a pas de différence significative entre les bureaux, selon la saison et la ville (Ginestet, Ribot et al. 2003).

2.2.8 Radon

Il existe quelques travaux où les teneurs en radon ont été mesurées dans des immeubles de bureaux. De façon assez inattendue, il semblerait que les concentrations en radon puissent être assez importantes même dans les bureaux situés aux étages supérieurs.

Ainsi, Oikawa *et al.* ont mesuré une dose équivalente moyenne de 0,42 mSv/an dans 282 bureaux répartis au hasard sur les **îles japonaises** (Oikawa, Kanno *et al.* 2006). Leurs travaux montrent aussi une moindre présence en été qu'en hiver, ce qui peut-être expliqué par une meilleure ventilation l'été du fait de l'ouverture des fenêtres.

Rydock *et al.* montrent de plus que la concentration en radon en **Norvège** est supérieure la nuit que pendant la journée (Rydock, Naess-Rolstad *et al.* 2001). Ceci confirme l'effet de la ventilation sur les concentrations en radon.

Notons cependant que ces deux études ont été réalisées dans des pays où la géologie est largement favorable à l'émanation de radon.

Enfin, Carrer *et al.*, dans l'étude HOPE réalisée à **Milan**, ont mesuré des « concentrations » de 120 Bq/m³ en moyenne dans le sous-sol d'un immeuble de bureaux (Carrer, Peruzzo *et al.* 2005).

Ainsi, le radon, qui peut sembler être un polluant anecdotique pour les immeubles de bureaux, peut-être détecté assez facilement dans certains pays. Etant donnée la dangerosité de ce gaz (cancers du poumon, entre autres...), il ne doit donc pas être négligé.

2.2.9 NOx

Comme pour le monoxyde de carbone, qui était lui aussi principalement émis lors de combustions, il n'existe que très peu d'études sur les oxydes d'azote. A l'intérieur des immeubles de bureaux, les oxydes d'azote proviennent donc pour l'essentiel de l'extérieur des bâtiments (circulation automobile).

L'étude réalisée par Parat *et al.* en 1997 montre une concentration moyenne en NO₂ à l'intérieur de deux **immeubles parisiens** de 30,5 ppb pour l'immeuble climatisé et de 27,5 ppb pour l'immeuble ventilé naturellement (Parat, Perdrix *et al.* 1997). Les auteurs ne concluent cependant pas à une influence du type de ventilation sur les concentrations en NO₂, la pollution intérieure en NO₂ étant a priori fortement dépendante des sources internes de ce polluant gazeux (combustion).

Mosqueron *et al.*, en 2002, mesurent des concentrations similaires dans des bureaux **parisiens** : 43,6 µg/m³. Cette étude est réalisée grâce à des échantillonneurs personnels portés par 62 employés de bureaux. Les concentrations mesurées par ces échantillonneurs personnels ne sont pas significativement différentes des concentrations mesurées directement dans les bureaux (Mosqueron, Momas *et al.* 2002).

Enfin, les travaux de Ginestet *et al.* ont permis de mettre en évidence une concentration en NO₂ plus importante en période estivale à **Lyon** et **Paris**, ce qui est probablement dû à une concentration dans l'air extérieur elle aussi plus importante. Les concentrations, mesurées sur huit heures, varient de 2,7 à 28,2 ppb selon l'immeuble et la période de l'année (Ginestet, Ribot *et al.* 2003).

Toutes ces valeurs sont bien en deçà des recommandations de l'OMS, qui sont de 80 ppb pour huit heures d'exposition, et de 210 ppb pour une heure.

2.2.10 Confort

Les paramètres de confort, on l'a vu, ne sont pas à proprement parler considérés comme des polluants de l'air intérieur. Cependant, ils interviennent sur les teneurs en polluants, biologiques en favorisant ou inhibant leur développement. Ils sont de plus très importants pour le bien-être des employés, et participent fortement à l'appréciation que les occupants ont de la qualité de l'air intérieur.

C'est en effet ce qu'ont montré Johner *et al.* dans leurs travaux (Johner, Roulet et al. 2005). Leur équipe a mesuré plusieurs paramètres de confort (température, bruit, luminosité) dans 67 immeubles de bureaux en **Suisse**. Un questionnaire a été proposé aux employés de ces immeubles pour évaluer, entre autres, leur perception de la qualité de l'air intérieur. De fortes corrélations ont été trouvées entre la perception de la QAI, et les confort thermique, acoustique et lumineux.

Dans leurs travaux, Ribéron *et al.* utilisent un Ambiomètre qui est capable de mesurer les principaux paramètres de confort : la température, l'humidité, le bruit, la luminosité, les odeurs ; un questionnaire a également été proposé aux occupants afin d'estimer leur perception du confort (Ribéron and O'Kelly 2002). Les investigations ont été menées dans 50 bureaux répartis dans 9 immeubles à **Paris, Lyon et Montpellier**. Les valeurs obtenues sont comprises dans l'intervalle représentant de bonnes conditions de confort, et la perception des paramètres de confort est similaire aux résultats obtenus par mesurage. Dans les différents immeubles investigués, la température moyenne oscille entre 21,7 et 24,1 °C en hiver, et entre 23,5 et 25,4 °C en été ; l'humidité relative moyenne entre 30 et 38% en hiver, et entre 44 et 52% en été ; la luminosité moyenne entre 220 et 350 lux en hiver, et entre 165 et 720 en été ; le niveau sonore moyen entre 50 et 58 dB[A] en hiver, et entre 52 et 53 dB[A] en été. Notons cependant que les mesures n'ont pas toujours été effectuées dans les mêmes bâtiments selon la saison, ce qui rend la comparaison été-hiver impossible. Cette étude montre de plus que ce sont souvent la température et la luminosité qui font l'objet de plaintes, et non le bruit ou les odeurs.

2.2.11 Conclusion

Cette synthèse bibliographique a permis de mettre en évidence les points suivants :

- tous les polluants n'ont pas suscité le même intérêt auprès des scientifiques ; on remarque en effet que les COV et les biocontaminants ont été très étudiés dans les immeubles de bureaux (51 études sur 150 à eux seuls), alors que certains autres qui semblent plus spécifiques de ces environnements l'ont moins été, comme par exemple l'ozone ;
- certains polluants n'ont jamais été étudiés dans les immeubles de bureaux : c'est le cas du plomb, ou des fibres minérales ;
- les études se rapportant à des immeubles de bureaux situés en France sont assez rares ; elles ont de plus été menées sur un faible nombre d'immeubles à chaque fois, ce qui en limite la portée ;

Sur la base de ce premier travail, des paramètres d'intérêt pour une future étude ont pu être mis en évidence :

- les **COV**, présents dans tous les environnements intérieurs et dont certains sont cancérigènes ; une étude plus approfondie est nécessaire pour définir quels sont les plus intéressants à mesurer : a priori, les BTEXS (benzène, toluène, éthylbenzène, xylène et styrène) car certains sont cancérigènes, le formaldéhyde (cancérigène), certains terpènes (réactions avec l'ozone) ;
- les **biocontaminants**, qui induisent souvent des effets sanitaires (cf. paragraphe 3) : bactéries (susceptibles de produire des endotoxines), les champignons (susceptibles de produire des mycotoxines), et les allergènes d'animaux et d'insectes ;
- la **charge en particules**, notamment les plus fines qui sont aussi les plus dangereuses et les plus nombreuses, d'autant plus que les quelques études françaises montrent une concentration en particules plus importante en France que dans les autres pays ; il s'agirait donc de confirmer ou d'infirmer cette conclusion ;
- l'**ozone**, qui, nous l'avons vu, semble être un polluant assez spécifique des environnements de bureaux car produit par des équipements tels les imprimantes et/ou les photocopieuses ; il réagit de plus avec certains COV pour former des composés organiques secondaires potentiellement dangereux ;
- la **fumée de tabac environnementale**, qui pourrait être un bon indicateur du suivi ou non de la loi Evin ;

- le **dioxyde de carbone**, comme indicateur de confinement des pièces ;
- les **paramètres de confort**, et notamment la température et l'humidité relative qui sont les deux paramètres le plus souvent à l'origine des plaintes des occupants, et qui peuvent de plus intervenir sur le développement des biocontaminants.

Au vu de cette étude, il ne semble pas nécessaire de mesurer le **monoxyde de carbone**, car il y a peu de sources de ce polluant dans les immeubles de bureaux (appareils à combustion). Pour la même raison, les **oxydes d'azote** ne sont pas non plus des polluants d'intérêt pour ces environnements. Enfin, même si certaines études prouvent la présence du **radon** dans certains immeubles de bureaux, elles ont été pratiquées soit dans les pays ayant une géologie propice à la formation de ce gaz (socle), soit en sous-sol des immeubles. Il semble en effet peu probable que l'on puisse rencontrer des concentrations en radon inquiétantes en France dans les immeubles de bureaux, les grandes villes étant pour la plupart en terrain sédimentaire et les bureaux situés dans les étages.

2.3 Les sources de pollution possibles dans les immeubles de bureaux

Les sources de pollution sont multiples dans un bureau. Chaque type de polluant est relié à de nombreuses sources. Celles-ci peuvent être liées au bâti (matériaux de construction, agencement intérieur...), au système de ventilation (apport d'air extérieur pollué, pollution émise par le système de ventilation lui-même...), aux équipements (ordinateurs, imprimantes, photocopieuses, meubles...) ou à l'occupation et aux activités humaines. Par exemple, une étude réalisée à Singapour par Zuraimi dans 5 immeubles à air conditionné (Zuraimi M.S. 2004) a montré que 39% des COV provenaient du système de ventilation, 37,3% des occupants et de leurs activités et 23,7% des matériaux de construction.

Comme dans le paragraphe précédent, nous allons détailler, à partir d'une revue des travaux internationaux sur le sujet, les différentes sources possibles de pollution spécifiques des immeubles de bureaux.

2.3.1 Le bâti et l'agencement intérieur

Comme dans tout bâtiment, les matériaux utilisés pour la construction peuvent être des sources de polluants de l'air intérieur. Ces matériaux, selon leur composition, peuvent être sources de particules, de COV, de biocontaminants...

Lee *et al.* ont montré que les **matériaux de construction** peuvent fortement affecter la qualité de l'air intérieur, et notamment les matériaux poreux qui sont non seulement des sources, mais aussi des puits de COV (Lee, Haghighat *et al.* 2005).

De plus, Halonen *et al.* ont trouvé une contamination bactérienne et fongique dans les matériaux d'isolation dans un immeuble de bureau, ainsi que sur les encadrements de fenêtres (Halonen, Kokotti *et al.* 2005). Leur équipe a remarqué la présence, entre autres, de moisissures susceptibles de produire des mycotoxines : *Aspergillus fumigatus* et *Trichoderma*.

Cependant, les matériaux utilisés ne sont pas les seules sources de pollution de l'air intérieur dans les immeubles de bureaux, la structure même de ces immeubles peut constituer, si ce n'est une source, au moins un facteur favorisant la pollution de l'air intérieur.

Ainsi, on pourrait *a priori* penser que les **bureaux paysagers** constituent, par leur agencement même, une source de pollution : ils sont dotés de nombreux équipements informatiques, mobiliers et de nombreuses personnes y travaillent. Néanmoins, les travaux de Salonen *et al.* tendent à prouver le contraire (Salonen, Reijula *et al.* 2002). Les résultats de cette étude ne révèlent que de faibles différences dans la qualité de l'air

intérieur des bureaux paysagers par rapport aux bureaux individuels. De plus, la QAI dans les bureaux individuels est la plus mauvaise : ils présentent notamment une température plus élevée, une humidité relative plus faible, et la présence plus courante de fibres minérales.

D'autres caractéristiques de l'agencement intérieur peuvent jouer, via des **facteurs psychologiques**, sur la perception de la QAI par les occupants. Ainsi, la proximité d'une fenêtre au poste de travail influe sur la perception de la qualité de l'air intérieur ainsi que sur la productivité (Rohr and Brightman 2003) et sur les arrêts maladie (Brightman, Wypij *et al.* 2005). De même, l'impossibilité d'ouvrir les fenêtres, dans les immeubles de grande hauteur par exemple, est souvent considérée comme un facteur limitant au contrôle que les occupants peuvent avoir sur leur environnement, et est donc aussi souvent la cause d'une mauvaise perception de la QAI. C'est ce résultat qu'obtiennent Hummelgaard *et al.* : dans leurs travaux, ils comparent cinq immeubles à ventilation mécanique à quatre bâtiments ventilés naturellement (Hummelgaard, Juhl *et al.* 2005). Il en ressort que les occupants des immeubles à ventilation naturelle présentent une plus faible prévalence de symptômes par rapport aux occupants des bâtiments à ventilation mécanique, et sont plus satisfaits de la QAI de leur bureau, même si la température et le taux de CO₂ y sont supérieurs à ceux trouvés dans les immeubles à ventilation mécanique.

2.3.2 Les systèmes de ventilation / les centrales de traitement de l'air

Les systèmes de ventilation installés dans les bâtiments ont pour but d'extraire ou de diluer les pollutions spécifiques intérieures, et d'apporter de l'air neuf aux occupants. Parfois, l'air ainsi apporté sert de vecteur au chauffage ou au refroidissement des pièces. Les systèmes de ventilation, qui sont associés au chauffage ou à la climatisation, sont alors appelés centrales de traitement de l'air (CTA). Les circulations d'air, dans ce cas, sont bien supérieures à celles des systèmes de ventilation afin de garantir un certain confort aux occupants. Il est ainsi courant d'utiliser une recirculation de l'air intérieur pour assurer ce débit supplémentaire : les besoins hygiéniques en terme d'apport d'air neuf sont garantis par un apport d'air extérieur, tandis que le flux supplémentaire d'air nécessaire au chauffage ou au refroidissement est prélevé à l'intérieur du bâtiment.

D'une manière générale, les systèmes de ventilation et centrales de traitement de l'air, en lien avec la QAI, sont très étudiés dans les bâtiments de bureaux. Il apparaît que les systèmes de ventilation peuvent être eux-mêmes la source d'une pollution. Ces thématiques sont assez complexes du fait de la multiplicité des types de ventilation, qui vont des systèmes les plus simples, comme la ventilation naturelle par les ouvrants, aux systèmes les plus complexes, comme les CTA, avec ou sans recirculation d'air.

Wargocki *et al.* ont montré dans leur étude sur 6 immeubles de bureaux avec **ventilation mécanique sans recirculation** que le pourcentage de personnes insatisfaites de la QAI diminue de 30 à 3% lorsqu'on augmente le taux de renouvellement d'air de 1 à 4 L.s⁻¹.m⁻² (au sol) (Wargocki, Krupicz *et al.* 2002).

Les travaux de Seppanen *et al.* vont dans le même sens : les auteurs concluent en effet que la ventilation a des impacts positifs variés sur la santé et la productivité (Seppanen and Fisk 2004). Elle réduit la prévalence des infections dues à l'air. Néanmoins, les systèmes d'air conditionné peuvent augmenter la prévalence du Sick Building Syndrome par rapport à la ventilation naturelle s'ils sont mal entretenus.

Saude *et al.* parviennent à une conclusion comparable à la suite de leur étude comparative entre un **bâtiment de bureaux climatisé** et un **bâtiment de bureaux ventilé naturellement** (Saude, Parat *et al.* 1994). Il semble en effet que les systèmes d'air conditionné permettent d'humidifier l'air en hiver, ce qui représente un plus grand confort pour les occupants, et de garantir un air de bonne qualité microbiologique quand ils sont bien conçus et correctement entretenus. Néanmoins, les pics de pollution en COV sont plus souvent rencontrés dans les immeubles à air conditionné.

Enfin, Novoselac *et al.*, ayant comparé les deux systèmes, concluent que les **CTA sans recirculation d'air** produisent un air de meilleure qualité que les **systèmes avec**

recirculation, et ceci que les sources de pollution soient actives ou passives (Novoselac and Srebric 2002).

Néanmoins, les systèmes de ventilation peuvent aussi constituer une source de pollution. Clausen montre ainsi que les **filtres** un peu âgés d'un système de ventilation peuvent engendrer des effets négatifs sur la QAI, augmenter la prévalence des symptômes dus à la QAI et diminuer la productivité (Clausen 2004). Les filtres arrivés à saturation peuvent en effet relarguer d'un coup les polluants préalablement filtrés ; des réactions entre les polluants fixés sur les filtres sont également des sources probables de composés nocifs.

De plus, les systèmes d'air conditionné ont fait l'objet de nombreuses études car ils sont suspectés d'être à l'origine de contaminations biologiques de l'air intérieur.

Rossi montre ainsi que les bioaérosols émis par les systèmes d'air conditionné peuvent être à l'origine d'hypersensitivité ou d'infections.

De même, le rapport rédigé par Parat *et al.* sur l'aérobiocontamination due à la climatisation (Parat, Perdrix *et al.* 2004), évoque les sources potentielles de cette contamination : une partie des microorganismes provient de l'air extérieur (notamment pour les moisissures *Cladosporidium* ou *Alternaria*), de l'air intérieur (surtout pour les bactéries apportées par les hommes, ou certaines moisissures qui prolifèrent sur les matériaux ou les revêtements comme *Aspergillus* ou *Cladosporidium*), ou des systèmes de climatisation eux-mêmes où une prolifération peut se produire (bactéries Gram – et *Actinomyètes* thermophiles). Ces proliférations de moisissures ou de bactéries dans les systèmes de climatisation peuvent causer des pics de contamination de l'air intérieur, sont donc susceptibles d'engendrer des troubles chez les occupants (pathologies infectieuses, allergies, troubles directement liés aux toxines...).

Enfin, Chow *et al.* ont analysé chaque partie d'un système d'air conditionné à ventilation mécanique (MVAC) : la chambre de mélange, les serpentins de refroidissement et la sortie d'air (Chow, Chan *et al.* 2005). Il apparaît que les plus fortes contaminations apparaissent dans la chambre de mélange (lieu où se rencontrent air intérieur et air extérieur). De plus, le niveau de contamination au niveau de la sortie d'air est plus important le lundi matin à la remise en route du système.

2.3.3 Les équipements

L'équipement des bâtiments de bureaux est très spécifique de ceux-ci. Il s'agit de tout le matériel informatique utilisé de nos jours, tels les ordinateurs, les imprimantes, les photocopieuses... Ces équipements constituent, lors de leur fonctionnement, des sources actives de pollution. Leurs émissions ainsi que leur impact sur la santé et la productivité ont été assez étudiés (une dizaine d'études). Les polluants émis par ce matériel informatique sont majoritairement des COV, de l'ozone et des particules.

Lee *et al.*, lors de leurs travaux sur les émissions d'O₃, de COV et de PM₁₀ par les **photocopieuses et imprimantes** (Lee, Lam *et al.* 2001), expliquent que l'ozone résulte de l'utilisation des rayonnements UV ou laser, des décharges électrostatiques ou des hautes tensions électriques produits par les imprimantes et les photocopieuses. Les COV sont émis par les imprimantes (notamment laser), et les particules (PM₁₀) sont issues de l'encre utilisée (particules de carbone). Leurs mesures d'émission de polluants ont abouti aux résultats suivants :

Equipement	COVT (µg/copie)	Ozone (µg/copie)	PM10 (µg/m ³)
Imprimante laser 1	5,7	1,20	65
Imprimante laser 2	7,0	1,00	65
Imprimante jet d'encre 1	1,2	0,05	20
Imprimante jet d'encre 2	0,7	0,05	38

Tableau 8 : Emissions moyennes de COVT, ozone et PM₁₀ à partir de deux types d'imprimantes

Les émissions de COV par les imprimantes laser sont près de 6 fois supérieures à celles des imprimantes jet d'encre. Ceci est dû au mode de fonctionnement : les imprimantes laser utilisent la chaleur et la pression pour fixer l'image sur le papier, et cette chaleur favorise l'évaporation des COV. Les sources de COV peuvent aussi bien être les matériaux constituant ces imprimantes (plastiques), que les composants (circuits imprimés). On retrouve en particulier le toluène, l'éthylbenzène, le m-p-xylène, et le styrène.

L'ozone est formé, dans les imprimantes laser principalement, lors de la décharge électrostatique qui a lieu pour chaque impression, à partir du dioxygène. Celui-ci est en effet clivé en deux radicaux O grâce à l'énergie fournie par la température et l'énergie électrique. Ces deux facteurs sont présents dans les imprimantes laser, la production d'ozone y est donc plus importante que pour une imprimante jet d'encre.

En ce qui concerne les particules, elles sont émises à partir de l'**encre** utilisée (faible taux de transfert entre le tambour et le papier) : ce sont donc des particules de carbone, dont le diamètre à l'intérieur de la cartouche d'encre elle-même est inférieure à 10 µm.

De plus, Henschel *et al.* ont montré lors de leurs travaux que le **papier fraîchement imprimé** est, lui aussi, source de pollution (Henschel, Fortmann *et al.* 2003) : il émet en effet, en faible quantité, du styrène. Cependant, même si cette source est faible, elle contribue tout de même à la pollution de l'air intérieur.

Les **ordinateurs** sont une autre source importante de pollution faisant partie des équipements des bâtiments de bureaux.

Bako-Biro *et al.* l'ont en effet montré lors de leurs travaux (Bako-Biro, Wargocki *et al.* 2004) : les auteurs ont exposé expérimentalement trente femmes pendant 4,8 heures à deux situations – la présence ou l'absence d'ordinateurs dans un bureau depuis 3 mois. Il en résulte que les ordinateurs sont de fortes sources de pollution dans les bureaux. La présence d'ordinateurs dans la pièce augmente le pourcentage de personnes insatisfaites de la QAI de 13 à 41%, et augmente de 9% le temps nécessaire pour rédiger un texte. Parmi les composés chimiques les plus présents, on retrouve le phénol, le toluène, le 2-ethylhexanol, le formaldéhyde et le styrène.

Berrios *et al.* trouvent, quant à eux, que les taux d'émissions des ordinateurs sont 10 à 120 fois plus élevés quand ils sont allumés que quand ils sont à l'arrêt (Berrios, Zhang *et al.* 2005). De plus, les ordinateurs pourvus d'écrans à tube cathodique constituent une source plus importante de pollution que ceux pourvus d'écrans plats.

2.3.4 Les éléments de mobilier et de décoration

Le mobilier ainsi que les éléments de décoration sont des sources potentielles de polluants de l'air intérieur. Une grande majorité des études ayant porté sur le sujet traite des émissions de COV par les matériaux constituant ces éléments.

La revue de littérature effectuée par Yu *et al.* rassemble toutes les études ayant été faites sur le sujet, et référence les matériaux testés, leur taux d'émissions et liste les COV émis (Yu and Crump 1998). Les tableaux récapitulatifs de cette étude sont présentés en Annexe 6. Cette revue montre que tous les **éléments de décoration** sont des sources de pollution de l'air intérieur (moquettes, linoléums, panneaux de bois, papiers peints, revêtements en tissu, ...). Les COV émis sont nombreux et divers, et leurs taux d'émission sont variables d'un matériau à l'autre.

Tuomainen *et al.*, dans leur étude de cas sur un immeuble où plusieurs cas d'asthme ont été rapportés (Tuomainen, Seuri *et al.* 2004), ont montré que les COV peuvent aussi diffuser dans les dalles de béton à partir des **revêtements de sol**. Le béton est donc un puits pour les COV, et constitue ainsi une source future potentielle.

De plus, Berrios *et al.* ont étudié les émissions de COV à partir, entre autres, des sources passives que constituent le **mobilier et les éléments de décoration** (Berrios, Zhang *et al.* 2005). Il en résulte que le mobilier (bureaux, tables, chaises, ...) est lui aussi une source de COV.

Si ces éléments sont indubitablement des sources de pollution de l'air intérieur, les émissions de COV diminuent néanmoins au cours du temps : c'est ce que tend à prouver

une grande majorité des travaux. Par exemple, Dott a montré que les émissions d'alcool benzylique à partir d'un revêtement de sol diminuent de 99,4% en seulement six mois. Ceci minimise l'impact que peuvent avoir, à long terme, les éléments de mobilier et de décoration sur la qualité de l'air intérieur. Les risques liés à ce type d'éléments sont donc plutôt des risques aigus.

Les autres études sur le sujet traitent notamment de la pollution biologique, celle-ci étant liée à la présence et à l'accumulation de poussière dans les **moquettes et les chaises**.

Bouillard *et al.* ont montré que la poussière contenue dans les moquettes est un réservoir important de bactéries (Bouillard, Michel *et al.* 2005), avec plus de 500 souches différentes identifiées dans ce matériau.

De plus, Perfetti *et al.* ont montré l'importance de la contamination des chaises molletonnées en allergènes d'acariens et d'animaux (Perfetti L., Ferrari *et al.* 2004). Celle-ci est originaire des logements, et est transportée sur les chaises par les occupants des immeubles des bureaux.

Ces contaminations biologiques sont à l'origine de troubles infectieux et/ou allergiques qui peuvent être importants.

2.3.5 Les activités et les comportements individuels

Les activités et les comportements humains constituent la dernière source de pollution de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux.

Il n'existe que peu d'étude traitant de ce thème, et aucune n'y est entièrement consacrée. Une grande majorité de ces études est relative à la pollution spécifique créée par le tabagisme.

Par exemple, Carrer *et al.* montrent que les occupants des bâtiments de bureaux exposés à la **fumée de tabac environnementale** le sont aussi davantage au CO que les autres occupants (Carrer, Cavallo *et al.* 2002).

Il existe aussi des publications relatives à l'utilisation de **désodorisants d'intérieur** dans des bâtiments de bureaux. C'est le cas par exemple de Toftum *et al.* qui ont étudié l'impact de quatre désodorisants différents dans un immeuble de bureau (Toftum and van Dijken 2003). Les auteurs ont observé, après l'utilisation de ces désodorisants, une augmentation de la masse des aérosols organiques secondaires, dus à la présence concomitante d'ozone. Celui-ci, comme nous l'avons vu précédemment, interagit avec les COV présents dans les désodorisants pour former des composés organiques secondaires qui peuvent représenter un danger pour les personnes sensibles.

Les **activités de nettoyage** sont aussi génératrices de COV. Toftum *et al.* montrent de plus, lors de leurs travaux, que juste après l'utilisation d'un détergeant au citron, la concentration intérieure en ozone diminue fortement (sans lien avec la concentration extérieure en ozone) alors que la masse d'ultrafines particules augmente fortement. Ceci tend à prouver que les COV présents dans le détergent (dont le limonène) réagissent avec l'ozone présent dans l'environnement intérieur pour former ces ultrafines particules organiques.

Enfin, dans un autre registre, plusieurs études montrent que la **présence humaine** à l'intérieur des locaux est elle-même génératrice de pollution. Par exemple, les travaux de Sessa *et al.* prouvent que la contamination microbiologique est supérieure lorsque les bureaux sont occupés (Sessa, Di *et al.* 2002).

2.4 Conclusion

Cette étude bibliographique nous a montré que les bâtiments de bureaux ne sont pas des environnements intérieurs exempts de pollution. Les polluants présents sont de tous types (chimiques, biologiques, particulaires), leurs concentrations sont variées et variables dans le temps et dans l'espace. Certains d'entre eux sont assez spécifiques de ces environnements, comme par exemple l'ozone, et d'autres sont ubiquitaires de tous les environnements intérieurs, comme l' α -pinène par exemple.

Les sources de ces polluants sont elles aussi multiples et tout à fait spécifiques des bâtiments de bureaux : systèmes de ventilation mal entretenus, CTA avec recirculation d'air, matériel informatique, matériaux de construction et type d'agencement intérieur de ces immeubles, mobilier et décoration intérieure...

Il reste donc à voir quels peuvent être les effets, sanitaires ou non, d'une telle pollution de l'air intérieur sur les occupants des bâtiments de bureaux.

3 Impact de la QAI sur les occupants des bâtiments de bureaux

Une mauvaise qualité de l'air intérieur est souvent responsable de symptômes chez les occupants des immeubles incriminés. Dans cette partie et à partir de la recherche documentaire précédente, nous allons voir quels sont ces symptômes et quelle peut-être leur origine.

3.1 Effets sanitaires à cause identifiée : Building Related Symptoms (BRS)

Les Building Related Symptoms (BRS), ou Building Related Illness (BRI), se rapportent à des pathologies ou des symptômes ayant une cause identifiée dans l'air intérieur des bâtiments de bureaux. Il est donc possible d'établir des liens de cause à effet entre polluants et symptômes. Les BRS sont globalement assez bien étudiés ; néanmoins, il existe des disparités entre les différentes pathologies dans l'intérêt que leur portent les auteurs.

3.1.1 Cancers

*Peu d'études se sont intéressées à ce type de pathologies. Ceci est peut-être dû au fait que les polluants sont **en général** assez peu concentrés dans l'air intérieur, ce qui peut ralentir l'apparition des cancers ; les cancers résultent en effet d'expositions chroniques, ce qui limite la possibilité d'en déterminer la cause exacte. Les expérimentations sur l'homme étant exclues pour ces pathologies, les données de toxicologie sont extrêmement rares pour les polluants de l'air intérieur.*

Cependant, une étude épidémiologique a été réalisée par Goud *et al.* en 2004 en Inde. Il s'agit d'une étude exposés – non exposés aux polluants émis par des photocopieuses (Goud, Hasan *et al.* 2004). Les composants nocifs des photocopieuses proviennent des cartouches d'encre et des champs électromagnétiques très basse fréquence qu'elles émettent. L'étude a été effectuée sur 98 employés de centre de photocopies et 90 témoins d'âge, de sexe, et de statut socio-économique équivalents. Des cellules épithéliales buccales et des échantillons de sang ont été prélevés chez tous les sujets. Les auteurs ont pu ainsi démontrer une augmentation significative de la fréquence des micronuclei dans l'épithélium buccal et dans les lymphocytes sanguins, de même que pour les aberrations chromosomiques chez les sujets exposés par rapport aux témoins. Les seuls vrais facteurs de confusion sont le temps passé au travail, c'est-à-dire le temps d'exposition, et les habitudes tabagiques des sujets. Cette étude montre donc l'**effet mutagène / cancérigène** de certains composés toxiques produits par les photocopieuses.

D'autre part, certains composés organiques volatils sont classés comme cancérigènes certains par le CIRC (classe 1) : il s'agit du benzène et du formaldéhyde. Il en est de même pour le radon et la FTE. D'autres composés sont classés comme cancérigène probable ou possible par ce même organisme.

De manière générale, peu de connaissances existent sur la toxicité ou la cancérogénicité des polluants de l'air intérieur.

3.1.2 Irritations

Beaucoup de travaux relatent des irritations dues à la QAI dans les bâtiments de bureaux. Il s'agit d'irritations oculaires, cutanées ou au niveau de la bouche, de la gorge et du nez. Ces irritations sont le plus souvent dues aux polluants chimiques, dont notamment les COV.

Beaucoup d'auteurs ont étudié les **irritations oculaires**. C'est le cas en particulier de Wolkoff, de Backman *et al.*, de Brasche *et al.*, de Chao *et al.* et de Franck.

Ce dernier parle même de « eye office syndrome » (Franck 1986) : ses travaux sur 169 employés de bureaux à Copenhague montrent que 25% des occupants présentent des irritations oculaires plusieurs fois par semaine. Ces irritations sont liées à un changement physiologique des yeux comparable à celui des yeux secs.

Les travaux de Backman *et al.* sur 877 occupants d'immeubles de bureaux au Canada montrent, eux, que 29% des employés de bureaux interrogés sont victimes d'inconfort oculaire (Backman and Haghghat, 1999).

Wolkoff a étudié plus précisément les mécanismes et les causes des irritations oculaires (Wolkoff 2005). Il s'avère que les irritations oculaires sont en fait le résultat d'une perte importante d'eau et donc de l'amincissement du film lacrymal précornéen, ce qui cause une sécheresse de l'œil. Ceci peut être dû à une température trop élevée, à des tâches contraignantes, aux caractéristiques individuelles des individus. La cause peut être aussi plus directement liée à la QAI : il peut s'agir de certains composés organiques irritants, dont les produits de réaction entre l'ozone et les terpènes.

Brasche *et al.*, dans leur étude sur 814 employés de bureaux, ont conclu que le risque d'irritations oculaires augmente significativement si le sujet est une femme, s'il porte des lentilles de contact ou s'il a des problèmes de santé préexistants. De plus, il apparaît que le risque d'avoir les yeux secs est plus important si la charge en particules de l'air intérieur est importante, si la concentration en endotoxines est forte ou si le sujet est une femme (Brasche, Bullinger *et al.* 2005).

Cependant, les conclusions de Schneider *et al.* ne sont pas les mêmes que celles de Brasche *et al.* au sujet de l'influence de la charge en particules : ils n'ont pas pu prouver de corrélation entre celle-ci et les symptômes oculaires, et pensent qu'il faudrait, pour cela, prendre en compte plus de facteurs physiques dans la déposition des particules sur les yeux (Schneider and Bohgard 2005).

Enfin, Chao *et al.* montrent que les irritations oculaires sont corrélées avec la quantité de poussière présente sur le sol. Or, celle-ci contient des micro-organismes. Ils soupçonnent donc un rôle important des microorganismes dans les irritations oculaires (Chao, Schwartz *et al.* 2003).

Certains auteurs font part d'**irritations cutanées**. Par exemple, Brasche *et al.* montrent que des irritations de la peau peuvent apparaître si les concentrations en COV sont importantes et si l'humidité relative est faible. Ils notent de plus des différences entre les irritations perçues par les occupants des bureaux et les irritations objectivement constatées par un médecin. Ainsi, la perception des irritations est accrue si les conditions de travail sont défavorables, si le sujet présente des allergies ou s'il s'agit d'une femme (Brasche S., Schwab *et al.* 2004).

Herzog *et al.* montrent que de fortes concentrations en limonène augmentent l'odds ratio pour les irritations oculaires (OR = 1,74, IC à 95% : [1,07 ; 2,95]), alors que des concentrations élevées en composés aromatiques augmente le risque pour les occupants de présenter des irritations cutanées (OR = 1,87, IC à 95% : [1,13 ; 3,07]) (Herzog, Witthauer *et al.* 2002).

Enfin certains auteurs notent la présence chez certains employés de bureaux d'**irritations au niveau de la bouche, de la gorge et du nez**. C'est le cas de Lagercrantz *et al.* qui montrent qu'une augmentation de l'humidité relative (de 10-20% à 23-24%) réduit les symptômes de sécheresse de la gorge, de la bouche, des lèvres et/ou de la peau.

Une autre étude réalisée pour comparer deux systèmes de ventilation (HVAC et FCU) par Vincent *et al.* montre que les employés de bureaux pourvus de ces deux types de ventilation mécanique se plaignent d'irritation de la gorge entraînant une toux (Vincent, Annesi *et al.* 1997).

Les travaux de Wolkoff *et al.* mettent l'accent sur l'importance des **odeurs** dans les phénomènes d'irritation : la plupart des COV sont en effet non seulement des composés irritants, mais sont aussi odorants. Ces odeurs étant le plus souvent désagréables, il s'avère qu'elles peuvent être à elles seules à l'origine d'irritations et de gêne (Wolkoff, Wilkins *et al.* 2006).

3.1.3 Infections

Les travaux relatifs aux infections sont rares dans les bâtiments de bureaux, ils sont beaucoup plus nombreux dans les logements. Néanmoins, certains auteurs ont étudié le rôle des systèmes de ventilation sur les infections respiratoires.

C'est le cas par exemple de Mendell *et al.* qui ont montré, grâce à des régressions logistiques sur des données prélevées en 1993 par le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), que les **infections des voies respiratoires inférieures** sont très fortement associées à deux facteurs de risques de contamination microbiologique : un mauvais drainage des réservoirs des climatisations, et des débris dans l'air entrant. L'association est encore plus forte avec des antécédents asthmatiques. Les auteurs concluent que des problèmes d'infection peuvent apparaître si les systèmes de ventilation sont mal conçus ou mal entretenus (Mendell, Naco *et al.* 2003).

Seppanen *et al.* ont eux aussi réalisé une étude définissant les liens entre la ventilation et les infections du système respiratoire. Ils ont montré que la ventilation, lorsqu'elle était bien entretenue, pouvait réduire la prévalence des infections respiratoires dues à l'air, et par là même, le nombre de jours d'absentéisme. Cependant, les auteurs soulignent que les systèmes de ventilation peuvent créer une dépression dans le bâtiment, et donc séquestrer les polluants à l'intérieur de celui-ci (Seppanen and Fisk 2004).

Enfin, Myatt *et al.* ont mis en évidence la présence dans un bâtiment de bureau de **rhinovirus**. Les auteurs concluent qu'il existe un risque supplémentaire pour les occupants d'être contaminés par le rhinovirus issu d'un collègue contaminé si le taux de renouvellement d'air est trop faible (Myatt, Johnston *et al.* 2004).

3.1.4 Allergies

*Beaucoup de polluants de l'air intérieur des bâtiments de bureaux peuvent être allergisants. Cette pathologie n'est malheureusement que peu documentée. Notons cependant que toutes les études traitant du sujet trouvent une cause microbiologique aux allergies. Les allergies apparaissent de plus comme un facteur favorisant les autres symptômes : une personne allergique est plus sensible qu'une autre personne (Hall, Leaderer *et al.* 1993).*

L'étude de grande ampleur aux Etats-Unis réalisée sur 100 bâtiments de bureaux (BASE) montre que 54% des employés de bureaux sont des **sujets dits « sensibles »** à la pollution de l'air intérieur dans leur bureau, du fait de la présence d'un terrain allergique, asthmatique ou migraineux (Brightman, Wypij *et al.* 2005).

Skyberg *et al.* ont, eux, montré qu'un employé avec un terrain allergique présente 1,8 à 2,5 fois plus de risque d'être sujets à des symptômes d'ordre général : fatigue, tête lourde, irritations des yeux, sécheresse de la peau du visage... (Skyberg K., Eduard *et al.* 2003).

Enfin, Malkins *et al.* ont évalué la présence d'anticorps IgE (spécifiques des allergies) et IgG (servant d'anticorps « mémoire » à l'organisme) anti-moisissures chez des employés de bureaux. 47 d'entre eux provenaient d'un bâtiment présentant de fortes concentrations en moisissures, tandis que 44 autres provenaient d'un bâtiment similaire présentant une plus faible contamination fongique. Il résulte de cette étude qu'aucune différence significative n'a pu être établie entre les deux expositions. Néanmoins, des IgG correspondant aux champignons étudiés ont été trouvés chez 67% des employés ; ceci prouve que ces employés ont déjà été en présence de ces moisissures, sans indication du lieu ni de l'époque de l'exposition. De même, 40% des employés présentent des IgE correspondant aux champignons étudiés ; ceci prouve que ces employés ont déjà

présenté une réaction allergique (avec ou sans symptômes) aux champignons étudiés, toujours sans indication du lieu ni de l'époque de l'exposition.

Cependant, même s'il est difficile de prouver l'origine d'une allergie, cette pathologie est très fréquente parmi les employés de bureaux. De plus, on a vu dans la première partie que les allergènes sont présents souvent en grande quantité et de façon ubiquitaire dans les environnements intérieurs de bureaux. Enfin cette pathologie, on l'a vu, est un facteur favorisant à l'apparition d'autres symptômes. Il est donc important de la prendre en compte.

3.1.5 Asthme

L'asthme est très souvent cité par les auteurs pour être un facteur de sensibilisation important vis-à-vis de tous les polluants de l'air intérieur et des symptômes associés. Cependant, l'asthme peut être aussi généré par ces mêmes polluants.

Ainsi, Tuomainen *et al.*, dans leurs travaux sur un bâtiment de bureau finlandais ayant été rénové, montrent que sur 130 employés, 8 nouveaux cas d'asthme ont été détectés en quatre ans (étude de l'incidence de l'asthme entre 1997 et 2000 grâce aux registres médicaux). L'incidence de l'asthme dans cet immeuble était 9 fois supérieure à celles des autres employés finlandais ayant un travail équivalent. L'étude a permis de mettre en évidence la source la plus probable de ces pathologies : il s'agissait d'un revêtement de sol qui émettait des COV en quantité importante, du 2-éthyl,1-hexanol et 1-butanol entre autres (Tuomainen, Seuri *et al.* 2004).

Dans une autre étude, Jones liste tous les polluants de l'air intérieur qui sont susceptibles de causer de l'asthme (Jones 1998). Cette étude traite des logements et non des bâtiments de bureaux ; néanmoins, beaucoup de polluants de l'air intérieur des logements sont aussi présents dans les environnements intérieurs des bureaux. Jones considère comme cause d'asthme la plus importante les biocontaminants. Selon lui, les COV et les particules peuvent aussi générer de l'asthme.

L'asthme est donc une pathologie omniprésente parmi les employés des bâtiments de bureaux. Qu'il soit préexistant ou engendré par une mauvaise QAI dans ces environnements intérieurs, il constitue systématiquement un facteur de risque supplémentaire aux autres symptomatologies.

3.1.6 Autres

Certains auteurs ont mis en évidence d'autres effets physiologiques de la pollution de l'air à l'intérieur des bâtiments de bureaux.

Comme nous l'avons déjà vu, Bakó-Biró *et al.* ont montré qu'une mauvaise QAI dans les bureaux induisait une baisse du métabolisme (Bakó-Biró, Wargocki *et al.* 2005). Cette étude, menée sur 60 femmes exposées pendant quelques heures sous 6 qualités d'air différentes et accomplissant des tâches typiques du travail de bureau, a permis de mesurer la quantité de CO₂ émise par les sujets dans les différentes conditions expérimentales. Il s'avère que la production de CO₂ par les sujets diminue de 13% quand le pourcentage des personnes insatisfaites de la QAI augmente de 8 à 40%. Ceci tend à prouver qu'il existe une relation dose-réponse entre la quantité de CO₂ émise et la perception de la QAI. Cette diminution peut s'expliquer soit par une baisse du flux respiratoire, soit par un taux de travail plus faible en présence d'un air pollué.

3.2 Effets sanitaires à cause non identifiée : Sick Building Syndrome (SBS)

Le Sick Building Syndrome (SBS), ou Syndrome des Bâtiments Malsains (SBM), est la pathologie la plus étudiée dans les bâtiments de bureaux. Il représente à lui seul plus d'une cinquantaine de publications spécifiques aux environnements intérieurs des

bureaux. Sont étudiés aussi bien la symptomatologie, l'étiologie, que la prévalence du SBS. De nombreux bâtiments sont touchés.

- **Historique**

Depuis les années 70, de nombreuses plaintes ont émané de personnes travaillant dans de grands ensembles de bâtiments. Ces plaintes se traduisent soit par un inconfort général, soit par une symptomatologie. La qualité de l'air intérieur est très souvent mise en cause.

Dans certains cas, les symptômes sont attribués à des agents bien spécifiques : on parle alors de BRS. Dans d'autres cas, aucune cause ne peut être dégagée, les symptômes semblent avoir une origine plurifactorielle. C'est en 1983 qu'un groupe de travail de l'OMS a introduit le concept de Sick Building Syndrome pour toutes ces pathologies sans causes attribuables.

- **Symptômes**

Les symptômes associés au SBS sont multiples et variables. Ils sont de plus aspécifiques, ce qui rend le diagnostic encore plus difficile.

Comme pour les BRS, les symptômes sont présents sur les lieux de travail et disparaissent plus ou moins rapidement hors du bâtiment. Les symptômes du SBS les plus fréquemment rencontrés sont présentés dans le tableau ci-dessous (Squinazi, Lanfranconi *et al.* 1994; Perdrix, Parat *et al.* 2005) :

Manifestations	Symptômes
Respiratoires et ORL	Rhinorrhée, obstruction nasale, sécheresse nasale, irritations de la gorge ou sécheresse, difficultés pour avaler, oppression thoracique, blocage respiratoire, toux, sifflements
Oculaires	Sécheresse, larmolement, prurit, gêne au port de lentilles
Cutanées	Erythème, prurit, sécheresse, éruption (surtout au niveau des zones découvertes : visage, mains, cuir chevelu)
Sensorielles	Impressions de mauvaises odeurs, mauvais goût, modification de la sensibilité, éblouissements
Neuropsychiques et générales	Asthénie, somnolence, céphalées, vertiges, difficultés de concentration, pertes de mémoire, sensation d'étourdissement, nausées

Tableau 9 : Symptômes du SBS les plus couramment rencontrés

- **Définition**

Le SBS n'a ni symptomatologie associée, ni causes identifiées. Une définition est donc difficile à donner. Aux Etats-Unis, un immeuble est qualifié de « sick building » si plus de 20% des occupants présentent des symptômes au moins deux fois par semaine. Ce chiffre est évidemment arbitraire.

Perdrix *et al.* pensent que le SBS pourrait se définir par quatre caractéristiques (Perdrix, Parat *et al.* 2005) :

1. une association de symptômes hétérogènes et aspécifiques (cf tableau précédent) ;
2. une pathologie « collective » : plus de 20% des occupants atteints ;
3. un même lieu, climatisé ou non ;
4. sans étiologie spécifique et univoque.

Ainsi le SBS comporte des critères diagnostiques objectifs souvent fragiles ou absents, mis à part la proportion de personnes concernées, l'unité de lieu et l'unité de temps.

- **Etiologie**

L'étiologie du SBS est, nous l'avons vu, multiple. Différents facteurs environnementaux sont évoqués : microorganismes aéroportés, COV, type de ventilation ou de climatisation, maintenance insuffisante du système de ventilation, température supérieure à 22°C, apport d'air neuf insuffisant, humidité relative trop basse ou trop haute, intensité lumineuse, travail sur écrans, bruit, vibrations, fibres et particules, ozone, FTE...

Des facteurs personnels, psychosociologiques ou organisationnels sont aussi mis en avant : l'âge, le sexe, les antécédents médicaux (allergies, asthme...), la position hiérarchique, l'appréciation du travail, le statut social, les conditions de vie personnelles... Mendell, dans sa revue de littérature, met en lumière 37 facteurs potentiellement liés aux symptômes d'employés de bureaux (Mendell 1993).

Les systèmes de ventilation sont souvent mis en cause : ainsi, les travaux de Burge *et al.* ont permis de mettre en évidence une plus grande prévalence des symptômes dans les immeubles climatisés par rapport aux immeubles non climatisés (Burge, Hedge *et al.* 1987).

- **Données épidémiologiques**

En 1986, l'OMS a estimé à 30% la proportion de bâtiments engendrant un SBS, et de 10 à 30% le pourcentage d'occupants atteints.

En 1996, une étude sur 4479 employés de bureaux de 27 bâtiments à air conditionné, menée par Hedge *et al.*, a permis de constater qu'une grande majorité (76%) des employés des bâtiments de bureaux à air conditionné avec un air intérieur de qualité acceptable rapportent au moins un symptôme du SBS par mois (Hedge, Erickson *et al.* 1996).

De plus, toutes les études montrent une plus grande prévalence des symptômes chez les femmes par rapport aux hommes. Une étude spécifique sur le sujet a d'ailleurs été menée par Brasche *et al.* Il en résulte que 43% des femmes, et seulement 26.2% des hommes souffrent du SBS (statistiquement significatif). Cette étude montre de plus que les femmes souffrent plus du SBS indépendamment des facteurs personnels et de la plupart des facteurs relatifs à l'environnement socio-économique et au bâtiment (Brasche, Bullinger *et al.* 2001).

3.3 Arrêts maladie

Quelques auteurs ont étudié les arrêts maladie dans les bâtiments de bureaux. Ces études sont rares, et comparent toujours les arrêts maladie avec d'autres facteurs, tels le tabagisme passif, le taux de renouvellement d'air (via le taux de CO₂), ou l'effet du nettoyage des bureaux. Elles ont pour but d'évaluer l'impact sanitaire de ces facteurs en considérant les arrêts maladie comme un indicateur de celui-ci.

Ainsi, Mc Ghee *et al.* ont étudié l'impact du **tabagisme passif** sur le nombre d'arrêts maladie, sur 5142 officiers de police n'ayant jamais fumé à Hong Kong. Les auteurs ont trouvé une forte association entre la durée d'exposition au tabagisme passif au travail et l'usage de médicaments et les arrêts maladie (McGhee, Adab *et al.* 2000).

Myatt *et al.* ont étudié l'impact des **niveaux de CO₂** dans l'air intérieur des bâtiments de bureaux sur les arrêts maladie des employés de bureau. Ils n'ont trouvé aucune relation entre ces deux facteurs. Cependant, leur étude ayant été réalisée dans un bâtiment présentant un très faible taux de CO₂, aucune conclusion ne peut être donnée concernant les plus forts taux de CO₂ (Myatt, Staudenmayer *et al.* 2002).

De même, Brightman *et al.* trouvent une association significative entre les arrêts maladie et la **présence d'ouvrants** dans le bureau, le **nombre de personnes par bureau**, la **distance à la fenêtre**. Par contre, un passage quotidien de l'aspirateur est bien perçu et améliore la perception de la QAI (Brightman, Wypij *et al.* 2005).

Enfin, Nilsen *et al.* ont réalisé une étude sur l'influence de la **qualité du nettoyage des bureaux** sur les arrêts maladies de courte durée. Il en résulte que plus la qualité du nettoyage est élevée, plus le nombre d'arrêts maladie de courte durée diminue (Nilsen, Blom *et al.* 2002).

Ainsi, le nombre de jours d'arrêts maladie est considéré par certains auteurs comme un indicateur de l'impact sanitaire d'une pollution de l'air intérieur. Il semble cependant qu'il faille être vigilant avec ce type d'indicateur, puisque l'on ne connaît pas les causes ni les symptomatologies associées à ces arrêts maladie.

3.4 Effets sur la productivité

En parallèle à ces effets sanitaires, la QAI a aussi un impact fort sur la productivité des employés de bureaux. Dans un environnement pollué, il faut compter non seulement les jours d'arrêt maladie dus à l'impact de la mauvaise QAI, mais il faut aussi prendre en compte les difficultés à se concentrer et à accomplir leurs tâches habituelles des employés.

C'est ce qu'ont montré Bako Biro *et al.* dans leur étude expérimentale : ils ont exposé 30 femmes à l'aveugle pendant 4,8 heures **en présence ou absence d'ordinateurs**. Les auteurs concluent qu'en présence d'ordinateurs le pourcentage de sujets insatisfaits par la QAI augmente de 13 à 41%. De plus, le temps nécessaire à la rédaction d'un texte augmente de 9% par rapport au groupe témoin sans ordinateur. Ainsi, comme nous l'avons déjà vu, les ordinateurs représentent une forte source de pollution dans les environnements intérieurs des bureaux, ce qui influe sur la productivité des occupants de ces mêmes bureaux (Bako-Biro, Wargocki *et al.* 2004).

Heslop a étudié le **lien entre les symptômes de SBS et la productivité** des employés de deux bâtiments de bureaux climatisés en Afrique du Sud. Il apparaît que plus les employés ont de symptômes, plus la productivité chute (statistiquement significatif dans les deux immeubles). De plus, entre 37 et 55% des employés (selon de bâtiment) prétendent que leurs symptômes réduisent leur productivité (Heslop 2003).

Enfin, Nishihara *et al.* montrent qu'un environnement intérieur pollué augmente l'intensité des symptômes du SBS et réduit la performance de rédaction d'un texte. Néanmoins, la pollution de l'air intérieur n'influence pas le flux sanguin cérébral : seule l'intensité du travail effectué a une action physiologique cérébrale (Nishihara, Wargocki *et al.* 2005).

Une mauvaise qualité de l'air intérieur entraîne donc une perte de productivité dans les immeubles de bureaux. Cette perte de productivité entraîne à son tour des coûts non négligeables pour les entreprises. Ceux-ci ont été estimés par plusieurs auteurs.

Ainsi, Rohr *et al.* ont étudié la base de données américaine BASE sur les bâtiments de bureaux. Il s'avère que 28% des répondants à l'enquête ont rapporté un ou plusieurs jours d'arrêts maladie dus aux BRS, et 40% des répondants pensent avoir une productivité réduite. Les auteurs estiment que la perte de productivité dans les bâtiments de cette base de données équivaut, en 2003, à une perte financière de 208 227 dollars par bâtiment et par an (Rohr and Brightman 2003).

Enfin, Wargocki *et al.* ont réalisé l'**analyse coûts-bénéfices** d'une amélioration de la qualité de l'air intérieur dans un bâtiment de bureaux : il en résulte que les bénéfices en productivité découlant d'une meilleur QAI sont 60 fois supérieurs aux coûts engendrés par cette amélioration de la QAI. Le retour sur investissements ne se fait qu'au bout de 2,1 ans (Wargocki and Djukanovic 2003).

3.5 Impact du confort, de l'environnement psychosocial et de la perception de la QAI sur la santé des occupants

Un certain nombre de facteurs psychologiques, plus ou moins liés à la qualité de l'air intérieur, a un effet sanitaire sur les occupants des bâtiments de bureaux. Ainsi, les employés de bureaux, s'ils ont de mauvaises conditions de travail, un climat hiérarchique lourd, ne ressentent pas un certain confort au travail, vont somatiser cet inconfort général. Des symptômes, ou même des pathologies, peuvent alors apparaître, même si la qualité de l'air intérieur n'est pas directement en cause.

Les paramètres de confort font partie de ces facteurs qui ont un impact sur les symptômes des occupants des bâtiments de bureaux. C'est ce que montrent les résultats de l'étude européenne HOPE (Johner, Roulet *et al.* 2005). Cette étude a permis de démontrer qu'il existe une **corrélation significative entre le confort perçu et les Building Related Symptoms**.

Ces travaux montrent de même que la perception de la QAI est aussi corrélée positivement et significativement à l'apparition de symptômes chez les occupants. Les auteurs soulignent d'ailleurs qu'une mauvaise perception de la QAI n'est pas obligatoirement liée à une mauvaise QAI ! Les résultats de cette étude sont présentés dans les tableaux suivants :

		BSI:		Illness indicator	
		R	P	R	P
Office Buildings	Air Quality	0.66	5.E-09	-0.02	90%
	Thermal Comfort	0.48	7.E-05	0.11	38%
	Lighting Comfort	0.37	3.E-03	-0.12	37%
	Acoustic Comfort	0.30	2.E-02	-0.11	37%
	Comfort overall	0.58	9.E-07	0.01	94%

Tableau 10 : Coefficients de corrélation entre les variables de confort et de santé ; P est la probabilité que ces coefficients soient égaux à 0 (Johner, Roulet *et al.* 2005)

Dans le tableau précédent, « Air Quality » correspond à la perception de la QAI par les occupants.

Le Building Symptom Index (BSI) équivaut au nombre moyen, par occupant, de symptômes attribuables au bâtiment, c'est-à-dire disparaissant en dehors de celui-ci. Le Illness Indicator correspond à la moyenne des pourcentages de personnes atteintes de BRS. Les auteurs soulignent que cet indicateur ne correspond en aucun cas à un indicateur de performance des bâtiments.

Correlation with BSI of:	R	P	Correlation with BSI of:	R	P
Amount of privacy in the work	0.51	2.E-05	Control on Temperature	0.44	3.E-04
Layout in the office	0.64	3.E-08	Control on Ventilation	0.47	1.E-04
Decoration in the office	0.64	2.E-08	Control on Lighting	0.31	1.E-02
The cleanliness of your office	0.60	2.E-07	Control on Noise	0.48	8.E-05

Tableau 11 : Coefficients de corrélation entre le BSI et la perception de l'environnement et du contrôle que les employés peuvent avoir sur lui (Johner, Roulet *et al.* 2005)

La perception de l'environnement intérieur ainsi que la qualité du contrôle que les occupants peuvent avoir sur celui-ci sont donc déterminants pour la perception de la QAI, et donc pour les effets sanitaires associés. C'est aussi ce que montrent Muhic *et al.* en 2004 : les symptômes développés par les employés de bureaux sont statistiquement liés au type de ventilation, la ventilation naturelle correspondant à moins de symptômes que la ventilation mécanique. Les employés de bureaux préfèrent en effet pouvoir ouvrir leurs fenêtres et gérer eux-mêmes la ventilation de leur bureau, ce qui se traduit par une meilleure appréciation de la QAI, et une réduction des symptômes (Muhic and Butala 2004).

Haghighat *et al.* ont, eux, étudié l'influence de l'environnement psychosocial sur la perception de la QAI dans 12 immeubles de bureaux ventilés mécaniquement. Il s'avère que 56% des occupants ont montré une insatisfaction vis-à-vis de la QAI, et que ceux-ci ont rapporté plus de symptômes que ceux qui étaient satisfaits de la QAI. De plus, les auteurs ont observé une relation entre la satisfaction au travail et la satisfaction vis-à-vis de la QAI. Cependant, l'insatisfaction au travail ne correspond pas à une plus grande quantité de symptômes (Haghighat and Donnini 1999).

Les travaux de Lahtinen *et al.* dans 122 lieux de travail et sur 11 154 employés de bureaux, ont permis de trouver une association significative entre l'environnement psychosocial au travail et les plaintes vis-à-vis de l'environnement intérieur ainsi qu'à une grande quantité de symptômes attribués à l'air intérieur. Cette association est significative quels que soit le sexe, l'âge ou les habitudes tabagiques des occupants. Le tableau de résultats est présenté en Annexe 7 (Lahtinen, Sundman-Digert *et al.* 2004). Il apparaît en effet que si un occupant trouve son travail intéressant, qu'il ne se sent pas surmené, qu'il a la possibilité d'avoir une influence sur ses conditions de travail ou qu'il se sent soutenu par ses collègues aura une meilleure perception de la QAI. L'inverse est aussi vérifié. Enfin, et peut être un peu plus anecdotiquement, quelques auteurs soulignent les bienfaits des plantes d'intérieur et/ou de la vue à travers les fenêtres sur l'état psychologique des occupants des bâtiments de bureaux, ce qui engendre donc une plus grande satisfaction vis-à-vis de la QAI. L'étude d'intervention de Fjeld *et al.*, par exemple, montre qu'un bureau pourvu de plantes vertes permet de réduire de 37% la toux, de 30% la fatigue, de 23% les irritations cutanées et de la gorge. De même, une réduction significative des symptômes neuro-psychologiques et pulmonaires a été démontrée (Fjeld, Veiersted *et al.* 1998).

3.6 Conclusion

Une mauvaise qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux peut être à l'origine de nombreux maux : cancers, infections, irritations, asthme, allergies, SBS... D'autres facteurs que la QAI peuvent avoir un impact sur ces pathologies. Les facteurs personnels des occupants jouent un grand rôle dans l'apparition ou le développement de symptômes : l'âge, le sexe, des antécédents allergiques ou asthmatiques... Des facteurs psychosociaux ont aussi un fort impact sur le SBS : la perception de la QAI joue ainsi un grand rôle dans l'apparition des symptômes, de même que la position hiérarchique, le contentement au travail...

Ainsi, l'apparition de symptômes chez les employés de bureaux est souvent multifactorielle, avec tout de même pour toile de fond la qualité de l'air intérieur.

PARTIE 2 : REALISATION D'UNE ENQUETE AUPRES DES MEDECINS DU TRAVAIL

1 Introduction

La synthèse bibliographique précédente a permis de mettre en avant les polluants de l'air intérieur spécifiques aux bâtiments de bureaux. Il s'agit des composés organiques volatils, des biocontaminants (bactéries, moisissures et allergènes), de la charge en particules, de l'ozone, de la fumée de tabac environnementale, et du dioxyde de carbone. Les paramètres de confort, tels la température, le bruit ou l'hygrométrie, peuvent aussi être considérés comme des paramètres à surveiller dans les environnements intérieurs des bureaux. Les sources de ces pollutions intérieures sont multiples, et sont liées à la fois à l'air extérieur, au bâtiment lui-même et à son agencement intérieur, ou à ses équipements. Enfin, les effets sanitaires identifiés et dus à la QAI dans les immeubles de bureaux sont eux aussi multiples : ils s'étendent du cancer au simple inconfort, en passant par toutes sortes d'irritations, d'allergies ou d'infections.

Néanmoins, cette synthèse bibliographique ne donne quasiment aucune information sur les niveaux de pollution dans les bâtiments de bureaux en France, ni sur l'exposition des occupants, ni même sur les symptômes et pathologies rencontrés sur le territoire français et liés à la QAI dans les bureaux.

De plus, le lien entre la consommation énergétique et la santé des occupants des bâtiments de bureaux est une thématique assez peu étudiée. Elle est néanmoins d'actualité, à l'heure où l'énergie devient une denrée rare. Des économies d'énergie sont nécessaires dans tous les domaines pour garantir un meilleur environnement, ainsi que

pour réduire les dépenses. Cependant, ces économies sont trop souvent réalisées au détriment de la qualité de l'environnement intérieur et de la santé des occupants.

L'objectif de ce travail consiste donc à mettre en place un programme de mesures de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux en France, faisant le lien entre les critères sanitaires et économiques.

Dans un premier temps et afin de répondre à cet objectif, une enquête a été réalisée auprès de médecins du travail. Elle a pour but de répondre aux questions restées en suspens sur les aspects sanitaires, et ainsi de vérifier la pertinence de la mise en place d'un programme d'étude. Les questions auxquelles cette enquête voulait répondre sont les suivantes :

- La qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux en France génère-t-elle les pathologies et symptômes évoqués dans la synthèse bibliographique ?
- Quelle est l'incidence des différents symptômes en France ? Quels sont les symptômes les plus fréquents ?
- Existe-t-il des pathologies typiquement françaises, et donc non décrites dans la bibliographie ?
- Existe-t-il des disparités régionales dans l'apparition de ces symptômes en France ?

2 Matériels et méthodes

Un questionnaire d'enquête a été rédigé afin de répondre aux interrogations précédentes. Ce questionnaire est présenté en Annexe 8.

La majorité des questions est délibérément soit fermée, soit quantitative afin de faciliter l'analyse des réponses. Ce questionnaire a été rédigé pour des médecins du travail. Ceux-ci sont en effet en contact direct avec les employés de bureaux. Les questions portent donc sur l'existence ou non de symptômes dus à la QAI dans les bâtiments à usage de bureaux, et, s'ils existent, sur leur fréquence et le nombre de patients atteints. Les symptômes sont alors détaillés, et les causes de ces symptômes, si elles sont connues, sont identifiées.

Sur le conseil d'un médecin du travail de l'INRS, l'enquête a été envoyée, dans chaque région :

- aux MIRTMO, comme relais des médecins du travail ;
- aux Consultations de Pathologies Professionnelles, qui sont susceptibles d'être au contact direct des cas.

Joindre directement les médecins du travail s'avérait en effet assez difficile car leur organisation est complexe : si certains appartiennent à des services interentreprises (il en existe plusieurs par région), d'autres appartiennent à des services autonomes.

Cinquante courriers ont ainsi été envoyés : 29 aux consultations de pathologies professionnelles, 21 aux MIRTMO (liste présentée en Annexe 9).

3 Résultats et discussions

L'enquête réalisée n'a suscité que peu d'intérêt auprès des personnes visées, malgré les relances téléphoniques, puisque 7 personnes seulement y ont répondu, souvent de façon incomplète (taux de réponse de 14%, dont une réponse inexploitable). Le MIRTMO d'Alsace a, de plus, confirmé par téléphone qu'il existait quelques cas de pathologies dues à la QAI dans les bâtiments de bureaux dans sa région. Ce faible taux de réponse peut avoir plusieurs explications :

- même si notre courrier spécifiait que les réponses négatives nous intéressaient autant que les réponses positives, certains médecins n'ont peut-être pas vu l'intérêt de nous renvoyer le questionnaire s'ils n'avaient pas été confrontés à des problèmes sanitaires dus à la QAI ;
- les symptômes dus à la QAI étant aspécifiques, beaucoup ont pu être assimilés à d'autres causes ;

- certains médecins, qui sont très souvent sollicités pour répondre à des enquêtes diverses, n'ont peut être pas pris le temps de nous répondre ;
- enfin, certains MIRTMO nous ont spécifié au téléphone qu'ils ne répondraient à une telle enquête uniquement si la demande était officielle et émanait de leur ministère.

Avec un taux de réponse aussi bas, il nous a été impossible d'effectuer une analyse statistique des résultats. Celle-ci reste donc uniquement descriptive :

Région	Auvergne	Bourgogne	PACA	PACA	IDF
Avez-vous déjà eu connaissance de symptômes liés à la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments à usage tertiaire ?	oui	oui	non	non	oui
Fatigue					x
Céphalées	x				x
Perte de mémoire					x
Difficultés à se concentrer					x
Sensations d'étourdissement					x
Gorge sèche					x
Nez sec avec obstruction ou écoulements	x				x
Irritations ou écoulements oculaires	x				x
Gêne au port de lentilles	x				x
Gêne respiratoire					x
Asthme					x
Toux					x
Sifflements					x
Prurit, rougeurs					x
Sécheresse de la peau					x
Sensations d'éblouissements					x
Modification de la perception des odeurs					x
Nausées	x				x
Goût étrange dans la bouche					x
Allergies					x
En moyenne, par an, combien estimez-vous de patients atteints de ces pathologies ?					
Selon vous, quel pourcentage cela représente-t-il par rapport aux autres pathologies professionnelles du personnel travaillant dans un bureau ?					
Combien de fois par an, en moyenne, vous arrive-t-il d'être confronté à ce type de problèmes ?					
Une enquête est-t-elle en général réalisée ?	non				oui
Des causes ont-elles pu être dégagées ?	non				oui
Si oui, quelles sont les principales causes identifiées ?					hygrométrie basse, difficultés relationnelles dans l'entreprise, ventilation insuffisante
Existe-t-il un système de surveillance de ces pathologies ?	non				non
Etes-vous intéressé pour être associé aux travaux de l'OQAI sur le programme « Bureaux » ?	oui			non	oui

Tableau 12 : Résultats de l'enquête réalisée auprès des Consultations de Pathologies Professionnelles et des MIRTMO : 5 réponses sur 7 obtenues, une étant inexploitable, l'autre étant analysée séparément (Aquitaine)

Les résultats de cette enquête montrent tout d'abord que la France n'est pas exempte de symptômes dus à la QAI dans les bâtiments de bureaux, même si ceux-ci sont difficiles à identifier en tant que tels.

Ensuite, ces symptômes sont présents dans toute la France, du Nord au Sud et de l'Ouest à l'Est.

Et enfin, les symptômes rencontrés sont ceux cités dans la synthèse bibliographique précédente. Il n'a été fait aucune mention d'autres symptômes en France par rapport aux autres pays.

La région Aquitaine est traitée à part. Le MIRTMO d'Aquitaine a en effet transmis notre enquête à tous ses médecins du travail. L'enquête étant exhaustive dans cette région, une analyse statistique peut être réalisée.

Parmi les 306 médecins du travail présents en Aquitaine, 15 ont déjà été confrontés à des symptômes dus à la QAI dans les bâtiments de bureaux. Les symptômes rencontrés sont les suivants :

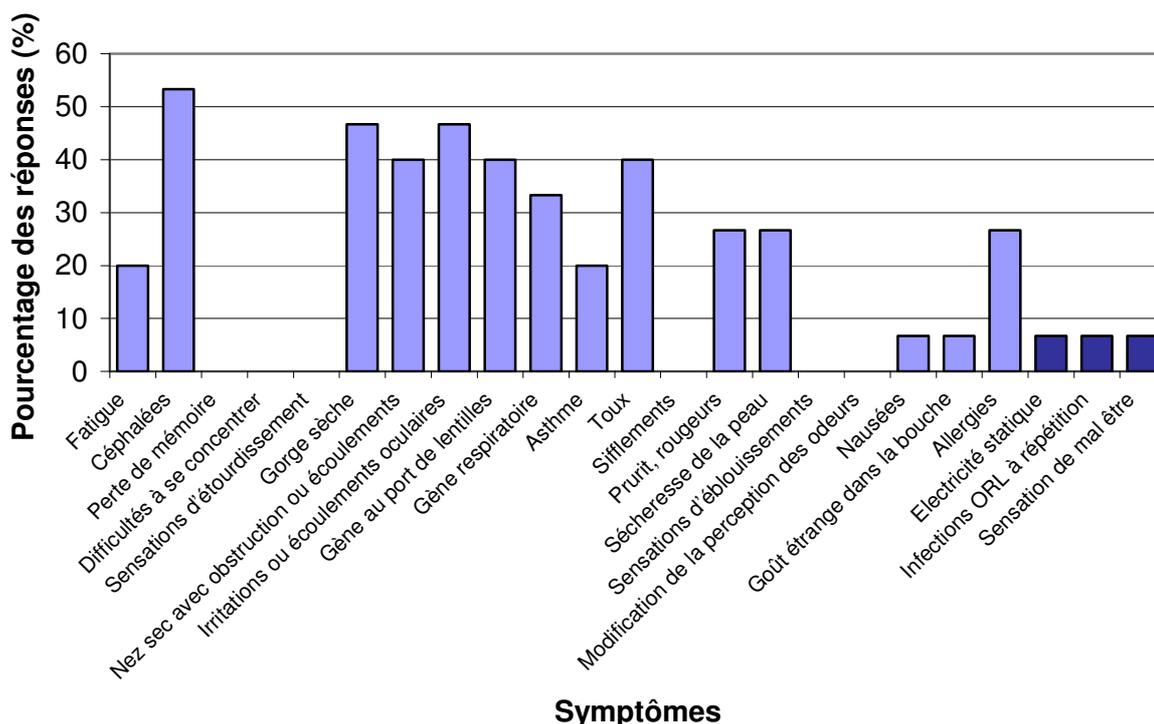


Figure 3 : Réponses des 15 médecins du travail aquitains à l'enquête : les symptômes rencontrés

Les symptômes rencontrés par les médecins du travail aquitains sont globalement semblables à ceux décrits par la littérature. Il existe néanmoins quelques exceptions :

- certains symptômes décrits par la littérature ne sont pas présents en Aquitaine : c'est le cas des pertes de mémoire, des difficultés à se concentrer, des sensations d'étourdissement, des sifflements, des sensations d'éblouissements et des modifications dans la perception des odeurs ;
- de nouveaux symptômes apparaissent (en plus foncé sur le graphique) : les chocs dus à l'électricité statique, les infections ORL à répétition et la sensation de mal être.

Les trois symptômes les plus souvent rencontrés sont les **céphalées, la gorge sèche et les irritations oculaires**.

Le nombre de personnes atteints de ces pathologies est très variable d'un médecin à l'autre : il varie entre 1 et 120 personnes par an. La moyenne est de 18,8 personnes par an et par médecin, la médiane vaut 10.

Cinq médecins estiment que les patients du secteur tertiaire atteints de ces symptômes représentent moins de 1% de leurs autres patients du secteur tertiaire, deux médecins

estiment ce chiffre entre 10 et 15%, et un autre à 20%. Ces proportions ne semblent pas liées à la taille de la ville où ils exercent, et donc à la proportion de grands ensembles de bureaux situés dans cette ville.

De même, la fréquence de rencontre de ces pathologies varie d'un médecin à l'autre, de 1 fois par an à 2 à 3 fois par mois. Il semble dans ce cas-là qu'il existe un lien entre fréquence de ces symptômes et ville : ils sont beaucoup plus fréquents à Bordeaux où les grands ensembles de bâtiments sont aussi plus présents. Les médecins qui rencontrent le plus fréquemment des patients atteints de ces pathologies ne sont donc en général pas les mêmes que ceux qui en rencontrent beaucoup. Ceci montre qu'il existe deux phénomènes dans les atteintes à la santé dues à la QAI : des cas sporadiques et des cas « épidémiques ».

Les principales causes citées par les médecins du travail sont les suivantes :

Cause	Nombre de fois où elle a été citée
Climatisation	7
Ventilation	5
Air sec	4
Tabagisme passif	3
Tension psychologique	2
Mauvaise isolation thermique	2
Imprimerie à proximité	1
Produits de nettoyage	1
Rénovation récente	1
Moquettes mal entretenues	1
Problèmes égouts (odeurs)	1
Pesticides dans les égouts (odeurs)	1
Pollen (fenêtres ouvertes)	1

Tableau 13 : Principales causes citées par les médecins du travail aquitains

Les résultats de cette enquête montrent que les éléments en cause dans les symptômes et donc dans une mauvaise qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux sont globalement ceux décrits dans la littérature. La climatisation apparaît être le facteur le plus influent sur les symptômes des employés de bureaux. On remarque de plus que le tabagisme passif est toujours cité comme un facteur important, ceci malgré l'interdiction de fumer dans les lieux publics (loi Evin, 1993).

L'enquête réalisée n'a pas permis d'atteindre tous les objectifs fixés pour plusieurs raisons :

- tout d'abord, le faible taux de réponse à cette enquête ;
- ensuite, on constate que certaines questions ont eu un faible taux de réponse : elles étaient peut-être trop précises pour ce type de pathologies aspécifiques ;
- enfin, il a été impossible d'en conclure l'incidence de ces pathologies en France, ni de déterminer s'il existe des facteurs régionaux dans l'apparition des symptômes.

Néanmoins, cette étude a mis en lumière un vrai problème de santé publique, avec des cas avérés. De plus, le nombre de ces cas ne semble pas négligeable. Il est donc nécessaire de réaliser une étude de plus grande ampleur avec des mesures de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux.

Enfin, elle a permis de vérifier que les données issues de la littérature (sources de polluants, symptômes associés...) sont en adéquation avec les données françaises. On peut donc, sans trop de risques, se baser sur cette revue bibliographique pour préparer le futur programme d'études de l'OQAI.

PARTIE 3 : MISE AU POINT DU PROTOCOLE D'ETUDE

Faisant suite aux résultats de cette enquête, un protocole pour une étude de plus grande ampleur a été mis au point. Afin de répondre à notre objectif, cette étude permettra de relier les critères énergétiques et sanitaires. Le protocole a été basé sur le programme européen HOPE (Health Optimisation Protocol for Energy-efficient buildings). Cet outil est en effet totalement en **adéquation avec nos objectifs**, et présente l'avantage d'avoir déjà été **validé par de nombreux experts européens**. Une adaptation et un affinement du protocole initial de HOPE ont néanmoins été nécessaires pour l'appliquer aux bâtiments de bureaux français. Seuls les protocoles de mesures et de classification des bâtiments ont été abordés dans ce mémoire, les mesures de gestion, y faisant logiquement suite, n'en font pas partie.

1 Type d'étude

Le programme de mesures a pour but d'établir les niveaux de pollution moyens dans les bâtiments de bureaux en France, et de les relier à un impact sanitaire et à une consommation énergétique.

Afin de répondre à ces objectifs, une campagne de mesures dans des bâtiments de bureaux, un bilan énergétique de ces bâtiments, ainsi qu'une étude plus approfondie des symptômes rencontrés dans les bâtiments investigués sont nécessaires. Nous chercherons de plus à obtenir une bonne représentativité de nos résultats afin d'avoir des moyennes extrapolables sur toute la France. Cette étude nous procurera donc les niveaux moyens de pollution, des symptômes et de la consommation énergétique, qui pourront être considérés, dans les études futures, comme des points de comparaison.

Le protocole utilisé sera basé sur celui du programme européen HOPE. Il se déroulera donc en deux phases :

- une phase de recueil de données sur le bâtiment, les symptômes et le confort perçus par les occupants et la consommation énergétique ; cette phase aboutit à un double classement des bâtiments selon, d'une part, les risques sanitaires encourus par les occupants et, d'autre part, la consommation énergétique ;
- une phase d'investigations plus détaillée dans les bâtiments afin d'affiner la classification.

Des mesures de gestion, faisant suite à cette classification, sont alors proposées aux gestionnaires des bâtiments. Celles-ci ne seront pas abordées dans ce mémoire.

2 Echantillonnage

Notre étude, pour des raisons pécuniaires et d'organisation évidentes, ne peut pas être exhaustive sur toute la France. Il est donc nécessaire de réaliser un échantillonnage.

Pour pouvoir extrapoler les résultats de notre étude au reste du territoire français, notre échantillon doit donc être représentatif, c'est-à-dire qu'il nous permettra d'estimer les paramètres étudiés sans biais et avec une précision acceptable, étant donnés les objectifs de l'enquête.

Cependant, la synthèse bibliographique nous a montré qu'il n'existait quasiment aucune donnée sur le parc des bâtiments de bureaux en France. Le nombre total de bâtiments nous est inconnu. Sans cette donnée essentielle, il est **impossible de réaliser un échantillon représentatif**.

Par suite, il est impossible de calculer la taille de l'échantillon nécessaire. Seuls les critères économiques permettent alors de fournir une taille d'échantillon. Le financement prévu pour le programme de mesures de l'OQAI s'élève à 1,2 millions d'euros. Or, le coût, de réalisation du programme HOPE était, en moyenne, de 15 000 euros par bâtiment. Il est donc possible, dans le cadre du programme de l'OQAI, d'investiguer **80 bâtiments** avec la méthode utilisée pour HOPE.

Aucune base de sondage n'existe, plusieurs étapes seront donc nécessaires à la constitution de l'échantillon.

Trois solutions sont alors possibles : un sondage à plusieurs degrés, un sondage par quotas, ou un sondage à deux phases avec post-stratification.

2.1 Sondage à plusieurs degrés

Ce type d'échantillonnage a déjà été réalisé par l'OQAI lors de sa campagne de mesures dans les logements. Il s'agissait d'un sondage à trois degrés assurant *in fine*, à chaque résidence principale, la même probabilité d'être tirée au sort.

Une méthodologie similaire peut être appliquée pour les bâtiments de bureaux :

- 1^{er} degré : tirage de communes ou regroupement de communes en France métropolitaine ; le tirage est ici proportionnel à la taille de la population des villes, une grande ville étant plus susceptible d'abriter des bâtiments de bureaux qu'une petite ;
- 2^{ème} degré : tirage aléatoire simple de sections cadastrales ou groupes de sections cadastrales ; les enquêteurs réalisent alors un recensement de tous les bâtiments de bureaux présents dans les sections cadastrales sélectionnées ;
- 3^{ème} degré : tirage aléatoire simple des bâtiments de bureaux recensés par les enquêteurs.

Les bâtiments de bureaux seraient donc échantillonnés aléatoirement.

2.2 Sondage par quotas

Pour ce type de sondage, plusieurs solutions sont *a priori* envisageables :

- utiliser la typologie des bâtiments de bureaux présentée dans la synthèse bibliographique ;
- utiliser la consommation énergétique des bâtiments de bureaux.

Cette dernière solution ne paraît pas appropriée car une certaine consommation énergétique n'est pas liée à un type de bâtiment : il existe en effet une grande disparité de consommations dans des immeubles de bureaux à cause de l'enveloppe ou de la gestion des équipements, sans réelle relation avec la qualité d'air. Les groupes de bâtiments formés grâce à des classes de consommation énergétique ne seraient donc pas homogènes, ce qui en limite fortement l'intérêt pour un échantillon.

La première solution qui consiste à utiliser une typologie des bâtiments de bureaux fournirait, au contraire, un échantillon, si ce n'est représentatif, mais au moins ressemblant au parc existant.

Cependant, la typologie dont nous disposons date de 1997 ; le mieux serait donc de réaliser une nouvelle typologie qui soit complète : elle comprendrait à la fois le bâti et l'agencement intérieur, le type de ventilation et l'équipement.

Faute de mieux, la typologie de 1997 peut-être utilisée ; même si elle est un peu âgée compte tenu de le renouvellement moyen du parc de bâtiments de bureaux, elle a le mérite de donner une idée des différents types de bâtiments ainsi que de leur répartition.

Ainsi, en fonction de cette répartition, il faudrait :

- 5 immeubles de bureaux dans le cœur des villes construits pour un effet de « bureau » ;
- 5 immeubles de logements réaffectés en immeuble de « bureau » ;
- 4 immeubles de bureaux au cœur des villes complètement modernisés ;
- 20 immeubles de bureaux « public » à vocation administrative avec accueil du public ;
- 14 immeubles de bureaux « public » à vocation commerciale avec accueil du public de type « agence » ;
- 20 immeubles de bureaux purs : bâtiments standard banalisés et tendance architecturale internationale ;
- 3 immeubles de bureaux purs comportant un atrium ;
- 6 immeubles de bureaux de grande hauteur ;
- 13 ensembles de bureaux associés à une activité technique ou de production : locaux polyvalents.

Il est alors possible de sélectionner un groupe de bâtiments parmi les volontaires dans une ville, un département ou une région donnée.

2.3 Sondage en deux phases avec post-stratification

Pour échantillonner les bâtiments de bureaux, on peut aussi effectuer un sondage en deux phases avec post-stratification : la première phase correspondant à un sondage à plusieurs degrés, tel celui présenté dans le paragraphe 2.2.1, suivie d'une seconde phase, correspondant à une post-stratification, qui consiste à réaliser des groupes homogènes de bâtiments et à y faire des tirages aléatoires. La marche à suivre est alors la suivante :

- **1^{ère} phase** : sondage à deux degrés :
 - 1^{er} degré : tirage de communes ou regroupement de communes en France métropolitaine ; le tirage est ici proportionnel à la taille de la population des villes, une grande ville étant plus susceptible d'abriter des bâtiments de bureaux qu'une petite ;
 - 2^{ème} degré : tirage aléatoire simple de sections cadastrales ou groupes de sections cadastrales ; les enquêteurs réalisent alors un recensement de tous les bâtiments de bureaux présents dans les sections cadastrales sélectionnées ; ils effectuent alors un classement de ces bâtiments selon les catégories définies dans le paragraphe 2.2.2 ; ils obtiennent alors neuf groupes de bâtiments homogènes ;
- **2^{ème} phase** : tirage aléatoire simple des bâtiments de bureaux à l'intérieur des groupes définis dans la première phase ; ce dernier tirage correspond donc à un sondage aléatoire avec post-stratification.

Cette dernière solution est sans doute la meilleure, car même si la constitution d'un échantillon représentatif reste impossible, l'échantillon ainsi obtenu sera ressemblant au parc des bâtiments de bureaux, et il aura été tiré aléatoirement. Cette dernière solution est donc celle qui se rapproche le plus de nos objectifs.

3 Mesurage

La deuxième phase du programme d'étude correspondra, entre autres, à des mesures de paramètres *in situ*, selon la classification préliminaire des bâtiments. Au vu de la synthèse bibliographique et du programme d'étude HOPE, les polluants susceptibles d'être mesurés sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Catégorie de danger	Danger
Catégorie 1 : danger qui est susceptible d'engendrer la mort ou une pathologie à haute probabilité d'être fatale	FTE
	Radon
	COV cancérigènes
Catégorie 2 : danger qui est susceptible de générer une pathologie (le plus souvent respiratoire)	Bactéries
	O ₃
	COV non cancérigènes
	Moisissures
	Allergènes
Catégorie 3 : danger qui est susceptible d'engendrer des pathologies mineures ou un inconfort	Matière particulaire
	Lumière
	Bruit
	Température

Tableau 14 : Liste des polluants susceptibles d'être mesurés et leur classification (HOPE 2005)

Le matériel et les méthodes de prélèvement pour chaque polluant sont présentés dans le tableau ci-dessous. Il n'y a pas eu en effet de protocole détaillé pour les mesures dans le programme HOPE, chaque pays participant ayant mis en place ses propres protocoles.

NB : Seule la phase de prélèvement est détaillée dans ce mémoire ; la phase d'analyse ne fera en effet pas l'objet d'une étude approfondie.

Plusieurs sources ont été utilisées afin de définir ces matériels et méthodes de prélèvement. Celles-ci sont indiquées dans le tableau suivant :

Paramètre à mesurer	Principe de la méthode	Matériel de prélèvement ou de mesure	Sources
FTE	Prélèvement passif de la nicotine en phase gazeuse sur cartouche Analyse par chromatographie en phase gazeuse (GC-MS)	Echantillonnage diffusif sur une cartouche contenant un filtre en Téflon traité au bisulfate de sodium	DGS 2001
Radon	Méthode passive : une particule alpha traversant certains films plastiques (par exemple le nitrate de cellulose) provoque une ionisation sur son passage. Une attaque chimique appropriée sert de révélateur. Le film présente des traces sous la forme de trous ou de cônes d'attaque dont le nombre est égal, en première approximation, au nombre de particules alpha ayant pénétré dans le détecteur	Dosimètre radon "KODALPHA" fabriqué par KODAK et traité dans le laboratoire DOSIRAD. Il enregistre à la fois les rayonnements alpha issus du ^{222}Rn , mais aussi de ses descendants (^{218}Po et ^{214}Po)	Campagne logement de l'OQAI
COV	Echantillonnage passif sur un adsorbant solide de type carbograph 4	Prélèvement assuré par un tube à diffusion de la marque Radiello. La cartouche (code n°145) de l'échantillonneur est composée de charbon graphitisé (carbograph 4), et est placée à l'intérieur d'un corps diffusif en polyéthylène	Campagne logement de l'OQAI
Aldéhydes	Echantillonnage passif sur une cartouche imprégnée de 2,4-dinitrophénylhydrazine	Prélèvement assuré par un tube à diffusion de la marque Radiello. La cartouche (code n°165) de l'échantillonneur contient 900 mg de florasil 35-50 mesh imprégné de 2,4-DNPH, et est placée à l'intérieur d'un corps diffusif en polyéthylène	Campagne logement de l'OQAI
O ₃	Echantillonnage passif sur une cartouche imprégnée de 4,4-dipiridyléthylène.	Prélèvement assuré par un tube à diffusion de la marque Radiello. La cartouche (code 172) de l'échantillonneur contient du gel de silice imprégné de 4,4-dipiridyléthylène, et est placée à l'intérieur d'un corps diffusif en polyéthylène	Recherches Internet
Bactéries	Echantillonnage actif par filtration de l'air Analyse et quantification par PCR en temps réel	Prélèvement d'air par pompage à plus de 16 L/min et filtration sur filtre de 0,2 µm en polyéthersulfone (Supor 200, Gelman)	Moletta 2005
Moisissures	Prélèvement actif par pompage, puis extraction de l'ergostérol et dosage par HPLC à 282nm : méthode quantitative Prélèvement passif sur un adsorbant solide de type carbograph 4 : détection	Prélèvement actif : capteur individuel de poussière (mousse de polyuréthane) de la marque Alreco Prélèvement passif : même matériel que pour les COV (prélèvements simultanés)	Moularat 2005
Allergènes	Prélèvements actifs Dosage par méthode ELISA et mesure avec un spectromètre lecteur	Prélèvements d'air par pompage, collecte sur filtre de verre Prélèvement de poussières avec un aspirateur standard avec embout et filtre.	Campagne logements de l'OQAI
Matière particulaire	Prélèvement actif par impaction pour répondre aux spécifications PM2,5 et PM10. La matière particulaire est recueillie sur des filtres en PTFE	Prélèvement grâce à un préleveur programmable, à débit régulé, désigné sous le nom de Mini-Partisol (R&P, Ecomesure). Le préleveur est couplé à une tête de prélèvement (Chempass ; R&P, Ecomesure) qui intègre deux impacteurs permettant de sélectionner simultanément les fractions PM2,5 et PM10. Le débit d'aspiration pour chaque voie est de 1,6 L/min. Les particules sont collectées sur des filtres en PTFE (porosité 2 µm, diamètre 37 mm) munies d'un anneau support (Gelman, Teflon-2 µm-37 mm, référence R2PJ037).	Campagne logements de l'OQAI

Paramètre à mesurer	Principe de la méthode	Matériel de prélèvement ou de mesure	Sources
Lumière	Mesure en continu de l'intensité d'éclairement, c'est à dire de la quantité de lumière éclairant une surface donnée (en lux, ou lumen par m ²)	Utilisation d'un luxmètre tel que le modèle digital LX-1108 de la société CONRAD ; gamme de mesure : 0 à 400 000 lux, résolution : 0,01 lux	Recherches Internet
Bruit	Mesure en continu du bruit (en dB[A])	Utilisation d'un sonomètre tel que modèle numérique 322 de la société CONRAD ; gamme de mesure : 30 à 130 dB ; résolution : 0,1 dB	Recherches Internet
Température	Mesure en continu de la température avec un capteur de type thermistance ou résistance de platine.	Deux types d'appareils peuvent être utilisés : Le Q-Track, fabriqué par la société TSI, mesure simultanément le CO ₂ , la température et l'humidité relative. Le capteur de température est une thermistance avec une plage de mesure allant de 0°C à 50°C (précision ± 0.6 °C). L'hydroLog, fabriqué par la société ROTRONIC, mesure simultanément la température et l'humidité relative. Le capteur de température est une sonde platine Pt100 1/3 DIN avec une plage de mesure allant de -10°C à + 50°C (précision ± 0.3°C).	Campagne logement de l'OQAI
HR	Mesure en continu de l'humidité relative avec un hygromètre électronique à variation d'impédance. L'élément sensible est constitué d'une substance hygroscopique dont on mesure les variations d'une propriété électrique (capacité) en fonction de l'humidité.	Deux types d'appareils peuvent être utilisés : Le Q-Track, fabriqué par la société TSI, mesure simultanément le CO ₂ , la température et l'humidité relative. Le capteur de type capacitif mesure l'humidité relative de l'air dans une plage allant de 5% HR à 95% HR (précision ± 3% HR). L'hydroLog, fabriqué par la société ROTRONIC, mesure simultanément la température et l'humidité relative. Le capteur de type capacitif mesure l'humidité relative de l'air dans une plage allant de 0% HR à 100% HR (précision ± 1,5% HR).	Campagne logement de l'OQAI
CO ₂	Mesure en continu grâce à un analyseur portatif fonctionnant sur le principe de l'absorption infrarouge non dispersive (NDIR : Non Dispersive InfraRed)	L'appareil de mesure Q-Track, fabriqué par la société TSI, mesure simultanément le CO ₂ , la température et l'humidité relative. Le capteur de CO ₂ est une cellule infrarouge avec une plage de mesure allant de 0 pm à 5000 pm (précision ± 3% de lecture, ± 50 ppm).	Campagne logement de l'OQAI

Tableau 15 : Principes des méthodes et matériels de prélèvement pour les différents paramètres d'intérêt

4 Proposition de protocole d'étude

Le programme de mesures a pour but d'établir les niveaux de pollution moyens dans les bâtiments de bureaux en France, et de les relier à un impact sanitaire et à une consommation énergétique.

Pour ce faire, il a été décidé de se baser sur le protocole du programme européen HOPE réalisé à partir du 1^{er} janvier 2002 sur une durée de trois ans. Celui-ci a été mené sur 67 bâtiments de bureaux répartis dans 9 pays européens (HOPE 2005). Toutes les informations sur ce programme sont disponibles à l'adresse Internet suivante : <http://hope.epfl.ch> [3].

L'objectif final annoncé du programme HOPE était d'apporter les moyens d'augmenter le nombre de bâtiments sains et efficaces en matière d'énergie. Cela permettrait en effet de diminuer la consommation d'énergie de ces bâtiments, et ainsi de réduire les émissions de CO₂ produites par l'utilisation d'énergies primaires pour le chauffage et la climatisation de ces bâtiments.

Un bâtiment est qualifié de « sain et efficace en matière d'énergie » s'il n'est pas à l'origine, ou n'aggrave pas de pathologie chez les occupants du bâtiment. Il assure de plus un haut niveau de confort pour les occupants. Il minimise enfin l'utilisation d'énergie pour atteindre les conditions environnementales optimales.

Le programme d'étude HOPE s'est déroulé en trois phases : une phase de recueil de données, une phase d'investigation plus détaillée, et une phase de classification des bâtiments :

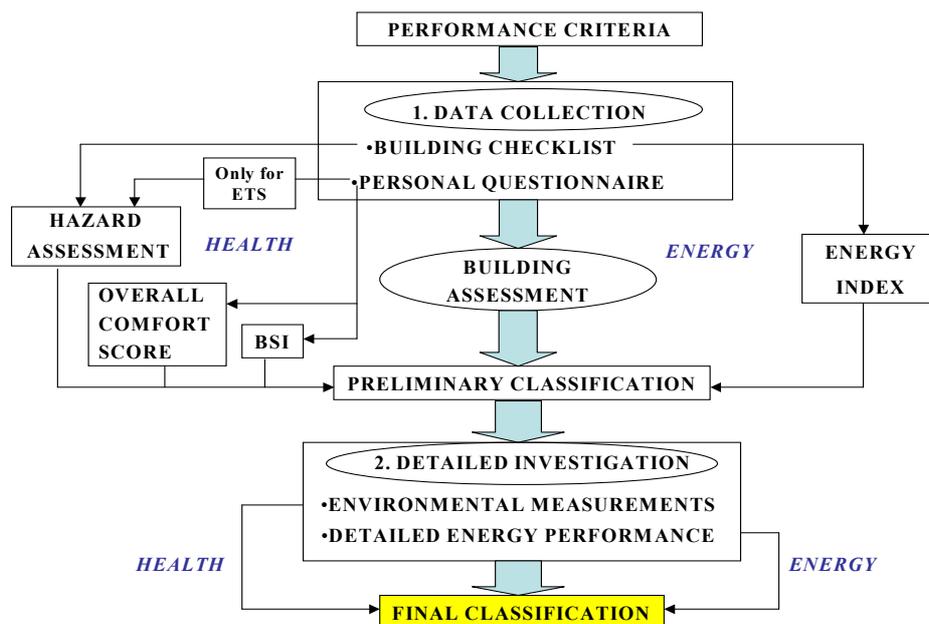


Figure 4 : Schéma de principe du programme d'étude HOPE sur les bâtiments de bureaux (HOPE 2005)

Cet outil a été validé par un consensus d'experts européens sur le sujet. Les auteurs ont en effet comparé les résultats de la phase d'évaluation des risques (phase 1) aux résultats de la phase d'investigations détaillées (phase 2) : il apparaît que ces deux types de résultats coïncident totalement. Les **faux positifs** (i.e. la phase d'évaluation ne montrant aucun risque alors que la phase de mesures montre l'existence d'un danger) sont **extrêmement rares** (1 sur 165). De plus, les **faux négatifs** (la phase d'évaluation montrant un risque alors que la phase de mesures ne montre aucun danger) **sont limités** (moins de 10%). Les faux négatifs sont en outre rares pour les dangers de classe 1 (1 sur 49). Enfin, dans la majorité des cas (75%), le jugement apporté par la phase d'évaluation

est conforme ou plus sévère que les résultats basés sur la phase de mesures. Ce résultat assure que les bâtiments n'entrent pas dans la catégorie « sains » de façon erronée. Le protocole global d'étude de HOPE nécessite néanmoins des adaptations et quelques précisions. Il n'existe en effet de document écrit détaillé que sur la première phase, la phase de mesures ayant été laissée libre pour le choix de l'organisation à chaque pays. Enfin, les conseils et recommandations en terme de gestion, qui font logiquement suite à un tel programme d'étude, ne seront pas abordés dans ce mémoire.

4.1 Phase 1 : une phase d'évaluation

La première phase « data collection » est réalisée, dans les bâtiments de bureaux, grâce à deux types de documents papier :

- Une check-list, devant être complétée par un technicien enquêteur, et portant sur les caractéristiques du bâtiment : description générale, description des aspects mécaniques du bâtiment, description de l'équipement, description des activités liées au bâtiment ainsi que la consommation énergétique ;
- un questionnaire, devant être rempli individuellement par chaque occupant du bâtiment, et portant sur l'état de santé des occupants, leur bien-être et leur perception du confort du bâtiment.

Les réponses à ces questionnaires sont ensuite analysées grâce à un logiciel créé pour l'occasion : il compare ces réponses à des critères prédéfinis. A partir de cette comparaison, une première classification du bâtiment est possible.

4.1.1 Critères sanitaires

Les critères sanitaires sont de deux ordres : une classification des dangers et le BSI₅. Le BSI₅ est un indicateur numérique qui considère la fréquence des symptômes liés au SBS perçu par les occupants. Il considère cinq symptômes du SBS : les yeux secs, le nez bouché, la toux sèche, les maux de tête et la fatigue/la léthargie. Le BSI₅ est donc le nombre moyen de symptômes, parmi les 5 précédents, ressentis par les occupants d'un bâtiment.

Les dangers sont classés en trois catégories, selon le niveau de gravité des effets sanitaires :

- **Classe 1** - danger qui est susceptible d'engendrer la mort ou une pathologie à haute probabilité d'être fatale : amiante, radon, COV cancérigènes, FTE et de hautes concentrations en CO ;
- **Classe 2** - danger qui est susceptible de générer une pathologie (le plus souvent respiratoire) : ozone, NOx, particules, bactéries, allergènes, moisissures, COV non cancérigènes et de faibles concentrations en CO ;
- **Classe 3** - danger qui est susceptible d'engendrer des pathologies mineures ou un inconfort : bruit, luminosité, température trop élevée ou trop basse.
-

Ces classes de dangers sont ensuite mises en regard avec le BSI₅. Le croisement entre le BSI₅ et les classes de dangers permet une première classification du bâtiment :

	Facteurs de risques sanitaires et au niveau du confort								Symptômes BSI ₅
	Danger de classe 1		Danger de classe 2		Danger de classe 3* Check-list		Danger de classe 3* Questionnaire et score de confort**		
Catégorie 1 Bâtiment sain	absent	ET	absent	ET	absent	OU	≤ 2,5	ET	BSI ≤ 1 ET Pas de symptôme > 40 %
Catégorie 2 Bâtiment potentiellement sain	≥ 1 peut-être présent	OU	≥ 1 peut-être présent	OU	≥ 1 peut-être présent	OU	> 2,5 et ≤ 4	OU	BSI > 1 et ≤ 2 OU 1 symptôme > 40 %
Catégorie 3 Bâtiment malsain	≥ 1 présent	OU	≥ 1 présent	OU	≥ 1 présent	OU	> 4	OU	BSI > 2 OU Plus d'1 symptôme > 40 %

* Deux alternatives sont possibles pour l'évaluation des dangers de classe 3 :

- évaluation grâce à la check-list des bâtiments
- évaluation de l'inconfort grâce aux questionnaires

** Si les deux évaluations sont disponibles, l'évaluation par les questionnaires prédomine si le taux de réponse est supérieur à 70%

Tableau 16 : Méthode de classification des bâtiments par rapport aux critères sanitaires (HOPE 2005)

4.1.2 Critères énergétiques

L'efficacité énergétique est évaluée grâce à un critère énergétique, i.e. la consommation totale annuelle d'énergie par surface chauffée :

$$I = \frac{\text{énergie utilisée annuellement}}{\text{surface chauffée}} [MJ/m^2]$$

Le calcul de cet indice d'énergie permet, comme pour le critère sanitaire, de classer les bâtiments en trois catégories :

	I	Explication
Catégorie 1 Optimal	< 540 MJ/m ² (< 150 kWh/m ²)	Considéré comme un bâtiment peu consommateur d'énergie
Catégorie 2 Médium	> 900 MJ/m ² (> 250 kWh/m ²)	Bâtiment ayant un potentiel significatif d'économies d'énergie ; une étude plus approfondie est nécessaire
Catégorie 3 Faible	> 1800 MJ/m ² (>500 kWh/m ²)	Besoin urgent de prendre des mesures d'économie d'énergie

Tableau 17 : Méthode de classification des bâtiments en fonction de leur consommation énergétique totale (HOPE 2005)

4.1.3 Adaptation des documents

Une modification des documents fournis par le protocole de HOPE est nécessaire : plusieurs rubriques des deux documents (check-list et questionnaire) paraissent inutiles car elles ne sont pas utilisées par la suite. Le logiciel intégré à la base de donnée de HOPE (HoDa) qui fournit une première classification des bâtiments grâce aux documents remplis lors de cette première phase n'utilise pas en effet toutes les informations contenues dans ces documents. Un « écrémage » de ces rubriques inutiles s'impose

donc, ce qui permettra d'obtenir, grâce à des documents plus concis, un taux de réponses plus important ainsi qu'une meilleure qualité de remplissage de ces documents.

Afin de repérer les rubriques et questions non indispensables, des simulations ont été réalisées dans le logiciel HoDa sur un cas donné.

De plus, certaines données semblent pouvoir manquer lors de l'interprétation des résultats. Quelques questions supplémentaires ont donc été ajoutées dans les documents.

A) La check-list

La check-list est divisée en sept parties :

- informations générales ;
- description du bâtiment ;
- description des aspects mécaniques liés au bâtiment, elle-même subdivisée en quatre sous-parties (lumière, chauffage et refroidissement, eau chaude, ventilation) ;
- description des usages du bâtiment ;
- énergie utilisée ;
- constructions alentour ;
- recommandations.

Ce document est destiné à être rempli par des techniciens enquêteurs ayant été formés pour l'occasion.

Ce document paraît long et fastidieux à remplir. Effectivement, quelques données seulement servent réellement à la classification des bâtiments. Néanmoins, si des mesures de gestion doivent être prises du fait d'un mauvais classement final d'un bâtiment, toutes les informations récoltées dans cette check-list seront dans ce cas très utiles. Elles permettront en effet d'identifier rapidement la source de problèmes, et de diminuer ainsi le temps nécessaire à la mise en oeuvre des mesures de gestion.

C'est pourquoi, ce document original du protocole de HOPE ne subira aucune transformation pour son application au programme d'étude de l'OQAI dans les bâtiments de bureaux. Celui-ci est présenté en Annexe 10.

B) Le questionnaire

Le questionnaire est divisé en cinq parties de tailles inégales :

- informations générales ;
- bien-être et symptômes ;
- confort de l'environnement intérieur ;
- autres aspects liés au bureau ;
- antécédents personnels.

Il apparaît que ces rubriques ne sont pas égales vis-à-vis des changements à opérer. Les questions inutiles ou redondantes sont retirées, les questions manquantes ajoutées. De plus, certaines questions ne semblent pas placées dans la bonne rubrique, elles sont donc déplacées afin de rendre le questionnaire ainsi modifié plus fluide et plus cohérent.

Les changements apportés sont, en substance, les suivants :

- l'orientation de la fenêtre, n'étant pas utile par la suite, est supprimée des informations générales ;
- la partie sur les symptômes est très complète et ne présente aucune donnée non utilisée par la suite. Aucun changement n'y sera donc apporté ;
- la partie sur le confort intérieur a été franchement raccourcie pour ne garder que l'essentiel : les questions portant sur le bruit et la lumière étaient en effet très nombreuses (5 questions sur chaque thème et pour chacune des deux saisons) et pouvaient prêter à confusion ;
- la partie sur les autres aspects liés au bureau s'est vue allongée des 2 questions portant sur les fenêtres et de la question portant sur le nombre de personnes

occupant le bureau qui étaient initialement placées dans la partie sur les antécédents personnels ; les deux questions sur l'attention portée par les dirigeants aux plaintes des occupants ont subi une refonte en une seule question ;

- la partie sur les antécédents personnels s'est vue retirer les trois questions qui ont été transférées dans la partie précédente ; de plus, une question sur la satisfaction au travail y a été ajoutée.

Le questionnaire final est présenté en Annexe 11.

4.2 Phase 2 : une phase d'investigation détaillée

A la fin de la première phase, les bâtiments sont classés en fonction de leurs qualités sanitaires ainsi que selon leur consommation énergétique. Les données issues des questionnaires et de la check-list sont entrées dans la base de donnée de HOPE (HoDa). Le logiciel associé calcule alors le BSI₅, les indices concernant les paramètres de confort et les classes de risques pour les différents dangers.

A partir de cette analyse des risques, il est possible de déterminer quels sont les polluants à mesurer dans les bâtiments de bureaux : pour chaque paramètre environnemental, une mesure est recommandée ou suggérée si l'évaluation menée a déterminé la présence, ou la possibilité de présence du danger associé, quelle que soit la classe de ce danger ; de plus, du fait de la sévérité de leur impact sur la santé et de la difficulté de leur évaluation grâce à la check-list, la mesure du radon et des COV cancérigènes est toujours recommandée. Pour les bâtiments de bureaux, et à cause de son impact sur la QAI, il est conseillé d'effectuer aussi des mesures de ventilation.

Lors de la mise en œuvre du programme HOPE, les concepteurs ont laissé libre choix aux différents pays pour la mise en œuvre des protocoles de mesures. Il n'existe ainsi aucun document de synthèse sur les protocoles utilisés. Il est donc nécessaire de mettre au point les protocoles qui serviront lors de l'étude de l'OQAI dans les bâtiments de bureaux. Les techniques de mesures et/ou de prélèvement peuvent être très différentes d'un polluant à l'autre. Chaque polluant ou paramètre environnemental doit donc posséder son propre protocole de mesure.

Des protocoles ont été rédigés pour les polluants suivants :

FTE
Radon
COV
Aldéhydes
O ₃
Bactéries
Moisissures
Allergènes

Matière particulaire
Lumière
Bruit
Température
HR
CO ₂

Tableau 18 : Polluants susceptibles d'être mesurés lors de la phase 2 à l'issue de la première classification

Plusieurs sources ont été utilisées afin de rédiger ces protocoles :

- pour certains des polluants (8 au total, en gris dans le tableau 18), des protocoles rédigés par l'OQAI existaient déjà ; ils avaient été élaborés, testés et affinés lors de la campagne de mesures dans les logements réalisée par l'OQAI ; une simple adaptation au contexte de bâtiments de bureaux a juste été nécessaire ;
- pour les bactéries et les moisissures, les thèses de deux chercheurs appartenant à la division Santé – Bâtiment du CSTB ont été utilisées (Moletta 2005; Moularat 2005) ;
- pour les FTE, l'ozone, la lumière et le bruit, des recherches sur Internet ont été menées.

Les quatorze protocoles de mesure et/ou de prélèvement sont présentés dans les Annexes 12 à 25.

Une étude pilote, réalisée dans quelques bâtiments de bureaux, sera nécessaire afin d'affiner les différents protocoles.

En ce qui concerne la consommation énergétique, si le bâtiment considéré consomme plus que la moyenne des bâtiments similaires, d'usage équivalent et sous les mêmes climats, les auteurs recommandent alors d'effectuer une étude plus approfondie afin de déterminer pourquoi ce bâtiment en particulier consomme plus que les autres.

Cette évaluation plus approfondie peut se faire en calculant, grâce à des modèles de calcul appropriés, la part des différents postes d'utilisation de l'énergie : chauffage, refroidissement, lumière, eau chaude...

Les évaluations ainsi affinées pourront être comparées aux moyennes des bâtiments similaires et sous les mêmes climats. Les postes particulièrement gourmands en énergie seront donc isolés, et une action sera possible.

Ce deuxième aspect du programme HOPE ne sera pas étudié plus avant.

4.3 Phase 3 : classification finale des bâtiments

La comparaison entre la première classification et les résultats de l'investigation approfondie permet de réaliser une classification finale des bâtiments. Ceci n'est réalisable que si les valeurs des concentrations obtenues lors de la campagne de mesure peuvent être comparées à des **valeurs seuils** pour chaque polluant. Il faudra, avant de mettre en place un tel programme d'étude, avoir une idée précise de ces valeurs seuils. Il existe des valeurs guides admises par la communauté scientifique pour certains polluants seulement. **Un travail sur les autres valeurs seuils devra donc être réalisé.**

Les bâtiments sont alors répartis en trois classes, comme pour la classification primaire :

- catégorie 1 : bâtiment sain ;
- catégorie 2 : bâtiment moyen ;
- catégorie 3 : bâtiment malsain.

Des mesures de gestion sont à mettre en place pour les catégories 2 et 3. Celles-ci seront adaptées à chaque situation, puisque les investigations menées sont assez précises pour le permettre.

Il en est de même pour les caractéristiques énergétiques des bâtiments : des mesures correctrices sont nécessaires dès que l'utilisation de l'énergie n'est pas optimale.

Les auteurs de HOPE proposent quelques mesures correctrices possibles pour ces deux champs d'action sur le site Internet du projet [3].

CONCLUSION

L'objectif de ce mémoire était de préparer le futur programme d'étude de l'OQAI dans les bâtiments de bureaux.

Pour cela, une synthèse bibliographique a tout d'abord été réalisée. Celle-ci a permis de dégager toutes les spécificités de la problématique :

- les polluants sont globalement les mêmes que ceux trouvés dans l'habitat ; il existe néanmoins quelques différences : tout d'abord, il n'existe, dans les bureaux, pas de source de monoxyde de carbone, ni d'oxydes d'azote ; de plus, certains polluants peuvent être en fortes concentrations dans les bureaux (tels l'ozone, les COV, les biocontaminants...) en lien avec les sources présentes dans les bureaux ; enfin, les sources d'humidité y sont moins importantes ;
- les sources de pollution sont, elles, spécifiques aux bâtiments de bureaux : le bâti et l'agencement intérieur, l'équipement et le mobilier, les problèmes dus à un mauvais entretien des systèmes de ventilation...
- les pathologies associées sont multiples, souvent aspécifiques et plurifactorielles ; elles sont donc difficiles à diagnostiquer, et les causes sont difficiles à mettre en avant et donc à éliminer.

Cette synthèse bibliographique a de plus pointé le manque d'informations disponibles sur le territoire français. Elle montre donc toute l'utilité de réaliser une étude française de grande ampleur sur le sujet.

Afin de connaître l'importance de l'impact sanitaire de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux en France, une enquête a été réalisée auprès de médecins du travail. Celle-ci a permis de constater, malgré son faible taux de réponses, qu'il existe des cas avérés de pathologies dues à la QAI dans les bureaux en France. De plus, les causes évoquées par les répondants sont multiples et toutes liées spécifiquement au type des bâtiments de bureaux. L'existence de ces pathologies et la connaissance de leurs causes corroborent donc les conclusions de la synthèse bibliographique.

La réalisation du protocole du futur programme d'étude de l'OQAI dans les bâtiments de bureaux a donc pu se baser sur cette synthèse bibliographique.

Etant donné ses objectifs – connaître les polluants de l'air intérieur dans les bureaux, ainsi que leurs concentrations moyennes, déterminer quelle est l'exposition des occupants à ces polluants et quel en est l'impact sanitaire, ainsi qu'essayer de faire le lien entre la consommation énergétique et la QAI – il a été décidé de mettre en place un protocole d'étude semblable à celui du programme européen HOPE. Celui-ci présentait en effet l'avantage, outre le fait qu'il résulte d'un consensus d'experts européens sur le sujet, de faire une première classification des bâtiments en fonction du risque que tel ou tel polluant soit présent grâce à des outils solides (logiciel HoDa). Des mesures sont ensuite effectuées dans les bâtiments présentant un tel risque. Ce protocole permet donc d'éviter de réaliser des mesures dans les bâtiments sains, ou au moins de cibler les mesures à effectuer pour chaque bâtiment. La phase de mesures est donc moins lourde que si tous les polluants étaient mesurés dans tous les bâtiments. La première phase correspond donc à une vision globale du parc, ou en tous cas de notre échantillon, et la seconde phase est plutôt une phase de diagnostic.

HOPE présente aussi l'avantage de mener en parallèle l'étude de la consommation énergétique à celle de la QAI. Un tel programme d'étude permet donc de remplir tous les objectifs de l'OQAI.

Néanmoins, l'objectif de l'OQAI qui consistait à avoir une idée globale et extrapolable des niveaux de pollutions dans les bâtiments de bureaux français ne semble pas réalisable dans l'immédiat, sauf à réaliser une typologie et avoir une connaissance précises du parc

de ces bâtiments, et avoir des crédits suffisants pour créer un échantillon représentatif de ce même parc.

Le protocole du futur programme d'étude de l'OQAI dans les bâtiments de bureaux élaboré dans ce mémoire s'est largement inspiré de celui de HOPE. Des modifications ont néanmoins été nécessaires afin d'en faciliter la mise en œuvre. Plusieurs plans d'échantillonnage des bâtiments de bureaux ont été proposés, les documents relatifs à la première phase du protocole ont été adaptés, et les protocoles de prélèvement pour chaque polluant ont été rédigés.

Le protocole élaboré dans ce mémoire devra être testé lors d'une étude pilote, avant utilisation par l'OQAI lors de la mise en œuvre de son programme d'étude de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux.

Bibliographie

- ADEME** (2004). Les chiffres clés du bâtiment - énergie et environnement.
- Andersson, H., R. Fredriksson, J. Oscarsson and G. Stridh** (2002). "Adsorbed volatile and semi-volatile organic compounds (VOCs and SVOCs) on settled dust." Indoor Air: 539-542.
- Backman, H and Haghigat, F.** (1999). "Indoor air quality and ocular discomfort." J Am Optom Assoc 70(5): 309-16.
- Bako-Biro, Z., P. Wargocki, C. J. Weckler and P. O. Fanger** (2004). "Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices." Indoor air 14(3): 178-187.
- Bakó-Biró, Z., P. Wargocki, D. Wyon and P. Fanger** (2005). "Poor indoor air quality slows down metabolic rate of office workers." Indoor Air: 76-80.
- Bakó-Biró, Z., C. Weschler, P. Wargocki and P. Fanger** (2005). "Effects of indoor pollution sources and ventilation rate on ozone's surface removal rate and the occurrence of oxygenated VOCs in an office space." Indoor Air: 2320-2324.
- Berrios, I., J. Zhang, B. Guo, J. Smith and Z. Zhang** (2005). "Volatile organic compounds (VOCs) emissions from sources in a partitioned office environment and their impact on IAQ." Indoor air: 2064-2069.
- Bholah R., S. A. H.** (2002). "Indoor biological contaminants and symptoms of sick building syndrome in office buildings in mauritius." International Journal of Environmental Health Research 12(1): 93-98.
- Bouillard, L., O. Michel, M. Dramaix and M. Devleeschouwer** (2005). "Bacterial contamination of indoor air, surfaces, and settled dust, and related dust endotoxin concentrations in healthy office buildings." Annals of Agricultural and Environmental Medicine 12(2): 187-192.
- Brasche, S., M. Bullinger, M. Morfeld, H. J. Gebhardt and W. Bischof** (2001). "Why do women suffer from sick building syndrome more often than men? – Subjective higher sensitivity versus objective causes." Indoor Air 11(4): 217-222.
- Brasche, S., M. Bullinger, A. Petrovitch, E. Mayer, H. Gebhardt, V. Herzog and W. Bischof** (2005). "Self-reported eye symptoms and related diagnostic findings - comparison of risk factor profiles." Indoor Air 15: 56-64.
- Brasche S., B., M., R. Schwab, H. Gebhardt, V. Herzog and W. Bischof** (2004). "Comparison of risk factor profiles concerning self-reported skin complaints and objectively determined skin symptoms in german office workers." Indoor Air 14(2): 137-143.
- Brightman, H., D. Wypij, D. Milton, H. Burge and J. Spengler** (2005). "Building characteristics associated with workplace productivity in united states office buildings." Indoor Air: 329-333.

- Burge, S., A. Hedge, S. Wilson, J. H. Bass and A. Robertson** (1987). "Sick building syndrome: A study of 4373 office workers." Ann Occup Hyg 31(4A): 493-504.
- Burton, L. E., J. G. Girman and S. E. Womble** (2000). "Airborne particulate matter within 100 randomly selected office buildings in the united states (BASE)." Healthy Buildings 1: 157-162.
- Carrer, P., D. Cavallo, S. Fustinoni, Y. Bruinen de Bruin, F. Vercelli, F. Visigalli and M. Maroni** (2002). "Exposure to volatile organic compounds and carbon monoxide of adult population in Milan (EXPOLIS study)." Indoor Air: 215-220.
- Carrer, P., C. Peruzzo, D. Cavallo, M. Della Torre, M. Scarpa, M. Taronna and M. Maroni** (2005). "Evaluation of health and comfort in office buildings (HOPE project): Analysis of italian results." Indoor Air: 3469-3474.
- Chao C.Y., C. G. Y.** (2001). "Quantification of indoor VOCs in twenty mechanically ventilated buildings in Hong Kong." Atmospheric Environment 35(34): 5895-5913.
- Chao, H. J., J. Schwartz, D. K. Milton and H. A. Burge** (2002). "Populations and determinants of airborne fungi in large office buildings." Environmental Health Perspectives 110(8): 777-782.
- Chao, H. J., J. Schwartz, D. K. Milton and H. A. Burge** (2003). "The work environment and workers' health in four large office buildings." Environmental Health Perspectives 111(9): 1242-1248.
- Chasseur, C., S. Gofflot and N. Nolard** (2002). "Microbial analysis of deposit dust on surfaces in buildings offices equipped with central air-conditioning installations: Proposed microbial practical values with a new standardized method." Indoor Air: 347-352.
- Chow, P., W. Chan and L. Vrijmoed** (2005). "An investigation on the occurrence of fungi and bacteria in the MVAC system in an office premise." Indoor air: 1096-1100.
- 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: 202-207.
- DGS** (2001). Rapport du groupe de travail DGS-tabagisme passif présidé par le Pr Bertrand Dautzenberg, DGS.
- Eduard, W.** (1997). "Exposure to non infectious microorganisms and endotoxins in agriculture." Annals of Agricultural and Environmental Medicine 4: 179-186.
- Fjeld, T., B. Veiersted, L. Sandvik, G. Riise and F. Levy** (1998). "The effect of indoor foliage plants on health and discomfort symptoms among office workers." Indoor and Built Environment 7(4): 204-209.
- Franck, C.** (1986). "Eye symptoms and signs in buildings with indoor climate problems ('office eye syndrome')." Acta Ophtalmologica (Copenhagen) 64(3): 306-311.
- François, C., R. Lahrech and F. Rénier** (1997). Typologie des immeubles de bureaux. CSTB: 1-36.

- Freund V., L.-C. F., Ott M., Verot A., Pauli G., de Blay F.** (2002). "Concentration en allergènes majeurs d'acariens du groupe 1 dans la moquette: Comparaison entre des chambres a coucher et des bureaux." Revue Francaise d'Allergologie et d'Immunologie Clinique 42(4): 355-357.
- Ginestet, A., B. Ribot, M. Henninot and D. Pugnet** (2003). "Indoor air quality in two different office buildings—part 2: Indoor and outdoor airborne particulate levels and air filtration." Healthy Buildings.
- Girman, J. R., G. E. Hadwen, L. E. Burton, S. E. Womble and J. F. McCarthy** (1999). "Individual volatile organic compound prevalence and concentrations in 56 buildings of the building assessment survey and evaluation (BASE) study." Indoor Air 11: 460-465.
- Goud, K. I., Q. Hasan, N. Balakrishna, K. P. Rao and Y. R. Ahuja** (2004). "Genotoxicity evaluation of individuals working with photocopying machines." Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis 563(2): 151.
- Haghighat, F. and G. Donnini** (1999). "Impact of psycho-social factors on perception of the indoor air environment studies in 12 office buildings." Building and Environment 34(4): 479-503.
- Hall, H. I., B. P. Leaderer, W. S. Cain and A. T. Fidler** (1993). "Personal risk factors associated with mucosal symptom prevalence in office workers." Indoor Air 3(3): 206-209.
- Halonen, R., H. Kokotti, L. Kujanpää and 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: 1768-1771.
- Haruki, O., M. Yasuhiro, B. Kazuaki and S. Hironori** (2003). "Field measurement of formaldehyde in government offices." Healthy Buildings.
- Hedge, A., W. A. Erickson and G. Rubin** (1996). "Predicting sick building syndrome at the individual and aggregate levels." Environment International 22(1): 3-19.
- Henschel, D. B., R. C. Fortmann, N. F. Roache and X. Y. Liu** (2003). "Potential for reducing indoor styrene exposure from copied paper through use of low-emitting toners." Journal of the Air & Waste Management Association 53(11): 1347-1354.
- Herzog, V., J. Witthauer, S. Brasche and W. Bischof** (2002). "VOC-related sensory symptoms in office buildings." Indoor air: 78-83.
- 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.
- HOPE** (2005). Health optimisation protocol for energy-efficient buildings, European Community under the programme Energy, Environment and Sustainable Development: 1-82.
- Hummelgaard, J., P. Juhl, K. Sæbjørnsson, G. Clausen, J. Toftum and G. Langkilde** (2005). "Indoor air quality and occupant satisfaction in five mechanically and four naturally ventilated open-plan office buildings." Indoor Air: 675-680.

- INRS** (1994). L'amiante dans les matériaux en vrac - échantillonnage et identification par microscopie en lumière polarisée, Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité au travail n°166.
- INRS** (2000). Comptage des fibres par microscopie optique en contraste de phase. Fiche054, METROPOL.
- Jédor, B.** (2005). Qualité de l'air intérieur dans les écoles maternelles et primaires: Spécificités de la problématique et implications en terme d'évaluation et de gestion des risques sanitaires. p. mémoire d'Ingénieur du Génie Sanitaire, ENSP: 1-76.
- Johner, N., C. Roulet, B. Oostra and F. Foradini** (2005). "Correlations between SBS, perceived comfort, energy use and other building characteristics in European office and residential buildings." Indoor Air: 740-745.
- Jones, A. P.** (1998). "Asthma and domestic air quality." Social Science & Medicine 47(6): 755-764.
- Kemp P.C., N.-K., H. G., B. Esposito, G. Lysek and F. Murray** (2003). "Changes in airborne fungi from the outdoors to indoor air; large HVAC systems in nonproblem buildings in two different climates." Aiha Journal 64(2): 269-275.
- Kirchner, S., J. Ribéron and C. Cochet** (1995). European audit project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings. National report. France., CSTB: 1-58.
- Kruse, K., L. Madsø, A. Skogstad, W. Eduard, F. Levy, K. Skulberg and K. Skyberg** (2002). "Characterization of particle types in modern offices." Indoor Air: 880-884.
- Lahtinen, M., C. Sundman-Digert and K. Reijula** (2004). "Psychosocial work environment and indoor air problems: A questionnaire as a means of problem diagnosis." Occupational and Environmental Medicine 61(2): 143-149.
- Lee, C. S., F. Haghghat and W. S. Ghaly** (2005). "A study on voc source and sink behaviour in porous building materials - analytical model development and assessment." Indoor Air 15(3): 183-96.
- Lee, S. C., S. Lam and H. K. Fai** (2001). "Characterization of VOCs, ozone, and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber." Building and Environment 36(7): 837-842.
- Li, T. H., B. J. Turpin, H. C. Shields and C. J. Weschler** (2002). "Indoor hydrogen peroxide derived from ozone/d-limonene reactions." Environmental Science & Technology 36(15): 3295-3302.
- Lorenz, W., C. Trautmann, I. Dill and M. Gareis** (2003). "Detection of an aflatoxin-like substance in an office building." Healthy Buildings.
- Macher, J., F. Tsai, L. Burton and K.-S. Liu** (2002). "Concentrations of cat and dust mite allergens in 93 U.S. office buildings." Indoor Air: 359-364.
- McGhee, S. M., P. Adab, A. J. Hedley, T. H. Lam, L. M. Ho, R. Fielding and C. M. Wong** (2000). "Passive smoking at work: The short-term cost." J Epidemiol Community Health 54(9): 673-676.
- Mendell, M. J.** (1993). "Non-specific symptoms in office workers: A review and summary of the epidemiologic literature." Indoor air 3(4): 227.

- Mendell, M. J., G. M. Naco, T. G. Wilcox and W. K. Sieber** (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.
- Ministère de l'Équipement des Transports et du logement, Ministère de l'Emploi et de la solidarité et Ministère de la Santé** (2002). Bâtiment et santé : Les principaux risques sanitaires: 1-20.
- Moletta, M.** (2005). Caractérisation de la diversité microbienne aéroportée des biogaz, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc: 193.
- Mosqueron, L., I. Momas and Y. Le Moulec** (2002). "Personal exposure of Paris office workers to nitrogen dioxide and fine particles." Occupational and Environmental Medicine 59(8): 550-555.
- Mosqueron, L. and V. Nedellec** (2001). Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments, OQAI: 1-174.
- Mosqueron, L. and V. Nedellec** (2004). Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments: Actualisation des données sur la période 2001-2004, OQAI: 1-61.
- Mouillesseaux, A., F. Squinazi and B. Festy** (1993). "Air quality in air conditioned office buildings." Indoor Air 6: 615-620.
- Moularat, S.** (2005). Etude de la contamination fongique des environnements intérieurs par la détermination et la mesure de traceurs chimiques spécifiques: Application à l'hygiène de l'habitat, Université de Marne-la-Vallée: 158.
- Muhic, S. and V. Butala** (2004). "The influence of indoor environment in office buildings on their occupants: Expected-unexpected." Building and Environment 39(3): 289-296.
- Myatt, T., J. Staudenmayer, K. Adams, M. Walters, S. Rudnick and D. Milton** (2002). "A study of indoor carbon dioxide levels and sick leave among office workers." Environmental Health: A Global Access Science Source 1(1): 3.
- Myatt, T. A., S. L. Johnston, Z. F. Zuo, M. Wand, T. Kebabze, S. Rudnick and D. K. Milton** (2004). "Detection of airborne rhinovirus and its relation to outdoor air supply in office environments." American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 169(11): 1187-1190.
- Nilsen, S., P. Blom, J. Rydock, J. Nersveen and K. Fostervold** (2002). "An intervention study of the relationships between indoor air-related health problems, productivity and cleanliness in an office setting." Indoor Air: 472-477.
- Nishihara, N., P. Wargocki, D. Wyon, S. Tanabe and P. Fanger** (2005). "Cerebral blood flow, fatigue, mental effort and task performance in an office with two different pollution loads." Indoor Air: 377-382.
- Novoselac, A. and J. Srebric** (2002). "Influence of different pollutant sources on selection of ventilation system in rooms with cooled ceilings." Indoor Air: 331-336.

- Nunes, Z. G., A. S. Martins, A. L. F. Altoe, M. M. Nishikawa, M. O. Leite, P. F. Aguiar and S. E. L. Fracalanza** (2005). "Indoor air microbiological evaluation of offices, hospitals, industries, and shopping centers." Memorias do Instituto Oswaldo Cruz 100(4): 351-357.
- Oikawa, S., N. Kanno, T. Sanada, J. Abukawa and H. Higuchi** (2006). "A survey of indoor workplace radon concentration in Japan." Journal of Environmental Radioactivity 87(3): 239-245.
- Parat, S., A. Perdrix and P. Baconnier** (1999). "Etude des relations entre climatisation, micro-organismes aéroportés et santé." Bull Acad Natle Med 183(2): 327-344.
- Parat, S., A. Perdrix and J. Dechenaux** (2004). Climatisation et aérobiocontamination, APPA, DDASS Isère: 1-14.
- Parat, S., A. Perdrix, H. Fricker-Hidalgo, I. Saude, R. Grillot and P. Baconnier** (1997). "Multivariate analysis comparing microbial air content of air-conditioned building and a naturally ventilated building over one year." Atmospheric Environment 31: 441-449.
- Parat, S., A. Perdrix, S. Mann and C. Cochet** (1995). "A study of the relationship between airborne microbiological concentrations and symptoms in office in buildings." Healthy Buildings: 1481-1486.
- Perdrix, A., S. Parat, S. Liaudy and A. Maître** (2005). "Syndrome des bâtiments malsains (SBM)." Revue Francophone des Laboratoires 373: 67-72.
- Perfetti L., M. Ferrari, E. Galdi, V. Pozzi, D. Cottica, E. Grignani, C. Minoia and G. Moscato** (2004). "House dust mites (der p 1, der f 1), cat (fel d 1) and cockroach (bla g 2) allergens in indoor work-places (offices and archives)." Science of the Total Environment 328(1-3): 15-21.
- Pesonen-Leinonen, E., S. Tenitz and A. M. Sjoberg** (2004). "Surface dust contamination and perceived indoor environment in office buildings." Indoor Air 14(5): 317-324.
- Phillips, K., M. C. Bentley, D. Howard and G. Avan** (1998). "Assessment of air quality in Paris by personal monitoring of nonsmokers for respirable suspended particles and environmental tobacco smoke." Environment International 24(4): 405-425.
- Ribéron, J. and P. O'Kelly** (2002). "Field investigations on comfort in office buildings." Indoor Air: 665-670.
- Riederer, P.** (2002). Typologie des bâtiments bureaux et hôtels, CSTB: 5-10.
- Rohr, A. C. and H. Brightman** (2003). "Effects of building characteristics on self-reported productivity of office workers: The base study." Healthy Buildings.
- Rydock, J. P., A. Naess-Rolstad and J. T. Brunsell** (2001). "Diurnal variations in radon concentrations in a school and office: Implications for determining radon exposure in day-use buildings." Atmospheric Environment 35(16): 2921-2926.
- Salonen, H., K. Reijula, R. Riala, S. Lappalainen and T. Tuomi** (2002). "Indoor air quality of office buildings in the Helsinki area." Indoor Air: 500-505.

- Saude, I., J. Loewenstein, B. Millancourt, S. Soreau and S. Parat** (1993). "Indoor air quality: Comparing an air conditioned building and a naturally ventilated building." Indoor Air 2: 87-92.
- Saude, I., S. Parat, J. Loewenstein, B. Millancourt and S. Soreau** (1994). "Etude comparative de la qualité de l'air intérieur d'un immeuble climatisé et d'un immeuble à ventilation naturelle." Pollution atmosphérique avril-juin: 30-40.
- Schneider, T. and M. Bohgard** (2005). "Airborne particle deposition onto the ocular surface." Indoor Air 15(3): 215-219.
- Seppänen, O., W. Fisk and M. Mendell** (1999). "Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings." Indoor Air 9: 226-252.
- Seppanen, O. A. and W. J. Fisk** (2004). "Summary of human responses to ventilation." Indoor Air 14: 102-118.
- Sessa, R., P. Di, G. Schiavoni, I. Santino, A. Altieri, S. Pinelli and P. Del** (2002). "Microbiological indoor air quality in healthy buildings." The new microbiologica 25(1): 51-56.
- Skyberg K., S., K. R., W. Eduard, E. Skaret, F. Levy and H. Kjuus** (2003). "Symptoms prevalence among office employees and associations to building characteristics." Indoor Air 13(3): 246-252.
- Springston, J. P., W. A. Esposito and K. W. Cleversey** (2002). "Baseline indoor air quality measurements collected from 136 metropolitan New York region commercial office buildings between 1997-1999." American Industrial Hygiene Association Journal 63(3): 354-360.
- Squinazi, F., I. Lanfranconi and A. M. Giard** (1994). Confort et santé dans les bâtiments climatisés. dossier médico-technique, Institut National de Recherche et de Sécurité: 341-352.
- Stridh, G., H. Andersson, B. Linder, J. Oscarsson and C. Sahlberg Bang** (2002). "Total dust exposure and size distribution of air borne particles in day-care centres, schools and offices." Indoor Air: 97-102.
- Toftum, J. and F. van Dijken** (2003). "Ultra-fine and fine particle formation in a naturally ventilated office as a result of reactions between ozone and scented products." Healthy Buildings.
- Tsai, F., J. Macher and Y. Hung** (2005). "Concentrations of airborne fungi in 100 U.S. office buildings." Indoor Air: 1414-1417.
- Tsai, F. C. and J. M. Macher** (2005). "Concentrations of airborne culturable bacteria in 100 large US office buildings from the BASE study." Indoor Air 15: 71-81.
- Tuomainen, A., M. Seuri and A. Sieppi** (2004). "Indoor air quality and health problems associated with damp floor coverings." International Archives of Occupational and Environmental Health 77(3): 222-226.
- Vincent, D., I. Annesi, B. Festy and J. Lambrozo** (1997). "Ventilation system, indoor air quality, and health outcomes in Parisian modern office workers." Environmental Research 75(2): 100-112.

- Vincent, D., I. Annesi, A. Pradalier and J. Lambrozo** (1993). "Health consequences of working in air-conditioned offices." Indoor Air 1: 423-426.
- Wargocki, P. and R. Djukanovic** (2003). "Estimate of an economic benefit from investment in improved indoor air quality in an office building." Healthy Buildings.
- Wargocki, P., P. Krupicz, A. Szczecinski, P. Fanger and G. Clausen** (2002). "Perceived air quality and sensory pollution loads in six Danish office buildings." Indoor Air: 231-236.
- Wolkoff, P.** (2005). "An integrated approach to eye irritation in the office – importance of the relative humidity?" Indoor Air: 3777-3781.
- Wolkoff, P., C. K. Wilkins, P. A. Clausen and G. D. Nielsen** (2006). "Organic compounds in office environments - sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry." Indoor Air 16(1): 7-19.
- World Health Organization, Regional Office for Europe** (2000). Air quality guidelines. Copenhagen, WHO Regional Publications, European series.
- Yu, C. and D. Crump** (1998). "A review of the emission of VOCs from polymeric materials used in buildings." Building and Environment 33(6): 357-374.
- Zuraimi M.S., T. K. W., Sekhar S.C.** (2004). "A study on the identification and quantification of sources of VOCs in 5 air-conditioned Singapore office buildings." Building and Environment 39(2): 165-177.
- Zuraimi, M. S., C.-A. Roulet, S. C. Sekhar, K. W. Tham, K. W. Cheong, N. H. Wong and H. K. Lee** (2003). "Concentrations and emission rates of indoor VOCs—a comparative study between Singapore and European office buildings." Healthy Buildings.

Sites Internet cités

- [1] www.statistiques.equipement.gouv.fr, consulté au mois de mai 2006
- [2] <http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/aminat/metrologie.htm>
- [3] <http://hope.epfl.ch>, consulté aux mois de juillet-août 2006

Liste des annexes

Annexe 1 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives aux COV	I
Annexe 2 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives à la contamination bactériologique	III
Annexe 3 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives à la contamination fongique	V
Annexe 4 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives à la contamination due aux allergènes	VII
Annexe 5 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives aux particules	IX
Annexe 6 : Revue des émissions de COV par les matériaux dans les bâtiments de bureaux (Yu and Crump 1998)	XI
Annexe 7 : Association entre l'environnement psychosocial au travail et les plaintes des employés de bureaux vis-à-vis de la QAI (n = 11 154) (Lahtinen, Sundman-Digert <i>et al.</i> 2004)	XVII
Annexe 8 : Enquête envoyée aux MIRTMO et aux Consultations de Pathologies Professionnelles dans chaque région.	XIX
Annexe 9 : Liste des Consultations de Pathologies Professionnelles et des MIRTMO à qui l'enquête a été envoyée	XXIII
Annexe 10 : Check-list destinée à être remplie par les techniciens enquêteurs lors du programme d'étude de l'OQAI dans les bâtiments de bureaux	XXIX
Annexe 11 : Questionnaire destiné aux occupants des bâtiments de bureaux investigués par l'OQAI	LIII
Annexe 12 : Proposition de protocole de prélèvement de la FTE	LXI
Annexe 13 : Proposition de protocole de prélèvement du radon (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXIII
Annexe 14 : Proposition de protocole de prélèvement des COV (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXV
Annexe 15 : Proposition de protocole de prélèvement des aldéhydes (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXVII
Annexe 16 : Proposition de protocole de prélèvement de l'ozone	LXIX
Annexe 17 : Proposition de protocole de prélèvement des bactéries	LXXI
Annexe 18 : Proposition de protocole de détection et de quantification des moisissures	LXXIII
Annexe 19 : Proposition de protocole de prélèvement des allergènes dans les poussières et dans l'air (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXXV
Annexe 20 : Proposition de protocole de prélèvement de la matière particulaire (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXXVII
Annexe 21 : Proposition de protocole de mesure de la lumière	LXXIX
Annexe 22 : Proposition de protocole de mesure du bruit	LXXXI
Annexe 23 : Proposition de protocole de mesure de la température (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXXXIII
Annexe 24 : Proposition de protocole de mesure de l'humidité relative (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXXXV
Annexe 25 : Proposition de protocole de mesure du CO ₂ (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)	LXXXVII

Annexe 1 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives aux COV

Paramètre	Auteur (année)	Ville/pays	Saison	Prélèvement	Mode de recrutement / population	Méthodologie	N	Résultats										
COVT et COSV	Andersson (2002)	Suède	?	20-25 mg de poussières	Sélection de 19 bureaux dans trois immeubles	Désorption, chromatographie en phase gazeuse, spectromètre de masse	19	Entre 400 et 1700 µg/g de COV adsorbés sur la poussière										
COVT	Chao (2001)	Hong Kong	?	?	Sélection de 20 immeubles publics	Méthode US-EPA TO-14	?	43 COV identifiés										
COVT	Springston (2002)	New York	2 ans	?	Sélection de 136 immeubles de bureaux	?	15000	88% des échantillons dépassent la valeur guide de 0,3mg/m ³										
COVT et BTEX	Carrer (2001)	Milan	1 an	48 heures consécutives	Sélection de 50 employés de bureaux	Désorption, chromatographie en phase gazeuse, spectromètre de masse	45	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Benzène</td> <td>9,8 (4,2-36,1)</td> </tr> <tr> <td>Toluène</td> <td>37,3 (14,5-192,3)</td> </tr> <tr> <td><i>o</i>-Xylène</td> <td>6,4 (2,0-32,2)</td> </tr> <tr> <td><i>m,p</i>-Xylène</td> <td>21,7 (8,4-96,3)</td> </tr> <tr> <td>COVT</td> <td>346 (176-1016)</td> </tr> </table>	Benzène	9,8 (4,2-36,1)	Toluène	37,3 (14,5-192,3)	<i>o</i> -Xylène	6,4 (2,0-32,2)	<i>m,p</i> -Xylène	21,7 (8,4-96,3)	COVT	346 (176-1016)
Benzène	9,8 (4,2-36,1)																	
Toluène	37,3 (14,5-192,3)																	
<i>o</i> -Xylène	6,4 (2,0-32,2)																	
<i>m,p</i> -Xylène	21,7 (8,4-96,3)																	
COVT	346 (176-1016)																	
COVT	Girman (1999)	20 états des USA	Été ou hiver	1 semaine	Sélection de 56 immeubles de bureaux	Méthode US-EPA TO-1	+ de 200	acétone (7,7-220 µg/m ³), toluène (1,6-360 µg/m ³), D-limonène (0,3-140 µg/m ³), <i>m</i> & <i>p</i> -xylènes (0,8-96 µg/m ³), 2-butoxyethanol (0,7-78 µg/m ³), <i>n</i> -undécane (0,6-58 µg/m ³), benzène (0,6-17 µg/m ³), 1,1,1-trichloroéthane (0,6-450 µg/m ³), <i>n</i> -dodécane (0,5-72 µg/m ³), hexanal (0,8-12 µg/m ³), nonanal (1,2-7,9 µg/m ³) et <i>n</i> -hexane (0,6-21 µg/m ³)										
Formaldéhyde	Haruki (2003)	Japon	?	?	Sélection de 300 immeubles de bureaux	?	+ de 3000	en moyenne, 0,03 ppm, mais 1,5% dépassent le seuil de 0,08 ppm										
COVT	Zuraimi (2003)	Singapour et UE	?	?	Sélection de 56 immeubles en Europe et de 8 à Singapour	Désorption, chromatographie en phase gazeuse, spectromètre de masse	?	concentrations + élevées en Europe : 2-méthylpentane, heptane, petits alcanes, limonène et isopropène concentrations + élevées à Singapour : benzène et toluène										
BTEX, formaldéhyde, acétaldéhyde	Saude (1993)	Paris	1 an	?	1 immeuble climatisé et 1 immeuble à ventilation naturelle	?	?	Concentrations intérieures supérieures de 1,2 à 7 fois aux concentrations extérieures Concentrations similaires entre les 2 immeubles										
Formaldéhyde	Ginestet (2003)	Paris et Lyon	1 an	?	Sélection d'1 immeuble à Lyon et d'1 à Paris	?	?	Entre 33 et 503 µg/m ³ dans les immeubles parisiens										

Annexe 2 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives à la contamination bactériologique

Paramètre	Auteur (année)	Ville	Saison	Durée de prélèvement	Mode de recrutement / population	Méthodologie	N	Résultats																		
Flore totale	Mouillesseaux (1993)	Paris	?	variable	?	Impacteur Mise en culture	112	Flore totale : 401 +/-287 UFC/m ³ Staph. Aureus : 0.5 +/- 0.6 UFC/m ³																		
Flore totale	Parat (1995)	Paris	Février-mai	3x5 min	Sélection de 3 immeubles à air conditionné et 3 immeubles ventilés naturellement	Impacteur Andersen Mise en culture	10 bureaux / immeuble	<table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>369+/-204 UFC/m³</td> </tr> <tr> <td>VN</td> <td>2</td> <td>372+/-239UFC/m³</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td>263+/-193UFC/m³</td> </tr> <tr> <td><i>Flore totale</i></td> <td>1</td> <td>409+/-191UFC/m³</td> </tr> <tr> <td>AC</td> <td>2</td> <td>233+/-113UFC/m³</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td>189+/-119UFC/m³</td> </tr> </table>		1	369+/-204 UFC/m ³	VN	2	372+/-239UFC/m ³		3	263+/-193UFC/m ³	<i>Flore totale</i>	1	409+/-191UFC/m ³	AC	2	233+/-113UFC/m ³		3	189+/-119UFC/m ³
	1	369+/-204 UFC/m ³																								
VN	2	372+/-239UFC/m ³																								
	3	263+/-193UFC/m ³																								
<i>Flore totale</i>	1	409+/-191UFC/m ³																								
AC	2	233+/-113UFC/m ³																								
	3	189+/-119UFC/m ³																								
Flore totale <i>Staph. aureus</i>	Vincent (1997)	Paris	?	?	Sélection de 3 immeubles à air conditionné	Impacteur Andersen Mise en culture	136	<i>Flore totale</i> VN : 458.7+/-274.4UFC/m ³ HVAC : 465.5+/-208.3 UFC/m ³ FCU : 260.4+/-260.4 UFC/m ³ <i>Staph. Aureus</i> VN : 0.48+/-1.09 CFU/m ³ HVAC : 0.61+/-1.04 UFC/m ³ FCU : 0.62+/-0.95 UFC/m ³																		
Flore totale	Bholah (2002)	Ile Maurice	?	?	Selection de 23 immeubles	Impacteur Mise en culture		Entre 3 et 110 UFC/m ³																		
Flore totale	Ginestet (2003)	Lyon et Paris	1 an	?	Sélection d'1 immeuble à Lyon et d'1 à Paris	Impacteur Mise en culture	4 bureaux à Lyon, 3 à Paris	Lyon : entre 50 et 300 UFC/m ³ Paris : entre 50 et 600 UFC/m ³																		
Flore totale	Bouillard (2005)	Luxembourg	juin	Air : 180L Poussière : 5 min Surface : 25 cm ²	Sélection de 6 immeubles	Impacteur puis mise en culture ou boîte contact puis mise en culture	20 bureaux air n=25 surfaces n=97 poussière n=15	501 souches de bactéries identifiées air : 155 souches surfaces : 175 souches poussière : 171 souches																		
Flore totale	Nunes (2005)	Rio de Janeiro	4 ans	5 minutes	bureaux tirés au sort	Impacteur Andersen Mise en culture	2066	En moyenne, 300 UFC/m ³ (hétérotrophes)																		
Flore totale	Tsai (2005)	20 états des USA	4 ans	2 et 5 minutes	Sélection de 100 immeubles de bureaux	Impacteur puis mise en culture	5201	Intérieur : Gram + cocci : 29% bacilles Gram + : 23% Gram – cocci : 5% bacilles Gram - : 4% inconnus : 38%																		

Annexe 3 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives à la contamination fongique

Auteur (année)	Ville	Saison	Durée de prélèvement	Mode de recrutement / population	Méthodologie	N	Résultats
Mouillesseaux (1993)	Paris	?	variable	Immeubles climatisés	Impacteur puis mise en culture	112	15 +/- 19 UFC/m ³
Parat (1999)	Paris	1 an	3 x 6 min /jour (1/mois)	Sélection de deux immeubles différant par leur système d ventilation	Impacteur Andersen puis mise en culture	?	HVAC : 17 +/- 33 UFC/m ³ VN : 208 +/- 365 UFC/m ³
Chasseur (2002)	Bruxelles (?)	?	7 jours	Sélection de 24 immeubles	Sédimentation sur verre puis boîte contact	?	Entre percentile 50 et 75 : 12-23 UFC/m ³ (moisissures mésophiles)
Ginestet (2003)	Lyon et Paris	1 an	?	Sélection d'1 immeuble à Lyon et d'1 à Paris	Impacteur puis mise en culture	4 bureaux à Lyon et 3 à Paris	< 100 UFC/m ³
Kemp (2003)	?	?	?	2 immeubles dans des zones climatiques différentes	Impacteur Andersen puis mise en culture	?	Les champignons à l'extérieur ne sont pas les mêmes qu'à l'intérieur Il existe donc une source intérieur qui est l'occupation humaine
Lorenz (2003)	Allemagne (?)	?	3 min	Immeuble ayant subi un dégât des eaux	Impacteur ou boîtes-contact puis mise en culture Test ELISA pour les mycotoxines	?	Nombreuses espèces trouvées dans plusieurs conditions de culture Grandes concentration d'aflatoxine (35 µg/kg) Découverte de l'espèce <i>Aspergillus pseudoustus</i> dans du papier cireux situé dans le sol
Tsai (2005)	20 états des USA	4 ans	2 et 5 minutes	Sélection de 100 immeubles de bureaux	Impacteur puis mise en culture ou observation directe au microscope	2796 (2400 pour champignons et 396 pour les spores)	Spores : 274 sp/m ³ Champignons : 99 UFC/m ³

Annexe 4 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives à la contamination due aux allergènes

Auteur (année)	Ville/pays	Saison	Prélèvement	Mode de recrutement / population	Méthodologie	N	Résultats
Vincent (1997)	Paris	Automne	Poussières sol	Sélection de trois immeubles selon ventilation	ELISA	139	<p>Acariens</p> <p>VN : 14,6 ng/m²</p> <p>HVAC : 20,9 ng/m²</p> <p>FCU : 6,4 ng/m²</p> <p>Chat</p> <p>VN : 236,1 ng/m²</p> <p>HVAC : 226,1 ng/m²</p> <p>FCU : 121,8 ng/m²</p>
Freund (2002)	France	?	Poussières sol	Sélection de 27 bureaux (et 30 chambres à coucher)	ELISA	?	<p>Chambre à coucher : 18.4 µg/g poussière</p> <p>Bureau : 0.32 µg/g poussière</p>
Macher (2002)	20 états des USA	44 immeubles en hiver et 49 en été	Poussière sol	Sélection de 93 immeubles de bureaux	?	258	<p>Acariens : <i>Der f1</i> = 45 % des échantillons</p> <p><i>Der p1</i> = 51 %</p> <p>Chat : <i>Fel 1</i> = 94 %</p>
Perfetti (2004)	Italie	?	Poussières sol et sièges	Sélection de 160 lieux de travail (bureaux et archives)	ELISA	?	<p>Acariens : <i>Der p1</i> = 54 % des échantillons</p> <p><i>Der f1</i> = 55 %</p> <p>Chat : <i>Fel 1</i> = 54 %</p> <p>Blattes : <i>Bla g2</i> = 1,9 %</p>

Annexe 5 : Synthèse des principaux résultats issus des études sur la QAI dans les bureaux relatives aux particules

Paramètre	Auteur (année)	Ville/pays	Saison	Durée de prélèvement	Mode de recrutement / population	Méthodologie	N	Résultats
Particules totales	Stridh (2002)	Suède	Automne, hiver et printemps	3 à 6 jours	18 bureaux dans 3 immeubles	Prélèvement en continu pompes	18	Valeur moyenne : 16 +/- 5 µg/m ³
>10 µm 5-10 µm 1-5 µm <1 µm	Kruse (2002)	Oslo	?	?	Sélection de 6 immeubles de bureaux	Filtres en polycarbonate	32	>10 µm : 1,2.10 ⁴ 5-10 µm : 1,2.10 ⁵ 1-5 µm : 3,7.10 ⁵ <1 µm : 1,3.10 ⁸
PM _{2.5} PM ₁₀	Burton	2000	4 ans (été ou automne)	8-10 heures	Sélection de 100 immeubles de bureaux	Impacteur	588 pour PM ₁₀ 453 pour PM _{2.5}	PM ₁₀ : entre 3,0 et 35,4 µg/m ³ , Valeur moyenne : 11,4 µg/m ³ PM _{2.5} : entre 1,3 et 24,8 µg/m ³ Valeur moyenne : 7,2 µg/m ³
Particules totales (?)	Ginestet (2003)	Lyon et Paris	1 an	?	Sélection d'1 immeuble à Lyon et d'1 à Paris	?	4 bureaux à Lyon et 3 à Paris	En général, inférieur à 30 µg/m ³

Annexe 6 : Revue des émissions de COV par les matériaux dans les bâtiments de bureaux (Yu and Crump 1998)

Table 2. A summary of TVOC emission rates from some liquid and paste products

Materials	Range of emission rates ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$)	Comments
Wall and floor adhesives	271,000–220,000	Emission rates of various types of products tested, at 24 h of chamber exposure.
Carpet adhesives	99,000–76,600	Various types of adhesives tested, at 24 h of exposure.
Low VOC carpet adhesives	698–76	Emission rates at 24 h and 144 h.
Carpet adhesives	17,200–3950	Emission rates obtained at day 6 of test.
Vinyl cove adhesives	5000	Emission rates obtained at day 7 of test.
Wall primer/adhesive	6.1	Emission rates obtained at day 7 of test.
PVA, water-based textured glue	2100	Emission rates obtained at 24 h of test.
Silicone caulk	13,000–< 2000	Highest emission rates were obtained within 10 h and the emission rates declined to less than 2000, between 10–100 h of test.
PVA caulk filler	10,200	Emission rates obtained at 24 h of exposure in chamber.
Sand/cement caulk hardener (water-based)	730	
Latex caulk	637	Emission rate obtained at day 7 of test.
Neoprene/polyethylene caulk	340–16	Emission rates obtained at day 1 of test.
Plasticized pvc/polyethylene caulk	56	Emission rate taken at the 24 h of test.
Caulk putty	340	Emission taken at 24 h of test.
Acrylic latex paint	430–3.2	7 day emission rates in chamber.
Wood stain	10,000	Emission rate measured at less than 10 h of test and within 100 h.
Polyurethane wood finishes	< 100	
	9000	Emission rate measured at less than 10 h of test, emission rate at 24 h and after 3 days.
	4700	
	< 100	
Clear epoxy floor varnish	13,000	Emission rate measured at 24 h of air exposure in chamber.
Acid hardener floor varnish	830	
Plastic sealing agent	72,000	
silicone sealing agent	26,000	Emission rates measured at 24 h of test.
urethane sealant	0.13	
Carpets seam sealants	2960	Emission rate measured at 1 h of test
	249	at 24 h of test
	10	at 144 h of test.
Furniture polish	27,100	Initial emission rate,
Floor waxes	80,000	at less than 10 h and
	< 5000	within 10–100 h of test.

Table 3. A summary of VOCs identified in the head-space emission from some polymeric materials used in buildings

Materials	VOCs identified	Comments
I. Floorings		
BRE test house vinyl flooring (a tough resilient single ply material) (Ref. 13)	tridecane, tetradecane, pentadecane, hexadecane, an unknown, toluene, xylenes, naphthalene, nonanol, 2-butoxy-ethanol, 2-(2-butoxy ethoxy)-ethanol, phenol	The TVOC emission rate of the 6 months old material was about 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ which was just above the 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ theoretical threshold limit. The majority of the VOCs were below 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ except the unknown which was emitting at 2.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$. A steady rate of emission was maintained during the 15 days of chamber test.
Various types of vinyl flooring with flexible rubber foam backing (summary of BRE test data)	dodecane, tridecane, tetradecane, hexadecane: α -pinene, toluene, xylenes, 1,2,4-trimethylbenzene, 1,3,5-triethylbenzene, 1,2,3,5-tetramethylbenzene, some unknown substituted benzenes, naphthalene, 2-methylnaphthalene, butanol, octanol, 2-ethyl hexanol, nonanol, phenethyl alcohol, phenol, formaldehyde, acetaldehyde, cyclohexanone, vinyl acetate, butylacetate, TXIB	The data from the various new vinyl floorings tested indicated that vinyl floorings could be a major source of VOCs in the indoor air environment. The highest TVOC emission rate measured was 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ at the first day of chamber test which declined to 25.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ after 10 days. One exceptionally low emitting product emitted TVOC at 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ at day 3, the emission rate at day 28 was 0.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$. The steady state emission rates from all the products tested was about 65-66% of the initial rate. TXIB was a major factor in the VOC emission from the vinyl flooring.
Vinyl tiles (summary of BRE test data)	nonane, decane, undecane, dodecane, tridecane, tetradecane, dodecane, carene, toluene, xylenes, 1,2,4-trimethylbenzene, ethylbenzene, 2-ethylhexanol, octanol, phenol, 2,6-di- <i>t</i> -butyl-p-cresol, butyl acrylate, TXIB	Most of the aliphatic and aromatic hydrocarbons detected were the residual solvents that were trapped in the polymer after the various processes in the polymer and vinyl flooring production. Some of the aromatic hydrocarbons were solvents used for the dyeing processes of the materials, and some aromatic compounds are impurities contained in the solvents. Phenol and cresols are used for dye, plasticisers and polymer preparations; they may also be additives used during the preparation of the polymer. Phenol could also be a degraded product from an organo-phosphorous fire-retardant. Dodecylbenzene is used as a process solvent for the plasticisers in the manufacture of the vinyl flooring.
Vinyl floorings including calendered vinyl tiles (Refs 3, 9, 17, 20, 40, 41, 44-46)	$\text{C}_8\text{-C}_{18}$ <i>n</i> -alkanes, isododecane, 2,4-dimethyl pentane, 2,2,4-trimethylpentane, 3-methylhexane, 2,2,5-trimethylhexane, 2-methylheptane, methylcyclohexane, ethylcyclohexane, dodecene, heptadecene, α -methylstyrene, styrene, limonene, α -pinene, benzene, toluene, ethylbenzene, dimethylbenzenes, trimethylbenzenes, propylbenzenes, butylbenzene, isobutylbenzene, sec-butylbenzene, 1,3,5-triethylbenzene, pentylbenzene, dodecylbenzene, ethyltoluene, 1-isopropyl-4-methylbenzene, 5- <i>t</i> -butyl-1,3-dimethylbenzene, decylbenzene, dodecylbenzene, phenol, cresols, ethylphenols, 2-isopropylphenol, dimethylphenols, 2- <i>t</i> -butylphenol, 4-methoxy-phenol, 6- <i>t</i> -butyl-m-cresol, 2,4-di- <i>t</i> -butyl-p-cresol, 1-butanol, 2-butanol, pentanol, hexanol, cyclohexanol, 2-methyl-2-butanol, 3-methyl-1-butanol, 3-methyl-2-pentanol, 2-ethyl-hexanol, 5-ethyl-2-nonanol, 2,4-dimethyl-2-pentanol, 3,4-diethyl-hexanol, 2,2-dimethyl-1-propanol, 7-ethyl-2-methyl-4-undecanol, 1-tetradecanol, 3-phenyl-1-propanol, 2,4-pentanediol, 2-butoxy-ethanol, 1,2-propanediol, 2,2-butoxyethoxyethanol, pentanal, nonanal, 2-ethylhexanal, dodecanal, benzaldehyde, 4-methylpentanone, cyclohexanone, 2-methylcyclopentanone, 2-methyl-octanone, 2-dodecanone, benzophenone, pentanoic acid, 2-ethyl-hexanoic acid, 2-butyl-hexanoic acid, benzoic acid, ethylacetate, vinyl acetate, nonyl acetate, methylpropionate, butylpropionate, allylpropionate, allylhexanoate, 2-ethyl-hexyl acetate, TXIB, 2-ethoxyethylacetate, methylbenzoate, butyl benzoate, isopentylbenzoate, dimethylphthalate, didecylphthalate, diisobutylphthalate, diethylhexylphthalate (DEHP), benzyl-butylphthalate	Many aliphatic and aromatic compounds could be degradation products from either the polymer material or from the various kinds of additives and solvents. Vinyl chloride monomer (VCM) has not been detected in the VOC emission from the vinyl floorings. Vinyl acetate co-monomer is sometimes detected. Alcohols could also be solvents used in the preparation of the material; they can be impurities in the plasticisers or degradation products from the plasticisers. 2-ethylhexanol could have resulted from the hydrolysis of ethyl hexyl acrylate, a varnish for UV protection and from di-ethylhexylphthalate. TXIB is a plasticiser and a process solvent, phthalates are the plasticiser additives usually contained in the vinyl flooring.

Table 3.—Continued.

Materials	VOCs identified	Comments
PVC floorings (Refs 9, 20, 44)	C ₈ -C ₁₄ <i>n</i> -alkanes and isoalkanes 2,2,6-trimethyloctane, 2,2,4,6,6-pentamethylheptane, methyl cyclohexane, 1,3,5,7-octatetra-ene, tridecene, benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, ethyltoluenes, trimethylbenzenes, and some higher substituted aromatics and naphthalenes, 2-propanol, butanol, cyclohexanol, 2-ethylhexanol, 2-ethoxyethanol, 2-butoxyethanol, 2,2-butoxy ethoxyethanol, diethylene glycol, <i>n</i> -butyl ether, 2-methoxy ethylacetate, 2,2-butoxy ethoxyacetate, isobutylacetate, TXIB, formaldehyde, hexanal, pentanal	Basically, the VOC identified from the emission of the materials were mostly similar to those identified from the vinyl floorings. However, glycols, ethers and esters are more prominent in the VOC headspace emission from these materials than the flexible materials discussed previously.
Linoleum (Refs 9, 22, 36, 44–46)	3-methylpentane, cyclopropane, cyclohexane, 1,2 dimethyl cyclohexane, α -pinene, 3-carene, toluene, trimethylbenzene, xylenes, C ₃ -C ₁₁ aldehydes (including unsaturated aldehydes: 2-pentenal, 2-decenal, and 2-undecenal), benzaldehydes, acetone, ethylmethylketone, C ₂ -C ₈ aliphatic carboxylic acids, fatty acids, butylformate, 2-methyl propanoate, 2-pentylfuran	Linoleum contains linseed oil, wood flour, cork dust and chalk. Oxidation of the linseed oil would give rise to a mixture of aldehydes and carboxylic acids. At higher temperatures, higher concentrations of carboxylic acids were measured.
Rubber flooring (Ref: 5, 17, 44, 46–48)	hexane, 2-methylhexane, 3-methylhexane, 2-methyl octane, 3-methyl octane, nonane, decane, undecane, methyl cyclohexane, 1-methyl-4-methylethyl-cyclohexane, heptene, indene, isododecene, 4 vinyl-1-cyclohexene, styrene, α -methylstyrene, benzene, toluene, ethylbenzene, methyl propylbenzene, 1,3-diisopropyl benzene, 1,4-diisopropylbenzene formaldehyde, acetone, acetophenone	The VOCs emitted from the rubber flooring were similar to those found from the emission of carpet underlay. The alkenes were probably the alkene monomers or the products from the monomer reactions; some could be impurities. Styrenes were also the monomers of SBR rubber; the ethylbenzene and other alkylbenzenes were probably impurities contained in the styrene monomer system.
BRE test house carpets (Ref. 13)	Nonane, decane, dodecane, tridecane, hexadecane, decene, terpinene (C ₁₀ H ₁₆), indene, toluene, xylenes, 1,2,4-trimethylbenzene, diethylbenzene, hexylbenzene, octanol, phenol, nonanal, benzaldehyde, methyl furfural, TXIB.	The TVOC emission rate of the 6 months old carpet was about 48 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ which is greater than the 30 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ threshold limit. The majority of the VOCs measured were below 2 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$, except decane (3 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$), diethylbenzene (2.2 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$), nonanal (3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$), tridecane (3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$) and TXIB (2.2 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$). A steady constant emission rate was maintained during the 14 days of test.
BRE test house carpet underlays (Ref. 13)	decane, tridecane, tetradecane, pentadecane, hexadecane, decene, terpinene, 4-phenyl cyclohexene, xylenes, diethylbenzene, decanal, geraniol, Texanols, geranyl propionate, TXIB, 2-methyl naphthalene, 1-methylnaphthalene	The underlays have a higher emission rate than the carpet at 54 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$. The VOCs emitted at emission rates greater than 2 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ were: TXIB (6.7 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$) Texanols (3.5 and 5.7 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$) decanal (2.3 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$) geraniol (2.1 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$) decane (2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$)
Carpet tiles (summary of BRE test data)	nonane, decane, undecane, dodecane, tridecane, tetradecane, pentadecane, hexadecane, α -pinene, styrene, C ₁₂ H ₁₄ (4-phenyl cyclohexene), toluene, xylenes, 1,3,5-trimethylbenzene, octanol, 2-ethylhexanol, nonanol, formaldehyde, acetaldehyde, trichloroethylene, TXIB	The TVOC emission rate from the tiles at day 3 was 271.6 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ and 217.9 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ at day 30. The emission rates from the new retailed material was generally high. Most of the VOCs emitted were above 2 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$. Acetaldehyde, formaldehyde, trichloroethylene, octanol, undecane and 2-ethylhexanol were the high emitters (42.5, 28.2, 21.0, 16.4, 14.9 and 12.2 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ respectively). Nonane, decane, dodecane and tetradecane were within 4–9.5 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ emission rates. 4-phenylcyclohexene was the dominant compound.

Table 3.—Continued.

Materials	VOCs identified	Comments
Nylon carpets (Refs 9, 17, 36, 44, 48)	2-methylbutane, pentane, hexane, 2-methylhexane, 3-methylhexane, heptane, octane, undecane, tetradecane, pentadecane isodecene, limonene, styrene, 4-phenylcyclohexene, benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, 1,3-diisopropylbenzene, 1,4-diisopropylbenzene, 2-phenyloctane, 5-phenyloctane, butanol, 2-ethylhexanol, 2,6-di- <i>t</i> -butyl- <i>p</i> -cresol, formaldehyde, 2-nonenal, hexanal, acetone, TX1B, dimethylphthalate, 1,2-dichlorobenzene	The majority of the VOCs emitted from carpets are aliphatic and aromatic hydrocarbons, alcohols, phenols, aldehydes and acetones. The compounds found in the highest concentrations were styrene, toluene, xylenes and ethylbenzene, the alkanes, 4-phenylcyclohexene, 4-vinylcyclohexene, and some amines and small amounts of sulphur-containing compounds and according to Schröder [50], most of the emitted VOCs were from the backing and finishing materials of the carpet.
Polyester carpets (Ref: 9, 17, 36, 44, 48)	tetradecane, pentadecane, heptadecane, octadecane, furan, pyridines, pristane, phytane, benzophenone, dibutylphthalate, TX1B	
SBR latex backed carpets (Refs 9, 17, 19, 36, 44, 48–50)	C ₅ -C ₁₃ <i>n</i> -alkane; 4,5-diethylnonane, 2,2,4,6,6-pentamethylheptane, 2-methylpropene, α -pinene, limonene, 4-vinyl cyclohexene, 2,2,4,6,6-pentamethyl-3-heptene, 2,2,6,6-tetramethyl-4-methylidene-heptane, styrene, ethenylbenzene, 4-phenylcyclohexene, benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, 1-ethyl-2-methylbenzene, trimethylbenzene, propylbenzene, naphthalene, formaldehyde, acetone, 2-butanone, cyclohexanone, isopropanol, phenol, cresols, 2,6-di- <i>t</i> -butyl-4-cresols, trichloroethylene, benzyl chloride, dichlorobenzene, diphenylamine, 1,2-dihydro-2,2,4-trimethylchinoline, dimethylchinoline, diethylamine, benzothiazole	Styrene monomer from styrene-butadiene rubber backing has a major influence in the VOC emission components identified, 4-phenylcyclohexene was formed from the Diels-Alder reaction of the two monomers, butadiene and styrene which gave rise to the typical smell of the carpet. The alkylbenzenes were the impurities of the styrene monomer and the reactions of the butadienes and other vinyl co-monomers could give rise to 4-vinylcyclohexene. 2,2,4,6,6-pentamethyl-3-heptene and 2,2,6,6-tetra methyl-4-methylidene-heptane were from the decomposition of dodecyl mercaptans which was an additive to regulate this vulcanisation process. The 2,6-di- <i>t</i> -butyl-4-cresol was an ageing retardant. The amines were also ageing retardants, some of the amines could have resulted from the degradation of dithiocarbamates—a vulcanisation accelerator.
PU backed carpets (Refs 9, 19)	Substituted chloro-benzenes (e.g. 1,3-dichlorobenzene, 1,4-dichlorobenzene, 1,2,4-trichlorobenzene)	
PVC backed carpets (Ref. 9)	Alcohols: heptanol, nonanol, 2-ethyl-hexanol, phthalate esters: bis (2-ethyl-hexyl)phthalate, dimethylphthalate, dibutylphthalates	The alcohols from the PVC backed carpet could have resulted from the hydrolysis of the phthalate plasticisers.
2. Walls and Ceilings		
Plastic pannellings (including PVC, polystyrene, urea-formaldehyde and melamine resins) (Refs 8, 17, 51)	Aliphatic hydrocarbons (C ₅ -C ₁₄), aromatic hydrocarbons (toluene, styrene, xylenes, ethylbenzene, trimethylbenzenes, dodecylbenzene) chlorinated hydrocarbons (heptachlor and chlorobenzene) and CFCs; alcohols (butanol, 2-ethylhexanol) ketones (acetone, cyclohexanone) aldehydes (formaldehyde), phenol and cresols, amines (aniline, N-methyl-2-pyrrolidine, benzothiazole) 2-ethylhexanoic acid	The aliphatic and aromatic hydrocarbons were typically the solvent residues from the manufacturing processes that were left trapped in the polymer. Heptachlor was a pesticide added in the polymer to prevent mould growth. Small amounts of CFC blowing agents were also detected.

Table 3.—Continued.

Materials	VOCs identified	Comments
Vinyl wall covering (Refs 8, 16-18)	C ₉ -C ₁₁ methyl and ethyl derivatives of C ₉ -C ₁₁ alkanes, 2,2,4,6,6-penta-methylheptane, toluene, trimethylbenzenes, tetramethyl-benzenes, methyl-ethylbenzene, butanol, 2-ethylhexanol, formaldehyde, acetaldehyde, heptanal, acetone, butanone, pentanone, cyclohexanone, 2-butanone, ethylacetate, butylacetate, bis-(2-ethyl hexyl) phthalate, diisobutyl phthalate, butyl benzyl-phthalate, vinyl chloride, benzylchloride, benzal chloride	2,2,4,6,6-penta methylheptane is a fluidiser added during the manufacturing processes to replace the more volatile white spirit for three types of products: flat vinyl, pre-cast vinyl and cotton bonded vinyl. The phthalate esters are typically used as plasticiser for PVC material. 2-ethylhexanol is a hydrolysed product of a phthalate ester. Benzylchloride and benzal chloride are plasticiser contaminants. Insignificant traces of vinyl chloride monomer was also reported.
Polystyrene foam insulants (from BRE test houses and other EPS and XPS boards) (Ref. 13)	CFCs and HCFCs, toluene, ethylbenzene, styrene	CFC and HCFC blowing agents were the main components in the VOC emission from these plastic thermal insulating foams. Styrene monomer was dominant initially (about 0.15 mg/m ³ /h) during the first week of test from the polystyrene boards. Ethylbenzene was perhaps a contaminant.
Polyurethane foam insulating boards (Ref. 21)	CFCs and HCFCs, dichloroethane, toluene, xylenes	The emission of toluene and xylenes from PUR products were low and sometimes not detected.

Table 4. Binders used in surface coatings [57]

Name	Composition	Application
<i>Natural</i>		
Oil e.g. linseed, soya or tung	complex fatty acids	Basis of traditional paints
Resins e.g. rosin or copal	mixtures of complex acids	Combined with oils to produce varnishes
<i>Synthetic</i>		
Acrylic	e.g. polymethyl methacrylate	Water-borne decorative coatings
Alkyd	polyester-oil complex	Main binder in solvent-borne decorative coatings
Amino	e.g. urea-formaldehyde	Industrial coatings
Cellulose ester	e.g. nitrocellulose	Industrial coatings
Epoxy	diglycidyl ethers of epichlorhydrin	Industrial and some specialised site coatings
Phenolic	e.g. phenol-formaldehyde	Industrial coatings
Polyurethane	complex isocyanates	Industrial and some specialised site coatings
Rubber	e.g. chlorinated rubber	Specialised decorative coatings
Silicate	'mineral' binder, complex silica-carbonate	Specialised decorative coatings
Vinyl	e.g. polyvinyl acetate	Water-borne decorative coatings

**Annexe 7 : Association entre l'environnement psychosocial au travail et les plaintes
des employés de bureaux vis-à-vis de la QAI (n = 11 154) (Lahtinen, Sundman-
Digert *et al.* 2004)**

	Work interesting often %	Work interesting seldom/never %	p	Too much work often %	Too much work seldom/ never %	p	Possibility to influence often %	Possibility to influence seldom/ never %	p	Help from the others often %	Help from the others seldom/never %	p
Draught												
Every week	21	30		22	21		16	30		22	26	
No, never	36	27	0.001	36	37	0.003	43	26	0.001	34	32	0.025
Temperature too high												
Every week	18	21		18	14		14	23		17	18	
No, never	34	35	NS	34	39	0.001	39	29	0.001	34	37	NS
Temperature varies												
Every week	15	23		18	13		13	23		16	18	
No, never	32	27	0.001	30	35	0.001	37	25	0.001	31	32	NS
Temperature too low												
Every week	13	20		13	12		10	17		13	14	
No, never	36	33	0.001	36	40	0.002	42	31	0.001	36	35	NS
Stuffy air												
Every week	34	41		38	30		26	44		34	37	
No, never	24	16	0.001	23	26	0.001	32	16	0.001	24	24	NS
Dry air												
Every week	35	44		40	30		28	43		35	37	
No, never	26	19	0.001	24	31	0.001	34	19	0.001	26	25	NS
Unpleasant odour												
Every week	16	25		19	14		12	23		16	23	
No, never	39	30	0.001	37	41	0.001	46	28	0.001	38	35	0.001
Static electricity												
Every week	7	11		8	6		5	10		8	9	
No, never	63	57	0.002	61	69	0.001	68	55	0.001	62	56	0.047
Passive smoking												
Every week	3	6		5	2		3	5		3	7	
No, never	81	79	NS	79	84	0.001	83	78	0.001	82	76	0.001
Noise												
Every week	16	30		21	13		12	26		17	20	
No, never	45	30	0.001	40	50	0.001	54	30	0.001	44	39	0.001
Illumination problems												
Every week	13	24		17	10		9	22		13	18	
No, never	50	39	0.001	44	57	0.001	60	36	0.001	50	43	0.001
Dust or dirt												
Every week	24	42		30	21		19	37		25	30	
No, never	35	21	0.001	38	41	0.001	42	24	0.001	35	28	0.001

**Annexe 8 : Enquête envoyée aux MIRTMO et aux Consultations de Pathologies
Professionnelles dans chaque région.**

**Questionnaire d'enquête relatif aux plaintes dues à la
qualité de l'air intérieur dans les bureaux**

Nom, Prénom : _____
 Téléphone : _____
 Mail : _____
 Fonction : _____
 Région : _____

- Avez-vous déjà eu connaissance de symptômes liés à la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments à usage tertiaire ?
 Oui
 Non

- Si oui, quels étaient-ils et quels sont les plus fréquents ? (mettre une croix dans les cases correspondantes)

	Symptôme rencontré	Les 3 plus fréquents
Signes « neurologiques »		
Fatigue		
Céphalées		
Perte de mémoire		
Difficultés à se concentrer		
Sensations d'étourdissement		
Autres (précisez) :		
Irritations des muqueuses		
Gorge sèche		
Nez sec avec obstruction ou écoulements		
Irritations ou écoulements oculaires		
Gêne au port de lentilles		
Autres (précisez) :		
Signes respiratoires		
Gêne respiratoire		
Asthme		
Toux		
Sifflements		
Autres (précisez) :		
Signes cutanés		
Prurit, rougeurs		
Sécheresse de la peau		
Autres (précisez) :		

	Symptôme rencontré	Les 3 plus fréquents
Signes sensoriels		
Sensations d'éblouissements		
Modification de la perception des odeurs		
Nausées		
Goût étrange dans la bouche		
Autres (précisez) :		
Autres symptômes		
Allergies		
Autres (précisez) :		

- En moyenne, par an, combien estimez-vous de patients atteints de ces pathologies ? _____
- Selon vous, quel pourcentage cela représente-t-il par rapport aux autres pathologies professionnelles du personnel travaillant dans un bureau ? _____
- Combien de fois par an, en moyenne, vous arrive-t-il d'être confronté à ce type de problèmes ? _____
- Une enquête est-t-elle en général réalisée ?
Oui
Non
- Des causes ont-elles pu être dégagées ?
Oui
Non
- Si oui, quelles sont les principales causes identifiées ?

- Existe-t-il un système de surveillance de ces pathologies ?
Oui
Non
- Si oui, comment est-il organisé ?

Etes-vous intéressé pour être associé aux travaux de l'OQAI sur le programme « Bureaux » ?

Oui

Non

Nous vous renouvelons nos remerciements pour le temps que vous avez consacré à l'enquête et sommes disponibles pour toute information complémentaire.

Nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos sentiments les plus respectueux.

Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur
CSTB

à l'attention de Clémence de Baudouin
84 avenue Jean Jaurès – Champs sur Marne
77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

mail : clemence.debaudouin@estb.fr

tél : 01 64 68 84 57

fax : 01 64 68 88 23

**Annexe 9 : Liste des Consultations de Pathologies Professionnelles et des MIRTMO
à qui l'enquête a été envoyée**

Contact	Ont répondu
Mme le Dr Doutrelot-Philippon Consultation de Pathologie Professionnelle CHRU-Hôpital Sud avenue René Laënnec-Salouel 80054 AMIENS Cedex 1	
Mme le Dr Penneau-Fontbonne Service de médecine E CHU - 1 avenue Hôtel Dieu 49033 ANGERS Cedex 1	
PR Brochard Consultation de Pathologie Professionnelle Groupe Hospitalier Pellegrin Bât PQR Place Amélie Raba-Léon 33076 BORDEAUX Cedex	
Pr Dewitte Service de Médecine du Travail et de Pathologies Professionnelles CHU Mrvan 5 avenue Foch 29609 BREST cedex	
Pr Letourneux Service de Pathologie Professionnelle et médecine du travail niveau 1 / CHU avenue de la Côte de Nacre 14033 CAEN Cedex	
Pr Catalina Consultation de Pathologie Professionnelle CHU-Faculté de Médecine 28 place Henri-Dunant 63001 CLERMONT-FERRAND Cedex	
Pr Smolik Institut de médecine du Travail 7 Bd Jeanne d'Arc 21000 DIJON	
Pr de Gaudemaris Consultation de Pathologie Professionnelle Hôpital A. Michalon BP 217 38043 GRENOBLE Cedex 09	
Dr Paris Consultation de Pathologie Professionnelle CHU Hôpital J. Monod BP 24 76083 LE HAVRE Cedex	
Pr Frimat CHRU - Service de Pathologie Professionnelle et Environnement 1 avenue Oscar Lambret 59037 LILLE Cedex	

Dr Dumont Consultation de Pathologie Professionnelle Hôpital du Cluzeau CHU Dupuytren 23 avenue D. Larrey 87042 LIMOGES Cedex	
Pr Prost Consultation de Pathologie Professionnelle CH Lyon Sud Pavillon 2C Chemin du Grand Revoyet 69310 PPIERRE BENITE Cedex	
Mme le Dr Lehucher-Michel Consultation de Pathologie Professionnelle Faculté de la Timone 27 Bd J. Moulin 13385 MARSEILLE Cedex 05	
Pr Lorient Consultation de Pathologie Professionnelle Hôpital La Colombière 1146 avenue du Père Soulas 34295 MONTPELLIER Cedex 05	
Pr Petiet Consultation de Pathologie Professionnelle Hôpital Fournier - 1er étage Quai de la Bataille 54000 NANCY	
Dr Deschamps Hôpital Maison Blanche 45 rue Cognac Jay 51092 REIMS Cedex	
Pr Curtes Consultation de Pathologie Professionnelle Hôtel Dieu 2 rue de l'Hôtel Dieu 35000 Rennes	
Dr Paris Consultation de Pathologie Professionnelle Hôpital Charles Nicolle 1 rue de Germont 76031 ROUEN Cedex	
Pr Cabal Consultation de Pathologie Professionnelle Hôpital Bellevue Pavillon 31 Bd Pasteur 42055 SAINT ETIENNE Cedex 2	
Pr Cantineau Consultation de Pathologie Professionnelle Hôpitaux universitaires 1 Place de l'Hôpital 67000 STRASBOURG	

Dr Soulat Consultation de Pathologie Professionnelle CHU Purpan Place Baylac 31059 TOULOUSE Cedex	
Pr Lasfargues Consultation de Pathologie Professionnelle Hôpital Bretonneau 2 Bd Tonnelé 37000 TOURS	
Pr Gerault Consultation de Pathologie Professionnelle Hôtel Dieu 1 place A. Ricordeau 44093 NANTES Cedex 01	
Pr Conso Consultation de Pathologie Professionnelle Hôpital Cochin 27 rue du Faubourg Saint Jacques 75679 PARIS Cedex 14	
Dr Garnier Consultation de Pathologie Professionnelle Hôpital Fernand Widal 200 rue du faubourg Saint Denis 75010 PARIS	
Dr Léger Consultation de Pathologie Professionnelle Hôtel Dieu 1 Place du Parvis Notre Dame 75181 PARIS Cedex 04	
Pr Domont Consultation de Pathologie Professionnelle HEPG Service du Pr Andrieux 20 rue Leblanc 75908 PARIS Cedex 15	
Pr Ameille Consultation de Pathologie Professionnelle Hôpital Raymond Poincaré 104 Bd Raymond Poincaré 92280 GARCHES	
Pr Pairon CHI 40 avenue de Verdun 94010 CRETEIL Cedex	
Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO 6 rue du Jeu des Enfants 67082 STRASBOURG Cedex	

<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO Dr Dalm Immeuble "Le Prisme" 11-19 rue Marguerite Crauste 33074 BORDEAUX Cedex</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle Inspection Médicale du Travail et de la Main d'Oeuvre A l'attention du MIRTMO 65 Bd F. Mitterand BP 414 63011 CLERMONT FERRAND Cedex 01</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO Tour Mercure 13 avenue Albert 1er BP 410 21011 DIJON Cedex</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO 15 rue Dupont des Loges, BP 3147 35031 RENNES Cedex</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO Dr Albouy 12 rue de Maison Rouge 45140 ST JEAN DE LA RUELLE</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO 60 avenue D. Simonnot 51038 CHALON EN CHAMPAGNE Cedex</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO 48 avenue Clémenceau, BP 1115 25002 BESANCON Cedex</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO 66 rue de Mouzaïa 75931 PARIS Cedex 19</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO DR C. Schucht 3 place Paul Bec Les Echelles de la Ville - Antigone 34000 MONTPELLIER</p>	Inexploitable
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO 2 allée St Alexis, BP 13203 87032 LIMOGES Cedex</p>	

<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO 10 rue Mazagran, BP 676 54063 NANCY Cedex</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle Inspection Médicale du travail et de la Main d'Oeuvre 2 esplanade Compans Caffarelli, BP 62 31902 TOULOUSE Cedex</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO Dr Brillat Les Arcades de Flandre 70 rue St Sauveur, BP 456 59021 LILLE Cedex</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO 3 place St Clair, BP 70034 14202 HEROUVILLE ST CLAIR Cedex</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO 14 av A. Briand 76108 ROUEN Cedex</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO Dr Dubré 26 Bd Vincent Gâche, BP 46339 44263 NANTES Cedex 02</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle Inspection médicale du travail et de la main d'œuvre P. Faillie 40 rue de la Vallée 80042 AMIENS Cedex 1</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO 47 rue de la Cathédrale 86035 POITIERS Cedex</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO 180 av du Prado 13285 MARSEILLE Cedex 08</p>	
<p>Direction Régionale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle A l'attention du MIRTMO Dr Magaud-Camus Tour Suisse 1 Bd Vivier-Merle 69443 LYON Cedex 03</p>	

Annexe 10 : Check-list destinée à être remplie par les techniciens enquêteurs lors du programme d'étude de l'OQAI dans les bâtiments de bureaux

General Building Information

Identification

Building:

Address:

Investigator:

Date:

Orientation of the building (sketch the basic building plan):

DESCRIPTION OF BUILDING

Criteria key: AQ = Air Quality; Ac = Acoustics; E = Energy; T = thermal comfort; L = lighting; H = health general

Principal relevant performance criterion	Checklist item (with TOBUS reference link where available)		Options / Scales
	What is the ownership / tenancy status?		Owned by occupant company Rented by occupant company Rented by multiple occupant companies (of which survey area covers just one) Rented by multiple occupant companies (of which survey area covers more than one)
AQ	Where is the building situated? (01-01)		Industrial area Mixed industrial / residential area Commercial area Mixed commercial / residential area City centre, densely packed housing Town, with no or small gardens Suburban, with larger gardens Village in a rural area Rural area with no or few other homes nearby
AQ	Are there any nearby potential sources of outdoor air pollution that might influence the indoor environment?		None Car parking close to the building Attached garage Direct access from basement or roof car park Busy road Power plant for the building Other power plant Industry Cooling towers Built on a landfill site Waste management site (e.g. tip or dump) Agricultural sources Other
Ac	Are there any nearby noise sources outside the building that might influence the indoor environment?	Tick all that apply	None Car parking close to the building

			Busy road Railway or station Air traffic Sea, river or canal traffic Building, construction etc Sports events Other entertainment or leisure Factories or works Other commercial premises Forestry, farming etc Community buildings (halls, churches, etc) Other (specify)
H	Shortest distance to potential electromagnetic or "electric noise" source		Source Horizontal (m) Vertical (m) Pylon Mobile phone network antenna Radio or television transmitter Other
	Year building was completed	Year of construction if purpose-built or year of construction of original building before conversion	Year
	If conversion, year conversion was completed		Year [] No conversion []
	Year building was refurbished (if applicable)	Refurbished does not include new furniture. Estimate if necessary	Year [] Not refurbished []
AQ E	Have there been any modifications in the last year of: Floor Structure Insulation Wall Ceiling lining Heating system Ventilation system Windows	If yes, estimate % of building affected.	No Yes % No Yes % No Yes % No Yes % No Yes % No Yes % No Yes %
E	Number of storeys (occupied) above ground		Number
E	Number of storeys (unoccupied) above ground		Number
E	Number of storeys (occupied) below ground		Number
E	Number of storeys (unoccupied) below ground		Number
E	Ceiling height (floor to ceiling)	Give average height if different	In m
E	What is the structure of the roof?		Massive structure

			Lightweight structure Mixture of massive and lightweight External insulation thickness mm Cavity insulation thickness mm Internal insulation thickness mm U-value of roof (if known):																																																			
E	Total treated floor area Smallest treated floor area on a storey Largest treated floor area on a storey		In m ² In m ² In m ²																																																			
E	Total number of offices	Count open plan area as one office	Number																																																			
E	Total number of occupants in building	Maximum occupancy, and the number present on a typical working day, not the number employed by the occupying organisation(s).	Maximum number: Typical number:																																																			
T	What solar shading devices are present? (18-01)	Tick all that apply	<table border="0"> <tr> <td>None []</td> <td>South side Only</td> <td>One or more other facades</td> </tr> <tr> <td>External vertical blinds</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>External shutters</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>External roller shutters</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>External louvres</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>External screens</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>External window films</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>External horizontal blinds</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>External awnings / canopies</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>External overhangs</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>External vertical fins</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>Blind between glazing</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>Internal vertical blinds</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>Internal louvres</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>Atrium</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Double facade</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> <tr> <td>Other (specify)</td> <td>[]</td> <td>[]</td> </tr> </table>	None []	South side Only	One or more other facades	External vertical blinds	[]	[]	External shutters	[]	[]	External roller shutters	[]	[]	External louvres	[]	[]	External screens	[]	[]	External window films	[]	[]	External horizontal blinds	[]	[]	External awnings / canopies	[]	[]	External overhangs	[]	[]	External vertical fins	[]	[]	Blind between glazing	[]	[]	Internal vertical blinds	[]	[]	Internal louvres	[]	[]	Atrium			Double facade	[]	[]	Other (specify)	[]	[]
None []	South side Only	One or more other facades																																																				
External vertical blinds	[]	[]																																																				
External shutters	[]	[]																																																				
External roller shutters	[]	[]																																																				
External louvres	[]	[]																																																				
External screens	[]	[]																																																				
External window films	[]	[]																																																				
External horizontal blinds	[]	[]																																																				
External awnings / canopies	[]	[]																																																				
External overhangs	[]	[]																																																				
External vertical fins	[]	[]																																																				
Blind between glazing	[]	[]																																																				
Internal vertical blinds	[]	[]																																																				
Internal louvres	[]	[]																																																				
Atrium																																																						
Double facade	[]	[]																																																				
Other (specify)	[]	[]																																																				
T	How are the solar shading devices controlled? (19-01)		No control (fixed)																																																			

			Individual Central down, individual up Automatic
E	Type of glazing generally in the building	Give short description e.g. "double clear glazing with low-e coating and Argon filling" or "double glazing with the internal pane tinted gray"	Type of glazing: U-value W/m ² K) (if known): G-value % (if known): Visual transmission % (if known): % of building with this glazing:
E	Construction of the external walls (02-01, 03-01)	Tick all that apply	Single skin Double skin Mixture of single and double Massive structure Lightweight structure Mixture of massive and lightweight External insulation thickness mm [] on all walls [] on some walls Cavity insulation thickness mm [] on all walls [] on some walls Internal insulation thickness mm [] on all walls [] on some walls U value: Internal mass:
AQ	Has there been any major water leakage or flooding in the last year?	Ask facilities manager	No Yes – if so, where from? Roof Window Façade Basement Water storage tanks Water pipes Other (give details)

AQ	What is the main type of floor covering in the office? (06-01)	Floors in offices themselves, not corridors or other communal areas.	Carpet Wood Synthetic smooth floor covering Exposed concrete Stone / ceramic Other
AQ	What is the main type of wall covering? (05-01)	Walls in offices themselves, not corridors or other communal areas.	Wallpaper Enamel / gloss paint Dispersion / emulsion paint Wood / sealed cork Porous fabrics including textiles Stone / tile Exposed concrete / plaster Other
AQ	Are there any partitions within the offices? (04-01)	Is yes, what are they made of?	No Yes: Fabric Particleboard Metal Plastics Wood / wood laminate Other
T	What are the window frames constructed from?		Metal Wood PVC Aluminium Combination
AQ	What does the main ceiling surface consist of? (07-01)	Ceilings in offices themselves, not corridors or other communal areas.	Exposed concrete / plaster Paint Synthetic material Mineral fibre tiles Wood fibre tiles Wood Other
AQ	Is there a suspended ceiling? (07-04)		Yes No
AQ	Is there visible mould growth in the office?		Yes

relevant performance criterion	(with TOBUS reference link where available)		
LIGHTING: ALL BUILDINGS			
L	What is the location of the artificial lighting?	Indicate all types applicable	Ceiling Walls Uplighters Individual lighting for occupants low level/floor lighting Other
L	Contrast of window frames		Light coloured window frames with light coloured wall Light coloured window frames with darkcoloured wall Dark coloured window frames with light coloured walls Dark coloured window frames with dark coloured walls
L	What kind of artificial lighting? (50-01)	Indicate main type	Fluorescent Compact fluorescent Incandescent Halogen Other
L	How are main lights (e.g. ceiling or wall) controlled? (51-1)	Tick all that apply	Automatic by time (building / floor / zone) Automatic with manual end control (building / floor / zone) Demand control : Daylight (photocells) Occupants (motion sensors) Manual (Multi-code)
L E	Has anything been done to optimise the use of daylight in this building?		No Yes: (tick all that apply) Internal light shelves External light shelves External light scoops Light pipes (with or without heliostat)

			Fixed louvres Horizontal blinds Reflecting blinds Mirrors (including mirrored louvres and light shelves) Holographic film Prismatic film Prismatic glazing Interior painted white Clear glazing High windows (adjacent to ceiling) Light coloured window frame 'Sky lights' in bay windows Movable solar protection No fixed solar protections Automatic control of artificial lighting
	HEATING AND COOLING: ALL BUILDINGS		
E	What kind of heating is present?	Tick all that apply	Heating only Heating + domestic hot water Heating from a central heat plant
E	What kind of fuel is used for space heating production?		Gas Oil Solid fuel Other
E	What is the cooling production plant? (27-01)	Tick all that apply	No cooling Heat exchanger on ground river or lake water Package air cooled chiller Water cooled chiller + cooling tower Water cooled chiller + dry cooler Heat pump (heating + cooling) Absorption type chiller + cooling tower Other
E	What is the type of heating and cooling distribution network? (28-01)		Two pipe system Three pipe system Four pipe system Refrigerant distribution system
T	What are the heating and cooling terminal units? (29-01)		Hot water radiators or convectors

			Electrical radiators or convectors Two pipe fan coil units Four pipe or 2 pipe/wire fan coil units Induction units Heating or cooling floor Heating or cooling ceiling Individual heat pumps or water loop Window units Split system Air conditioning cabinets Direct electric heaters Heated walls Other
T	How is the room temperature controlled? (37-01)	Tick all that apply	Manual radiator valve Local thermostat at radiator / heating unit Local thermostat (e.g. on wall) Central sensor Façade sensor(s) – i.e. outside temperature Zone sensor(s) Manual control in room(s) According to occupancy Other (Multi-code)
E	How many hours per week is the building occupied (at normal occupancy levels)?		h
E	How many hours per week is the system running at levels designed for normal occupancy?		h
E	Are heaters located below windows to prevent draught in winter?		Yes* Unnecessary-high performance glazing* No *Skip next question
E	Are there any large glass surfaces without thermal conditioning?	Glazing on external walls	No Yes If yes, give: height m width m Or estimate glass area m ²
T	What is the temperature set point and deadband range in summer?		Not controlled by the system [] Set point: °C

			Range: Min °C to Max °C
T	What is the temperature set point and deadband range in winter?		Not controlled by the system [] Set point: °C Range: Min °C to Max °C
T	What is the relative humidity set point and deadband range in the summer?		Not applicable Set point: % Range: Min % to Max %
T	What is the relative humidity set point and deadband range in the winter?		Not applicable Set point: % Range: Min % to Max %
HOT WATER: ALL BUILDINGS			
E	Sanitary hot water production (39-01)		Same production plant as space heating Centralised hot water production Local electric water heater Centralised solar Other
E	What type of hot water circulation system is operated?		No hot water circulation Circulation in uninsulated pipes Circulation in insulated pipes Circulation in electrically heated pipes Circulation schedule: from : to :
E	What type of sanitary water distribution system is operated? (41-01)		Primary distribution network (hot & cold water) Primary distribution network (cold water only) Secondary distribution network (hot & cold water) Secondary distribution network (cold water only)
H	What temperature is hot water stored at?		°C Not applicable
H	What temperature is hot water delivered at?		°C
H	Is there a documented procedure for managing the risk of Legionella in the water supply?		Yes No
VENTILATION: ALL BUILDINGS			
T	Are the windows openable?		Yes Yes, some (estimate % office area with openable windows) Yes, but occupants are not allowed to open them No

T	How is the building ventilated?		Openable windows Other natural ventilation (e.g. passive stack) Mechanical ventilation Hybrid / mixed mode
T	In naturally ventilated, or exhaust-only ventilated buildings, are there air transfer openings between rooms?	E.g. between thresholds and internal doors	Yes Varies No
MECHANICAL VENTILATION: COMPLETE IF APPLICABLE			
E	Type of mechanical ventilation		Exhaust system only - toilets/other polluted rooms only - also other rooms Supply system only Balanced system with VAV Balanced system with dual ducts Balanced system with induction units Other
E	What type of control system is there for mechanical ventilation? (38-01)		Central – manual (on/off) Central – clock Central – demand control (temperature, CO ₂ , other pollutant, relative humidity) Local – manual (on/off) Local – clock Local – demand control (temperature, CO ₂ , other pollutant, relative humidity) Recirculation control (Multi-code)
E	Air handling unit (30-01)		100% fresh air AHU AHU with recirculating air AHU with recirculating fan, free cooling system AHU for dual duct system and recirculating air Other (Multi-code)
E	Heating / cooling in AHU		Heating Yes [] No [] Cooling Yes [] No []
T	Humidification (31-01)		None Spray Evaporative

			Steam Ultrasonic Infrasonic Other
H	Water purification		None Ozone Biocidal High voltage UV Other
H	Is the system equipped with water droplet eliminators?		Yes No
H	Is the system designed and maintained to collect and drain condensed water from cooling coils adequately?	Look for drainage panels, clear drainage holes, signs of overflow or spillage etc	Not applicable Yes No
AQ	Outdoor air filter	Give type and class (filter grade according to EN779)	Prefilter [] Main filter []
E	Heat recovery (33-01)		None Fixed plate exchanger Rotating wheel exchanger Heat pipes Two-coil glycol water exchanger Other
AQ	What is the duct material?		Asbestos cement PVC Fabric Galvanised steel Other
E	Duct insulation	Tick all that apply	None [] Internal: mineral fibre [] other [] External: mineral fibre [] other []
E	How is the system operating at the time of inspection?	Ask building manager	Full performance Reduced performance Stopped system 100% recirculation % return air
E	Is the system operating normally for the time of year at the time	Ask building manager	Yes, operating normally for the time of year

	of inspection?		No, operating too high for the time of year No, operating too low for the time of year
AQ	Position of ventilation system intake		None (skip next 3) Roof Façade Ground Other
AQ	Height of ventilation system intake above ground level	Skip if no intake	In m (if building has individual intakes by storey or by zone, give height for each storey)
AQ	Shortest distance of system intake from exhaust outlets	Skip if no intake	Vertical: m Horizontal: m
AQ	Shortest distance of system intake from cooling towers	Skip in no intake	Vertical: m Horizontal: m
AQ	Are there any other potential pollutant sources close to the system intake?	Tick and give shortest distance from intake for all that apply	No Yes (indicate Source and Distance in m) Car parking close to the building Attached garage Direct access from basement or roof car park Busy road Power plant for the building Other power plant Industry Cooling towers Built on a landfill site Waste management site (e.g. tip or dump) Agricultural sources Other
E	Are air dampers seized in an open or closed position? (due to failing or malfunction)	Need to provide information on what to look for here.	No Yes: Open Yes: Closed
AQ	What is the design outdoor flow rate?	Use whichever unit is available	m ³ /h ach ⁻¹ m ³ /hperson
AQ	Extra information on outdoor flow rate	Complete if measured or known	Measured outdoor flow rate: m ³ /h ach ⁻¹

			m ³ /hperson Design recirculation rate: % Measured recirculation rate: %
E	What is the minimum design outdoor air supply per square metre (during occupancy)?		In l/s/m ²
T	Location of air supply devices inside offices (36-01)	Tick all that apply	None Floor Windowsill Ceiling High on wall Low on wall Desks Other (Multi-code)
T	Location of air exhaust devices inside offices (36-01)		None High Low
T	Designed air distribution principle		Displacement Mixing Other
T	Is the exhaust ventilation of toilets etc running continuously to provide the basic ventilation for the building?		Yes No No exhaust ventilation of toilets
AQ	How often are the filters replaced?		No regular period for replacement Twice a year or more often Once a year Once every two years Less often than once every two years
AQ	How often are the supply air ducts cleaned? (or how often are they intended to be cleaned?)	Obtain maintenance schedule if possible. Give frequencies if known, and date last cleaned.	How often they are cleaned [] How often intended to be cleaned [] When were they last cleaned []
AQ	How often are the supply air devices cleaned? (or how often are they intended to be cleaned?)	Obtain maintenance schedule if possible. Give frequencies if known, and date last cleaned.	How often they are cleaned [] How often intended to be cleaned [] When were they last cleaned []
AQ	How often are the exhaust air devices cleaned? (or how often are they intended to be cleaned?)	Obtain maintenance schedule if possible. Give frequencies if known, and date last cleaned.	How often they are cleaned [] How often intended to be cleaned [] When were they last cleaned []

AQ	Servicing of ventilation components (filters, heating and cooling batteries, heat exchangers, humidifiers). Do the specifications and the servicing schedules meet the recommendations of Airless? (see list appended to this checklist)	Obtain specifications and service schedules if possible.	Yes (completely or mostly meets recommendations) Partly (meets more than half of recommendations) No (meets less than half of recommendations)
AQ	Heating and cooling system. Do the specifications and the servicing schedules meet the recommendations of Airless? (see list appended to this checklist)	Obtain specifications and service schedules if possible.	Yes (completely or mostly meets recommendations) Partly (meets more than half of recommendations) No (meets less than half of recommendations)
E	Does the building have an alarm system for malfunctioning of main components?		Yes No
E	Is the HVAC system managed by an external company?		Yes, managed by an external company No, managed internally Other

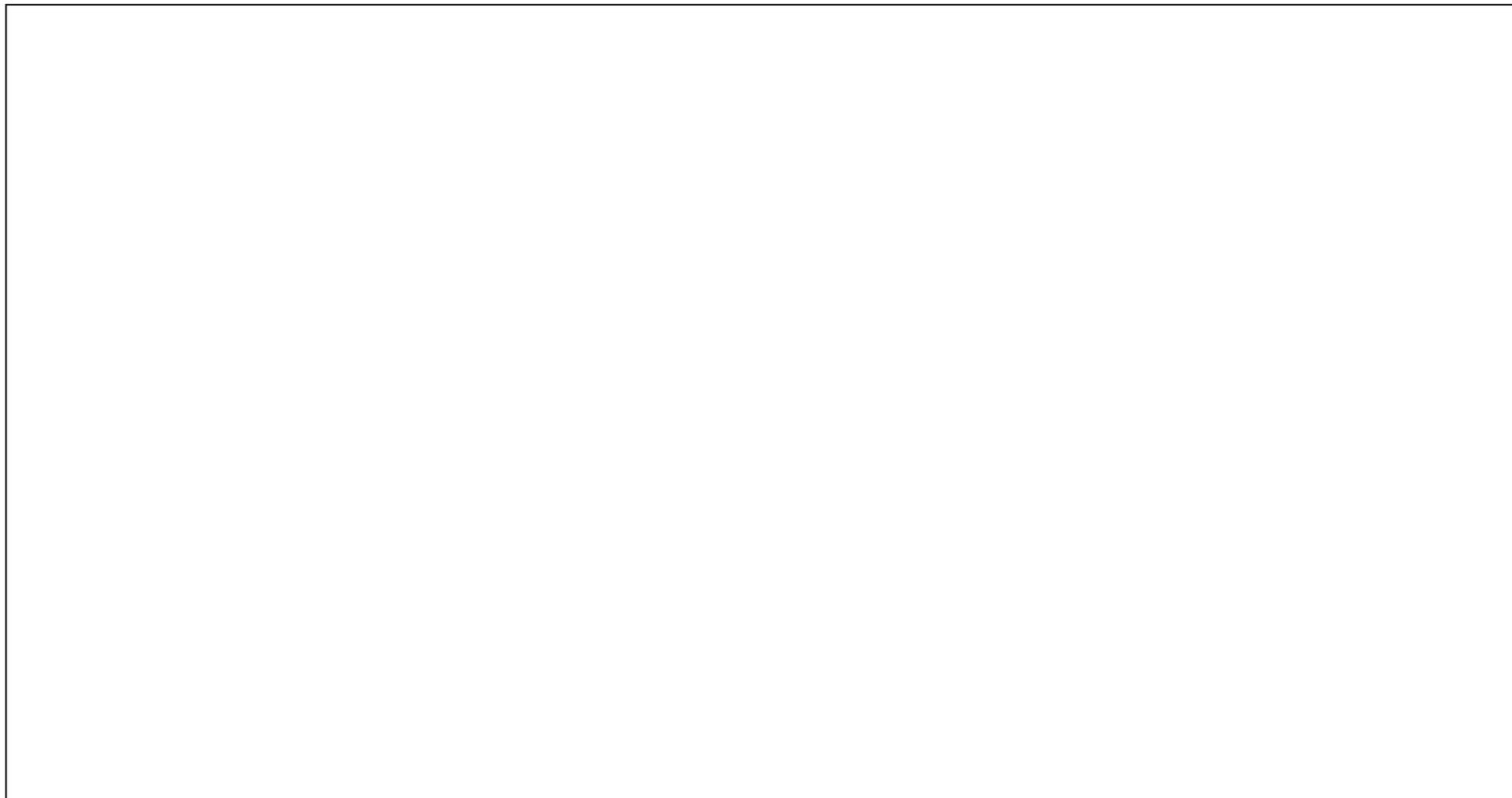
DESCRIPTION OF BUILDING USE

			Options / Scales
AQ	What activities are carried out in the building besides office work?		None Industry Shop Garage Laboratory Kitchen / restaurant Print shop Other
AQ	What percentage of the office furniture is less than one year old and made of particleboard or medium density fibreboard (MDF)?		%
AQ E	What types of general office machines are in occupied office spaces?	Give type of machine and approximate numbers	Type Number Laser printers Photocopiers Hot drinks machines Portable humidifiers Portable ionisers Portable air cleaners Other
AQ	Is smoking permitted?		No Only outside the building Only in separately-ventilated rooms

			Yes
AQ	Are doors between office and circulation areas (corridors, landings, walkways etc) generally left open?		Yes No
AQ	Are there ever any pets in offices?		No Yes – give details Type How often (always, sometimes, rarely) Furred Feathered Fish Other
AQ H	In the last year, have there been incidents of any of the following pests in or near the building?		Offices Basement / outside Rats Mice Cockroaches Ants Other insects Other
AQ H	In the last year, have you had to use a pesticide treatment for any of the following pests in or near the building?		Offices Basement / outside Rats Mice Cockroaches Ants Other insects Other
H	Is there a pesticide treatment plan for the building?		Yes No
H	Is there a documented complaints procedure for occupants who have a problem with the indoor environment?		Yes No
AQ	Is there a cleaning schedule for the communal parts of the building?		Yes, No, Yes, some communal parts
AQ	How often are the following activities carried out in the communal areas of the building?	For each of the cleaning tasks given, please use the codes below to indicate how frequently they are carried out: 1. Daily 2. Twice a week	Floors/carpets swept/vacuumed [] Smooth floors washed [] Smooth floors waxed [] Smooth floors polished [] Walls dry wiped/vacuumed [] Walls washed []

		3. Once a week 4. 1-3 times a month 5. Once a month 6. 2-4 times per year 7. Once per year 8. More than annually 9. Not applicable	Ceilings dry wiped/vacuumed [] Ceilings washed [] Surfaces dusted [] Surfaces polished [] Surfaces cleaned [] Other items (e.g. doors, banisters) dusted [] Other items polished []
AQ	How often does a deep clean of the floors of the building take place?		Once a month or more often Once, every three months or more often Once every six months or more often Once every year or more often Less often Never
AQ	How often does a deep clean of other furniture in the building (e.g. chairs, furniture in communal areas, etc) take place?		Once a month or more often Once, every three months or more often Once every six months or more often Once every year or more often Less often Never
AQ	Are there any special cleaning requirements for the building?		Yes (give details) No
AQ	Does the layout of the office make it easy to clean?	Use the scale	Very difficult 1 2 3 4 5 6 7 Very easy
AQ	Are desks and storage shelves easy to clean?	Use the scale	Very difficult 1 2 3 4 5 6 7 Very easy
AQ	Are chemicals used for cleaning desks, shelves or cabinets in offices?	E.g. detergents	Yes No Sometimes
AQ	Are chemicals used for cleaning floors, ceilings, walls in offices?	E.g. detergents	Yes No Sometimes

**Please list the special energy saving measures present in this building in the box below.
If you have any other comments or information to add, please use the box below.**



ENERGY USE

Details of annual energy consumption in the building (for the last 12 months, and for previous years if possible):

Gas: (in MJ, Therms, or kWh)

Electricity: (in MJ or kWh)

District heating: (in MJ or kWh)

Oil: (MJ or kg)

Coal: (MJ or kg)

Other fuels (please specify type and units) :

12 month period that these figures apply to:

If more detailed energy consumption data are available, these may be useful in providing extra information. E.g. energy for space heating, cooling, lighting or other.

Average outdoor temperature during the heating season?

Degree days:

Average outdoor temperature during the cooling season?

Degree days:

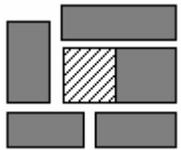
Estimate of the thermal inertia:

Building time constant in winter a few hours , a few days, a week

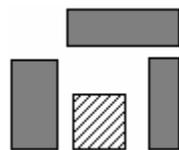
Building time constant in summer a few hours , a few days, a week

BUILDING OBSTRUCTION

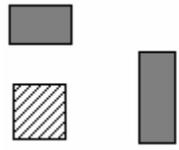
1.1.1 Density of nearby obstructions



1 Very dense



2 Moderately dense



3 Few buildings



4 Free standing

Adjacent buildings in:

1 One façade

2 Two façades

3 Three façades

Height of surrounding buildings:



1 Higher



2 Same



3 Lower



4 Variable

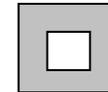
Building Shape:



1 Square



2 Rectangular



3 Square with Atrium

Airless – recommendations

Filters:

Use another filtering method like electrostatic filtering or apply a two or more phase filtering system.

Keep the filter dry (by proper outlay of air intake section, heating of supply air with pre-heater or heating filters for a certain period).

Change filter on time: Depending on the situation, traffic and other loads once in 3 to 12 months, but in general every 6 months for high polluted areas (town) and 1 year for low-polluting areas (country side).

Make certain the filter frame and sealing seat have no leaks.

Ducts:

Use duct material that doesn't emit pollutants itself. Use duct material that doesn't require oil during the manufacturing process. Interior surfaces shall be smooth. Avoid sharp-edged curves, transition pieces or self-tapping screws in walls of ducts.

Add insulation material to exterior of the duct.
Prevent condensation or water from humidifiers

Limit flexible air ducts (difficult to clean).
Avoid sealant with high emission and do not attach tapes or tags.

Ventilation ducts and air handling units are cleaned regularly

Humidifiers

Remove oil residue before use of humidifier to prevent an oil film on water.

Take care using disinfecting material (in water for example)

Humidifier shall automatically shut down when the HVAC-system is shut down, to prevent humidifier from running dry.

New water is added when the water temperature exceeds 20°C (spray nozzle and evaporative humidifiers, ultrasonic humidifiers).

Use clean water every week.

Clean tank (not possible for steam: keep them dry/empty when not in use).

Clean humidifier regularly: every 6 months (dry or wet).

Water must be changed in operation breaks or after one week of use.

Do not use wetted plates of soft material as a humidifier (so-called evaporative system).

Prevent moisture from a steam humidifier: a steam humidifier not correctly installed or miss-constructed can lead to condensation in ducts.

Rotating heat exchanger:

Select a wheel equipped with purging sector, and install it with the purging sector on the warm side of the wheel.

Supply and exhaust fans should be located and sized so that a positive pressure difference of about 200 Pa is achieved between supply and exhaust ducts at the wheel level.

Avoid hygroscopic wheels when contamination is an important concern. Hygroscopic materials increase in most case the efficiency of the heat exchange. However, odours and other contaminants are also better adsorbed on such surfaces.

If wheel is warped: change wheel or use modern seals made of thin plastic foils between two brushes.

Install filters in both ducts upwind the heat exchanger.

If pressure on supply side is negative compared to exhaust side: change pressure hierarchy.

If the rotation of wheel is in the wrong direction: change to proper direction. The wheel should pass from exhaust to supply ducts in front of the purging sector.

Clean dirty wheels according to instruction of the manufacturer, with either compressed air or vacuum cleaner, or pressurised water.

Check that the wheel control stops the wheel when no heat can be recovered.

Heating and cooling coils:

Keep outlet of drain free at the lowest point of the drain pan (include angle).

Remove oil before installation.

Prevent corrosion by selecting the proper material.

Do not place any adsorbing material behind cooling coil.

Place a droplet catcher behind coil.

Miscellaneous:

Scheduled maintenance plan for HVAC-systems and whole building is followed

Building has an alarm system for malfunctioning of main components

Monitoring of IAQ is included in DDC-control

HVAC-systems and their operation and indoor environment is inspected regularly

HVAC-plans are updated as built and remodelled

Annexe 11 : Questionnaire destiné aux occupants des bâtiments de bureaux investigués par l'OQAI

Date <input style="width: 20px;" type="text"/> - <input style="width: 20px;" type="text"/> - <input style="width: 20px;" type="text"/>	Identification Code: <input style="width: 20px;" type="text"/> <input style="width: 20px;" type="text"/> <input style="width: 20px;" type="text"/> <input style="width: 20px;" type="text"/>									
<h2>Office Environment Survey</h2>										
<p>This questionnaire will be read by a computer. It would be helpful to us if you could bear the following points in mind when you are filling it in.</p> <ol style="list-style-type: none">1) Most questions ask you to select from a number of choices. For each of this type of question, please use crosses rather than ticks, e.g. <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Don't know2) When asked to write information into the blank spaces provided, please use black ink, write clearly and always use BLOCK CAPITALS, e.g. <input style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;" type="text" value="AN EXAMPLE"/>3) When box style questions are provided, please write in only one letter or number per box, e.g. <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; height: 15px; text-align: center;">A</td><td style="width: 20px; height: 15px; text-align: center;">N</td><td style="width: 20px; height: 15px; text-align: center;">E</td><td style="width: 20px; height: 15px; text-align: center;">X</td><td style="width: 20px; height: 15px; text-align: center;">A</td><td style="width: 20px; height: 15px; text-align: center;">M</td><td style="width: 20px; height: 15px; text-align: center;">P</td><td style="width: 20px; height: 15px; text-align: center;">L</td><td style="width: 20px; height: 15px; text-align: center;">E</td></tr></table>		A	N	E	X	A	M	P	L	E
A	N	E	X	A	M	P	L	E		
<p>This questionnaire concerns the environment in your office. Neither this questionnaire nor any information from it will be passed to your employer, except as averaged and anonymous data.</p> <p>Please attempt all the questions. Do not take too much time over your answers. Just give your initial response. It is important that you record your own views without talking to colleagues.</p> <p>BRE staff will collect the questionnaire this afternoon. If you are not at your desk, put the completed questionnaire in an envelope marked "BRE".</p>										
<p>For official use only:</p> <p>Organisation Code: <input style="width: 20px;" type="text"/><input style="width: 20px;" type="text"/><input style="width: 20px;" type="text"/></p> <p>Building Code: <input style="width: 20px;" type="text"/><input style="width: 20px;" type="text"/></p>										
<p>Location, e.g. room number, zone, section, wing, etc.</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>										
<p>On which floor of the building do you work? <i>(Indicate which is most appropriate)</i></p> <p><input type="checkbox"/> Below ground</p> <p><input type="checkbox"/> Ground floor</p> <p><input type="checkbox"/> Above ground floor <i>(give floor level)</i> → <input style="width: 20px; height: 15px;" type="text"/></p>										
<p style="font-size: small;">Draft</p>										

Personal Well-being

You do not need to report the frequency of each symptom unless it is better on days away from the office.

In the past 12 months have you had more than **two** episodes of:

Dryness of the eyes

Please mark a cross in one box

Yes No

If 'Yes', was this better on days away from the office?

Yes No

Please mark a cross in one box

If 'Yes', how frequent was the symptom?

Please mark a cross in one box

Every day spent at work	3-4 days each week	1-2 days each week	Every 2-3 weeks	Less often
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

In the past 12 months have you had more than **two** episodes of:

Itchy or watery eyes

Please mark a cross in one box

Yes No

If 'Yes', was this better on days away from the office?

Yes No

Please mark a cross in one box

If 'Yes', how frequent was the symptom?

Please mark a cross in one box

Every day spent at work	3-4 days each week	1-2 days each week	Every 2-3 weeks	Less often
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

In the past 12 months have you had more than **two** episodes of:

Blocked or stuffy nose

Please mark a cross in one box

Yes No

If 'Yes', was this better on days away from the office?

Yes No

Please mark a cross in one box

If 'Yes', how frequent was the symptom?

Please mark a cross in one box

Every day spent at work	3-4 days each week	1-2 days each week	Every 2-3 weeks	Less often
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

In the past 12 months have you had more than **two** episodes of:

Runny nose

Please mark a cross in one box

Yes No

If 'Yes', was this better on days away from the office?

Yes No

Please mark a cross in one box

If 'Yes', how frequent was the symptom?

Please mark a cross in one box

Every day spent at work	3-4 days each week	1-2 days each week	Every 2-3 weeks	Less often
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

In the past 12 months have you had more than **two** episodes of:

Dry throat

Please mark a cross in one box

Yes No

If 'Yes', was this better on days away from the office?

Yes No

Please mark a cross in one box

If 'Yes', how frequent was the symptom?

Please mark a cross in one box

Every day spent at work	3-4 days each week	1-2 days each week	Every 2-3 weeks	Less often
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Draft



In the past 12 months have you had more than **two** episodes of:

Lethargy and/or tiredness

Please mark a cross in one box

Yes No

If 'Yes', was this better on days away from the office?

Yes No

Please mark a cross in one box

If 'Yes', how frequent was the symptom?

Please mark a cross in one box

Every day spent at work 3-4 days each week 1-2 days each week Every 2-3 weeks Less often

In the past 12 months have you had more than **two** episodes of:

Headaches

Please mark a cross in one box

Yes No

If 'Yes', was this better on days away from the office?

Yes No

Please mark a cross in one box

If 'Yes', how frequent was the symptom?

Please mark a cross in one box

Every day spent at work 3-4 days each week 1-2 days each week Every 2-3 weeks Less often

In the past 12 months have you had more than **two** episodes of:

Dry, itching or irritated skin

Please mark a cross in one box

Yes No

If 'Yes', was this better on days away from the office?

Yes No

Please mark a cross in one box

If 'Yes', how frequent was the symptom?

Please mark a cross in one box

Every day spent at work 3-4 days each week 1-2 days each week Every 2-3 weeks Less often

In the past 12 months, have you had any other symptoms which you think are related to working in this building?

Yes No

If 'Yes', give details

In the past month, how many days do you think you have been absent from work because of the environmental conditions in your building?

None Half a day 1-2 days More than 2 days More than 5 days Don't know

Draft



Other Aspects of Your Office

How much control do you personally have over the following aspects of your working environment?
Please mark a cross in one box on each of the following scales

Temperature	Full control	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	None at all
Ventilation	Full control	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	None at all
Shading from the sun	Full control	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	None at all
Lighting	Full control	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	None at all
Noise	Full control	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	None at all

How would you describe the amount of privacy that you have at work?

Please mark a cross in one box

Satisfactory 1 2 3 4 5 6 7 Unsatisfactory

How much do you like the following in your office?

Please mark a cross in one box on each of the following scales

Layout <i>(e.g. furniture, space, storage, privacy)</i>	Like very much	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	Do not like at all
Decoration <i>(including any plants, posters etc you might have added)</i>	Like very much	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	Do not like at all

Are the windows in your room openable?

Please mark a cross in one box

Yes No

On a scale of 1 to 7, how much do you like the view from the window(s)?

Please mark a cross in one box

Very much 1 2 3 4 5 6 7 Not at all

No view from window

No window

How many people, including yourself, normally share the room or open-plan space where you work? Please write in

How would you describe the cleanliness of your office?

Please mark a cross in one box

Satisfactory overall 1 2 3 4 5 6 7 Unsatisfactory overall

Have you or your colleagues ever made requests for improvements to other aspects of your office environment?

Give details

Yes No

How satisfied were you with the following?

Please mark a cross in one box on each scale

Speed of response	Satisfactory	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	Unsatisfactory
Effectiveness of response	Satisfactory	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	Unsatisfactory

Draft



Background Information

How long have you been working in this building? Years Months
Please write in

How long have you been working in this particular office? Years Months
Please write in

How would you describe the type of work you do?
Please mark a cross in one box

Managerial

Professional

Clerical/secretarial

Other

(Please specify 'Other' in the box)

How much do you like your job?

Like very much Do not like at all

How old are you?
Please write in

Years

Gender: Male Female

On average, how many hours per week do you spend in this building?

Hours *(Please write in, to nearest whole number of hours)*

On average, how many hours per week do you operate a VDU at work?

Hours *(Please write in, to nearest whole number of hours)*

Have you ever been diagnosed as suffering from any of these?

Asthma Yes No

Hayfever Yes No

Allergic rhinitis
 (runny/itchy nose, watery/itchy eyes, frequent sneezing/coughing) Yes No

Eczema Yes No

Other skin condition Yes No

Have you smoked in the last 5 years?

Yes No *(If 'No', go to the next question)*

If 'Yes', have you smoked at all in the last 6 months?

Yes No *(If 'No', go to the next question)*

If 'Yes', how many cigarettes do you smoke a day?

Fewer than 10 10-19 20-39 40 or more

About how many pipes or cigars do you smoke per day?

Do you smoke while in the office?

Yes No

Do others in your working environment smoke in the office?

Yes No

Draft



Identification Code:

Is there anything else you would like to say about your office environment?

Name (optional)



Draft



Annexe 12 : Proposition de protocole de prélèvement de la FTE

Domaine d'application

Ce protocole décrit la méthode de mesure de la nicotine en phase gazeuse dans l'air intérieur par prélèvement passif, dans le cadre de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur.

Références bibliographiques

Rapport du groupe de travail DGS – Tabagisme passif, présidé par le Pr Bertrand Dautzenberg

Principe de la méthode choisie

La nicotine gazeuse est adsorbée sur le filtre imprégné de bisulfate de sodium. Il est alors possible d'effectuer une désorption de la nicotine et une analyse en laboratoire.

Matériel de prélèvement

Le matériel de prélèvement est constitué d'un corps diffusif dans lequel est contenu un filtre en téflon traité au bisulfate de sodium. La sensibilité est de 0,5 ppm.

Durée de prélèvement

La durée de prélèvement est de 5 jours (du lundi matin au vendredi soir).

Nombre et lieux de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Emplacement de l'appareillage

Le point de prélèvement doit être représentatif de l'exposition moyenne, à hauteur des voies respiratoires d'une personne assise à son poste de travail, entre 1,2 et 1,3 m.

Il convient de localiser le préleveur le plus possible au centre du bureau en évitant son installation dans les zones mal ventilées comme les angles d'une pièce.

Blanc de terrain

Un filtre témoin est placé dans 5% des bureaux. Les procédures de préparation, de conditionnement, de transport et d'analyse sont identiques à celles qui s'appliquent aux prélèvements.

Le filtre est placé dans une boîte de conservation adaptée à la dimension du filtre qui sera fermée pendant la durée complète du prélèvement. La boîte est conservée à proximité du préleveur pendant la durée des prélèvements.

Annexe 13 : Proposition de protocole de prélèvement du radon (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)

Domaine d'application

Ce protocole décrit la méthode de mesure du radon dans l'air intérieur par mesure passive, dans le cadre de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur.

Principe de la méthode choisie

Une particule alpha traversant certains films plastiques (par exemple le nitrate de cellulose) provoque une ionisation sur son passage. Une attaque chimique appropriée sert de révélateur. Le film présente des traces sous la forme de trous ou de cônes d'attaque dont le nombre est égal, en première approximation, au nombre de particules alpha ayant pénétré dans le détecteur.

Références normatives

Le protocole a été construit en s'inspirant de l'expérience acquise par l'IRSN à l'occasion des campagnes de mesure précédentes ou des études épidémiologiques. Dans la mesure du possible il respectera la norme AFNOR NF M-60.766.

Le détecteur présente l'avantage d'être sensible ($2,2 \text{ traces.cm}^{-2}/\text{kBq.h.m}^{-3}$) et d'avoir un bruit de fond bas (2 à 7 traces par cm^2). Il a fait l'objet d'inter comparaisons dans des situations contrôlées (de laboratoire). Il a été validé par le NRPB et l'EPA.

Matériel de prélèvement

Le matériel choisi est le dosimètre radon "KODALPHA".

L'activité volumique du radon dans l'air des bâtiments est mesurée par un détecteur de traces sensible aux rayonnements. La mesure intégrée de l'activité volumique du radon comporte trois phases. Les deux premières phases sont simultanées, il s'agit du prélèvement qui se fait en continu de manière passive, et de l'accumulation des traces sur le nitrate de cellulose. La troisième phase, effectuée en différé, à l'issue de la période d'exposition, consiste à mesurer les grandeurs physiques qui sont directement liées à l'activité volumique intégrée du radon.

Le dosimètre est fabriqué par KODAK à partir de travaux menés à l'IRSN. Il est traité dans le laboratoire DOSIRAD¹. Le dosimètre se présente sous la forme d'un petit boîtier noir en plastique dont le couvercle sert de support à un film rouge (le LR115). Ce film est constitué de nitrate de cellulose de 12 microns d'épaisseur, sur un support polyester de 100 microns.

Le dosimètre KODALPHA est un détecteur dit "passif" car il ne consomme pas d'énergie pour le prélèvement. Une fois le boîtier ouvert, le film est exposé directement à l'air ambiant, il enregistre non seulement les rayonnements alpha issus du ^{222}Rn mais aussi ceux de ses descendants (^{218}Po , ^{214}Po). La connaissance du facteur d'équilibre entre le radon et ses descendants est nécessaire pour estimer l'activité volumique du radon. Ce facteur peut varier d'une habitation à l'autre en raison de la ventilation et surtout de la composition en aérosols de l'atmosphère.

Il est fixé à 0,4 pour les mesures de la campagne. Le détecteur n'enregistre plus les rayonnements alpha dès qu'il est fermé (voir notice d'utilisation du dosimètre KODALPHA à la fin de ce document).

Durée de prélèvement

La durée d'exposition du dosimètre KODALPHA est de 2 mois. Prolonger la mesure d'une ou deux semaines ne présente pas d'inconvénient, pourvu que les dates d'ouverture et de fermeture soient documentées. Le dosimètre doit être positionné par l'enquêteur dans le

¹ DOSIRAD SARL, Laboratoire de Contrôle du Radon,
Villa Parc, Le Chêne, Rue Lech Walesa,
77 185 - LOGNES.

lieu adapté. Les dates "ouverture et fermeture" sont écrites par l'enquêteur ou le volontaire sur le dosimètre.

Emplacement des dosimètres

Un dosimètre par bureau investigué doit être utilisé : le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Le dosimètre devra être disposé sur un meuble, de préférence entre 1 et 1,50 m de hauteur (hauteur moyenne d'inhalation d'une personne assise à son poste de travail). Le dosimètre ne doit pas être exposé à la lumière solaire directe en position ouverte.

Témoins/Réplicats

Le dosimètre "KODALPHA" a fait l'objet d'inter comparaisons dans des situations contrôlées (de laboratoire). Il a été validé par le NRPB et l'EPA. Il n'est donc pas nécessaire de refaire des inter-comparaisons par le biais de témoins et de réplicats.

Conservation des échantillons avant et après échantillonnage

L'archivage du film est assuré par la société DOSIRAD pour une durée indéterminée.

Annexe 14 : Proposition de protocole de prélèvement des COV (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)

Domaine d'application

Ce protocole décrit la méthode d'échantillonnage des composés organiques volatils (COV) dans l'air intérieur par prélèvement passif dans le cadre de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur.

Principe de la méthode choisie

Le prélèvement est réalisé par échantillonnage diffusif sur un adsorbant solide de type carbograph 4.

Références normatives

PR NF EN ISO 16017-2 : Air à l'intérieur des locaux, air ambiant et air des lieux de travail. Echantillonnage et analyse des composés organiques volatils par tube à adsorption/désorption thermique/chromatographie en phase gazeuse sur colonne capillaire. Partie 2 : échantillonnage par diffusion.

NF X 43-402 : Qualité de l'air : stratégie d'échantillonnage des polluants chimiques de l'atmosphère intérieure des locaux, 1995.

Matériel de prélèvement

Le prélèvement est assuré par un tube à diffusion de la marque Radiello (Fondazione Salvatore Maugeri, Clinica del Lavoro e della Riabilitazione – IRCCS, Centre de Recherche Environnementale, via Svizzera, 16 – I 35127 PADOVA). L'échantillonneur est composé d'une cartouche (code n°145), d'un corps diffusif (code n°120-2) et d'un adaptateur (code n°122).

La cartouche est cylindrique (40-60 mesh s.s. net), de diamètre externe 4,8 mm, et contenant 300 mg de charbon graphitisé (Carbograph 4). Cette cartouche est placée avant le prélèvement dans un corps diffusif en polyéthylène. La partie centrale ne doit pas être touchée. L'ensemble est ensuite vissé sur un portoir à l'aide d'un support clippable.

Durée de prélèvement

Les tubes passifs sont exposés sur site pendant une durée de 5 jours (du lundi matin au vendredi soir). La mesure reste en effet valide si la durée d'exposition est comprise entre 5 et 10 jours.

Nombre et lieux de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Un tube est placé dans chaque point de mesure.

Emplacement des tubes

Le point de prélèvement doit être représentatif de l'exposition moyenne, à hauteur des voies respiratoires d'une personne assise à son poste de travail, entre 1,2 et 1,3 m. Il conviendrait d'éviter les zones de la pièce largement exposées à une ventilation, comme les zones proches de portes et fenêtres. Cependant, dans un souci d'évaluer l'exposition moyenne des employés de bureaux, l'emplacement des prélèvements devra se situer au plus proche du poste de travail de l'occupant du bureau investigué.

Témoins/Réplicats

Un témoin est placé, pour chaque point de mesure, dans 5% des bureaux investigués. Le tube témoin suit la même procédure d'installation que les tubes de prélèvement : ouverture de la cartouche, insertion dans le corps diffusif.

Puis la cartouche est remise dans son tube de transport et reste sur le terrain à côté des tubes échantillonnés.

Ces blancs de terrain servent à valider de manière qualitative les mesures.

Des réplicats sont également réalisés. Dans 2% des bureaux, 6 tubes par laboratoire d'analyse sont placés en parallèle.

Conservation des échantillons avant et après échantillonnage

Avant exposition, les cartouches doivent être conservées dans leur emballage d'origine au réfrigérateur et à l'abri de la lumière. Elles sont ainsi stables pendant 6 mois.

Après exposition, les cartouches doivent être conservées au réfrigérateur et à l'abri de la lumière. Les tubes sont envoyés par Chronopost, une fois par semaine au laboratoire d'analyse.

Annexe 15 : Proposition de protocole de prélèvement des aldéhydes (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)

Domaine d'application

Ce protocole décrit la méthode d'échantillonnage des aldéhydes dans l'air intérieur par prélèvement passif, dans le cadre de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur.

Principe de la méthode choisie

Le prélèvement est réalisé par échantillonnage diffusif sur une cartouche imprégnée de 2,4-dinitrophénylhydrazine (2.4-D.N.P.H.). Les aldéhydes diffusent à travers la surface de contact et réagissent pour former les dinitrophénylhydrazones stables correspondantes.

Références normatives

Pour l'échantillonnage diffusif des aldéhydes par technique Dinitro-phényl-hydrazine, le projet de norme internationale ISO/DIS 16000-4² fait référence.

Pour l'échantillonnage des composés chimiques dans les environnements intérieurs, la norme générale XP X 43-202³ fait référence.

Matériel de prélèvement

Le prélèvement est assuré par une cartouche (ou tube) à diffusion de la marque Radiello (Fondazione Salvatore Maugeri, Clinica del Lavoro e della Riabilitazione – IRCCS, Centre de Recherche Environnementale, via Svizzera, 16 – I 35127 PADOVA). L'échantillonneur est composé d'une cartouche (code n°165), d'un corps diffusif (code n°120-1) et d'un adaptateur (code n°122).

La cartouche est cylindrique (100 mesh s.s. net), de diamètre externe 5.9 mm, et contient 900 mg de florisil 35-50 mesh imprégné de 2.4-D.N.P.H. Au moment du prélèvement, cette cartouche est placée dans un corps diffusif en polyéthylène. L'ensemble est ensuite vissé sur un support clippable.

Durée de prélèvement

Les tubes passifs sont exposés sur site pendant une durée de 5 jours (du lundi matin au vendredi soir).

La mesure est en effet considérée comme valide si la durée d'exposition est comprise entre 5 et 10 jours.

Nombre et lieux de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Un tube est placé dans chaque point de mesure.

Emplacement des tubes

Le point de prélèvement doit être représentatif de l'exposition moyenne, à hauteur des voies respiratoires d'une personne assise à son poste de travail, entre 1,2 et 1,3 m. Il conviendrait d'éviter les zones de la pièce largement exposées à une ventilation, comme les zones proches de portes et fenêtres, et les zones proches de sources connues de formaldéhyde comme les panneaux d'agglomérés non revêtus. Cependant, dans un souci d'évaluer l'exposition moyenne des employés de bureaux, l'emplacement des prélèvements devra se situer au plus proche du poste de travail de l'occupant du bureau investigué.

² ISO/DIS 16000-4 : Air intérieur – Dosage du formaldéhyde. Partie 4 : Méthode par échantillonnage diffusif, 1999

³ NF X 43-202 : Qualité de l'air : stratégie d'échantillonnage des polluants chimiques de l'atmosphère intérieure des locaux, 1995.

Témoins/Réplicats

Un témoin est placé, pour chaque point de mesure, dans 5% des bureaux investigués. Le tube témoin suit la même procédure d'installation que les tubes de prélèvement : ouverture de la cartouche, insertion dans le corps diffusif.

Puis la cartouche est remise dans son tube de transport et reste sur le terrain à côté des tubes échantillonnés.

Ces blancs de terrain servent à valider de manière qualitative les mesures.

Des réplicats sont également réalisés. Dans 2% des bureaux, 6 tubes par laboratoire d'analyse sont placés en parallèle.

Conservation des échantillons avant et après échantillonnage

Avant exposition, les cartouches doivent être conservées dans leur emballage d'origine au réfrigérateur et à l'abri de la lumière. Elles sont ainsi stables pendant 6 mois.

Après exposition, les cartouches doivent être conservées au réfrigérateur et à l'abri de la lumière.

Les tubes sont envoyés par Chronopost, une fois par semaine au laboratoire d'analyse.

Annexe 16 : Proposition de protocole de prélèvement de l'ozone

Domaine d'application

Ce protocole décrit la méthode de mesure de l'ozone dans l'air intérieur par méthode passive, dans le cadre de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur.

Principe de la méthode choisie

Le prélèvement est réalisé par échantillonnage diffusif sur une cartouche de gel de silice imprégné de 4,4'-dipiridyléthylène. L'ozone diffuse à travers la surface de contact et réagit pour former le 4-piridylaldéhyde. La formation de ce composé est spécifique de l'ozone.

Matériel de prélèvement

Le prélèvement est assuré par une cartouche (ou tube) à diffusion de la marque Radiello (Fondazione Salvatore Maugeri, Clinica del Lavoro e della Riabilitazione – IRCCS, Centre de Recherche Environnementale, via Svizzera, 16 – I 35127 PADOVA). L'échantillonneur est composé d'une cartouche chimiabsorbante (code n°172), d'un corps diffusif bleu (code n°120-1) et d'un adaptateur (code n°122).

La cartouche est cylindrique. Au moment du prélèvement, cette cartouche est placée dans un corps diffusif en polyéthylène. L'ensemble est ensuite vissé sur un support clippable.

Durée de prélèvement

Les tubes passifs sont exposés sur site pendant une durée de 5 jours (du lundi matin au vendredi soir).

La mesure est en effet considérée comme valide si la durée d'exposition est comprise entre 5 et 10 jours.

Nombre et lieux de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Un tube est placé dans chaque point de mesure.

Emplacement des tubes

Le point de prélèvement doit être représentatif de l'exposition moyenne, à hauteur des voies respiratoires d'une personne assise à son poste de travail, entre 1,2 et 1,3 m. Il conviendrait d'éviter les zones de la pièce largement exposées à une ventilation, comme les zones proches de portes et fenêtres. Cependant, dans un souci d'évaluer l'exposition moyenne des employés de bureaux, l'emplacement des prélèvements devra se situer au plus proche du poste de travail de l'occupant du bureau investigué.

Témoins/Réplicats

Un témoin est placé, pour chaque point de mesure, dans 5% des bureaux investigués. Le tube témoin suit la même procédure d'installation que les tubes de prélèvement : ouverture de la cartouche, insertion dans le corps diffusif.

Puis la cartouche est remise dans son tube de transport et reste sur le terrain à côté des tubes échantillonnés.

Ces blancs de terrain servent à valider de manière qualitative les mesures.

Des réplicats sont également réalisés. Dans 2% des bureaux, 6 tubes par laboratoire d'analyse sont placés en parallèle.

Conservation des échantillons avant et après échantillonnage

Avant exposition, les cartouches doivent être conservées dans leur emballage d'origine à l'abri de la lumière. Elles sont ainsi stables pendant 6 mois.

Après exposition, les cartouches doivent être conservées à l'abri de la lumière.

Les tubes sont envoyés par Chronopost, une fois par semaine au laboratoire d'analyse.

Annexe 17 : Proposition de protocole de prélèvement des bactéries

Domaine d'application

Ce protocole décrit la méthode de prélèvement des bactéries dans l'air intérieur par méthode active, dans le cadre de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur.

Références bibliographiques

Thèse de Marina Moletta, soutenue le 16 décembre 2005 pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université Montpellier II, et intitulée « Caractérisation de la diversité microbienne aéroportée des biogaz »

Principe de la méthode choisie

Une filtration directe de l'air a été choisie. Cette filtration aura lieu sur des filtres en polyestersulfone, qui sert directement de matrice de départ pour les étapes d'extraction. Les bactéries extraites sont ensuite analysées par PCR en temps réel.

Matériel de prélèvement

Le prélèvement est assuré par une pompe haut débit (plus de 16L/min) pendant un temps assez court. La filtration se fait sur des filtres en polyestersulfone dont les pores n'excèdent pas 0,2 µm de diamètre (Supor 200, Gelman).

Durée de prélèvement

Les prélèvements doivent être de courte durée et ne pas dépasser 2-3 heures.

Nombre et lieux de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Emplacement des prélèvements

Le point de prélèvement doit être représentatif de l'exposition moyenne, à hauteur des voies respiratoires d'une personne assise à son poste de travail, entre 1,2 et 1,3 m. Il conviendrait d'éviter les zones de la pièce largement exposées à une ventilation, comme les zones proches de portes et fenêtres. Cependant, dans un souci d'évaluer l'exposition moyenne des employés de bureaux, l'emplacement des prélèvements devra se situer au plus proche du poste de travail de l'occupant du bureau investigué.

Conservation des échantillons après échantillonnage

La conservation du matériel collecté sur le filtre est assurée par l'ajout de 2mL de Guanidine Thiocyanate sur le filtre. Celui-ci est alors coupé en deux, roulé et placé dans des microtubes stériles. Les échantillons sont alors placés dans la carboglace (-80°C) et doivent être envoyés très rapidement au laboratoire (Chronopost).

Annexe 18 : Proposition de protocole de détection et de quantification des moisissures

Domaine d'application

Ce protocole décrit la méthode de détection et de quantification des moisissures dans l'air intérieur par méthodes active et passive, dans le cadre de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur.

Références bibliographiques

Thèse de Stéphane Moularat, soutenue en 2005 pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université de Marne la Vallée, et intitulée « Etude de la contamination fongique des environnements intérieurs par la détermination et la mesure de traceurs chimiques spécifiques : application à l'hygiène de l'habitat »

Principe des méthodes choisies

Habituellement, les méthodes de détection et de quantification des moisissures dans les environnements intérieurs passent par une recherche visuelle des traces de moisissures et une mise en culture d'échantillons prélevés par impaction. Or, seules 30% des contaminations sont visibles, et seuls 0,1 à 10% des moisissures présentes dans l'air intérieur sont cultivables. Pour pallier à ces manques, deux méthodes complémentaires sont proposées :

1. détection : recherche par prélèvement passif des COV émis par les moisissures ;
2. quantification : prélèvement actif des particules aéroportées et extraction de l'ergostérol, puis analyse à l'HPLC (composé de la paroi cellulaire des moisissures).

Matériel de prélèvement

1. détection : le matériel utilisé est le même que pour le prélèvement des COV ; ces deux mesures s'effectuent en parallèle sur les mêmes tubes Radiello carbograph 4 ;
2. quantification : la collecte des particules aéroportées est effectuée grâce à un capteur individuel de poussière (CIP) de la marque ALRECO.

Durée de prélèvement

1. détection : les tubes passifs sont exposés sur site pendant une durée de 5 jours (du lundi matin au vendredi soir) ;
2. quantification : la durée des prélèvements est ici aussi de 5 jours (du lundi matin au vendredi soir).

Nombre et lieux de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Emplacement des prélèvements

Le point de prélèvement doit être représentatif de l'exposition moyenne, à hauteur des voies respiratoires d'une personne assise à son poste de travail, entre 1,2 et 1,3 m. Il conviendrait d'éviter les zones de la pièce largement exposées à une ventilation, comme les zones proches de portes et fenêtres. Cependant, dans un souci d'évaluer l'exposition moyenne des employés de bureaux, l'emplacement des prélèvements devra se situer au plus proche du poste de travail de l'occupant du bureau investigué.

Conservation des échantillons après échantillonnage

Pour les prélèvements passifs, les cartouches doivent être conservées au réfrigérateur et à l'abri de la lumière.

En ce qui concerne la collecte des aérosols fongiques (méthode active), les échantillons doivent être conservés dans un emballage hermétique et à l'abri de la lumière.

Dans les deux cas, les échantillons sont envoyés par Chronopost, une fois par semaine au laboratoire d'analyse.

Annexe 19 : Proposition de protocole de prélèvement des allergènes dans les poussières et dans l'air (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)

Domaine d'application

Ce protocole définit les conventions d'échantillonnage pour la détermination des particules allergéniques dans les poussières et pour le mesurage des concentrations des allergènes dans la poussière et dans l'air des bureaux.

Références normatives et bibliographiques

Pour l'air :

NF X43-404 Air de l'habitat domestique et des locaux collectifs – Prélèvement aérien et analyse des allergènes de l'environnement intérieur

NF X 44-013 Séparateurs aérauliques – Méthode d'essai des filtres à l'aérosol de chlorure de sodium par photométrie de flamme

Pour les poussières :

Recommandations Platts-Mills T., Vervloet D., Chapman M., Indoor Allergens and Asthma : Report of the 3rd International Workshop. *J Allergy Clin Immunol* 1997 ; 100 : 1s-24s.

Principe des méthodes choisies

Les particules allergéniques sont prélevées :

- par aspiration de l'air ambiant, directement sur des filtres en microfibres de verre montés sur des cassettes « boîte filtre » ;
- par aspiration de la poussière, directement dans des sacs d'aspirateurs.

Matériel de prélèvement

Pour l'air :

Utilisation de pompes statiques à membrane (i.e. des pompes à vide à deux têtes) ayant un débit nominal de 55L/min et une pression maximale de 4 bars. Le débit préconisé est de 20L/min +/- 5%. Celui-ci sera vérifié grâce à un débitmètre. Les filtres sont contenus dans des cassettes « boîte filtre de 37mm » en plastique transparent de polystyrène de la marque Millipore (M000 037 00, Saint Quentin Yvelines, France). Les filtres, de la marque Millipore (AP40 037 05, Saint Quentin Yvelines, France) sont en microfibres de verre borosilicatés sans résine liante. Le diamètre de ces filtres est de 37mm.

Pour les poussières :

Utilisation d'un aspirateur ayant une dépression de 31 kPa et une puissance minimum de 1500 W. l'appareil est peu encombrant, et ses filtres sont facilement accessibles pour pouvoir être changés toutes les 5 utilisations. Les sacs d'aspirateur ont une double épaisseur et sont adaptés à l'aspirateur utilisé.

Durée de prélèvement

Pour l'air : 1 heure

Pour les poussières : 2 min/m²

Nombre de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Pour l'air : 2 cassettes par bureau

Pour les poussières : 1 sac d'aspirateur par bureau

Emplacement des appareils

Pour l'air : au milieu du bureau et à une hauteur comprise entre 1,20 et 1,30m

Pour les poussières : moquette et chaises de bureau

Conditions de conservations des échantillons après prélèvement

Pour l'air et les poussières : les échantillons sont enfermés dans un sachet plastique et conservés à température ambiante, en présence de déshumidificateurs (sachet de gel de silice ou argile), pendant 15 jours au maximum. Ce sachet plastique sera protégé durant le transport par un plastique en bubblegum ou autre. Ils sont envoyés au laboratoire tous les 15 jours par envoi normal.

Annexe 20 : Proposition de protocole de prélèvement de la matière particulaire (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)

Domaine d'application

Ce protocole décrit la procédure de prélèvement des particules en suspension dans l'air ambiant. Cette méthode est destinée à être utilisée pour les prélèvements réalisés dans l'air des locaux, dans le cadre de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur.

Principe de la méthode choisie

Les particules en suspension sont sélectionnées par impaction pour répondre aux spécifications PM_{2,5} et PM₁₀. La matière particulaire est recueillie sur des filtres en PTFE.

Références normatives et bibliographiques

Compendium of methods for the determination of inorganic compounds in ambient air (EPA method IO –2.3).

Sampling of ambient air for PM-10 concentration using the Rupprecht and Patashnick (R et P) low volume partisol sampler.

Matériel de prélèvement

L'échantillonnage des particules en suspension est réalisé au moyen d'un préleveur programmable, à débit régulé, désigné sous le nom de Mini-Partisol (R&P, Ecomesure).

Le préleveur est couplé à une tête de prélèvement (Chempass ; R&P, Ecomesure) qui intègre deux impacteurs permettant de sélectionner simultanément les fractions PM_{2,5} et PM₁₀. Le débit d'aspiration pour chaque voie est de 1,6 L/min. Les particules sont collectées sur des filtres en PTFE (porosité 2 µm, diamètre 37 mm) munies d'un anneau support (Gelman, Teflon-2 µm-37 mm, référence R2PJ037).

Durée de prélèvement

Le prélèvement est effectué sur 5 jours (du lundi matin au vendredi soir).

Le préleveur est programmé pour fonctionner de 8h00 à 17h00 les jours ouvrés,

Nombre et lieux de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Un Mini-Partisol est placé dans chaque point de mesure.

Emplacement de l'appareil

Le point de prélèvement doit être représentatif de l'exposition moyenne, à hauteur des voies respiratoires d'une personne assise à son poste de travail, entre 1,2 et 1,3 m.

Il convient de localiser le préleveur le plus possible au centre du bureau en évitant son installation dans les zones mal ventilées comme les angles d'une pièce.

Blanc de terrain

Un filtre témoin est placé dans 5% des bureaux. Les procédures de préparation, de conditionnement, de transport et d'analyse sont identiques à celles qui s'appliquent aux prélèvements.

Le filtre est placé dans une boîte de conservation (« petrislide ») adaptée à la dimension du filtre qui sera fermée pendant la durée complète du prélèvement. La boîte est conservée à proximité du préleveur pendant la durée des prélèvements.

Conservation et transport des échantillons avant et après échantillonnage

Les filtres vierges sont pesés au laboratoire d'analyse et conservés à température ambiante. Ils sont envoyés en région, par la poste, dans les pétrisliques.

En région, avant d'être installés sur site, les filtres sont conservés dans leurs pétrislides à température ambiante.

Après exposition sur site, les filtres sont remis dans leurs pétrislides, et stockés à l'abri de la lumière avec du papier aluminium, dans un réfrigérateur.

Ils sont ensuite expédiés au laboratoire d'analyse, par envoi rapide (24 heures), dans des boîtes isothermes réfrigérées. Le rythme d'expédition des filtres est d'un envoi tous les 15 jours.

Annexe 21 : Proposition de protocole de mesure de la lumière

Domaine d'application

Ce protocole décrit la procédure de mesures de la lumière réalisée dans le cadre de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur.

Principe de la méthode choisie

La méthode choisie consiste à mesurer directement l'intensité lumineuse grâce à un appareillage adapté (luxmètre).

Matériel de mesure

Il faudra choisir un luxmètre qui puisse mesurer la luminosité en continu, ou au moins enregistrer les mesures prises avec un certain pas de temps pendant une longue période.

Durée de prélèvement

La durée totale des prélèvements sera de 5 jours (du lundi matin au vendredi soir). Le pas de temps des mesures sera ajusté lors de la campagne pilote.

Nombre et lieux de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Emplacement de l'appareil

Le point de prélèvement doit être représentatif de l'exposition moyenne, à hauteur d'yeux d'une personne assise à son poste de travail, entre 1,2 et 1,3 m.

Déchargement des données

Les données sont déchargées en région avec les logiciels spécifiques de l'appareil et envoyées par mail directement dans la base de données de l'OQAI.

Annexe 22 : Proposition de protocole de mesure du bruit

Domaine d'application

Ce protocole décrit la procédure de mesures du bruit réalisée dans le cadre de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur.

Références normatives

Norme NF S 31-010 : « Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement »

Principe de la méthode choisie

La méthode choisie consiste à mesurer directement l'intensité du bruit grâce à un appareillage adapté (sonomètre).

Matériel de mesure

Il faudra choisir un sonomètre qui puisse mesurer le bruit en continu, ou au moins enregistrer les mesures prises avec un certain pas de temps pendant une longue période. Pour cela, un sonomètre du type du modèle 322 de la marque Conrad semble être une bonne option : il permet de mesurer une intensité de bruit de 30 à 130 dB dans les unités de mesures dB[A] et dB[C]. Il est protégé contre les parasites avec une résolution de 0,1 dB. Il permet d'enregistrer 32 000 mesures, ce qui correspond environ à 1 toutes les 15 secondes pendant 5 jours.

Durée de prélèvement

La durée totale des prélèvements sera de 5 jours (du lundi matin au vendredi soir). Le pas de temps des mesures sera ajusté lors de la campagne pilote.

Nombre et lieux de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Emplacement de l'appareil

Le point de prélèvement doit être représentatif de l'exposition moyenne, à hauteur du système auditif d'une personne assise à son poste de travail, entre 1,2 et 1,3 m.

Déchargement des données

Les données sont déchargées en région avec les logiciels spécifiques de l'appareil et envoyées par mail directement dans la base de données de l'OQAI.

Annexe 23 : Proposition de protocole de mesure de la température (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)

Domaine d'application

Mesurage des températures d'air pour évaluer les risques de condensations.

Mesurage des températures d'air pour une connaissance propre des ambiances intérieures.

Mesurage des températures d'air en tant que paramètre pouvant affecter la mesure des polluants intérieurs.

Principe de la méthode

Mesure continue de la température avec un capteur de type thermistance ou résistance de platine.

Références normatives et bibliographie

Pour les spécifications relatives aux appareils et méthodes de mesure des caractéristiques physiques de l'environnement, on se reportera à la norme française sur les ambiances thermiques X 35-202 (NF ISO 7726).

Matériel de mesure

Deux types d'appareils peuvent être utilisés : soit le Q-Track fabriqué par la société TSI, soit l'HydroLog fabriqué par la société ROTRONIC.

Le Q-Track mesure simultanément le CO₂, la température et l'humidité relative. Le capteur de température est une thermistance avec une plage de mesure allant de 0°C à 50°C (précision ± 0.6 °C).

L'hydroLog mesure simultanément la température et l'humidité relative. Le capteur de température est une sonde platine Pt100 1/3 DIN avec une plage de mesure allant de -10°C à + 50°C (précision ± 0.3 °C).

Durée de prélèvement

La mesure en continu de la température est effectuée sur une période de 5 jours (du lundi matin au vendredi soir) avec un pas de temps de mesure de 10 minutes.

Nombre et lieu de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Un appareil de mesure est placé dans chaque point de mesure.

Quelle que soit la localisation des points de mesure, les sondes de température doivent être éloignées des sources de chaleur d'au moins 0,5 m et du rayonnement solaire direct.

Déchargement des données

Les données sont déchargées en région avec les logiciels spécifiques (TrakPro ou HW3) à chacun des appareils et envoyées par mail directement dans la base de données de l'OQAI.

Annexe 24 : Proposition de protocole de mesure de l'humidité relative (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)

Domaine d'application

Mesurage des humidités relatives de l'air pour évaluer les risques de condensations.
Mesurage des humidités relatives pour une connaissance propre des ambiances intérieures.
Mesurage des humidités relatives en tant que paramètre pouvant affecter la mesure des polluants intérieurs.

Principe de la méthode

La mesure de l'humidité relative s'effectuera avec un hygromètre électronique à variation d'impédance. L'élément sensible est constitué d'une substance hygroscopique dont on mesure les variations d'une propriété électrique (capacité) en fonction de l'humidité.

Références normatives et bibliographiques

Pour les spécifications relatives aux appareils et méthodes de mesure des caractéristiques physiques de l'environnement, on se reportera à la norme française sur les ambiances thermiques X 35-202 (NF ISO 7726) ainsi qu'à la norme sur les instruments de mesure de l'humidité de l'air NF X 15-111.

Matériel de mesure

Deux types d'appareils peuvent être utilisés : soit le Q-Track fabriqué par la société TSI, soit l'HydroLog fabriqué par la société ROTRONIC.

Le Q-Track mesure simultanément le CO₂, la température et l'humidité relative. Le capteur de type capacitif mesure l'humidité relative de l'air dans une plage allant de 5% HR à 95% HR (précision $\pm 3\%$ HR).

L'hydroLog mesure simultanément la température et l'humidité relative. Le capteur de type capacitif mesure l'humidité relative de l'air dans une plage allant de 0% HR à 100% HR (précision $\pm 1,5\%$ HR).

Durée de prélèvement

La mesure en continu de l'humidité relative est effectuée sur une période de 5 jours (du lundi matin au vendredi soir) avec un pas de temps de mesure de 10 minutes.

Nombre et lieu de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Un appareil de mesure est placé dans chaque point de mesure.

Déchargement des données

Les données sont déchargées en région avec les logiciels spécifiques (TrakPro ou HW3) à chacun des appareils et envoyées par mail directement dans la base de données de l'OQAI.

Annexe 25 : Proposition de protocole de mesure du CO₂ (adapté du protocole utilisé lors de la campagne logement de l'OQAI)

Domaine d'application

Mesurage de la concentration en dioxyde de carbone en tant que marqueur des bioeffluents humains. La concentration en CO₂ permet d'apprécier le degré de renouvellement d'air d'un local.

Principe de la méthode

La mesure de la concentration en CO₂ s'effectuera avec un analyseur portatif fonctionnant sur le principe de l'absorption infrarouge non dispersif (NDIR : Non Dispersive InfraRed)

Références normatives et bibliographiques

Pour les méthodes de dosage du dioxyde de carbone, on se reportera à la norme française NF X20-380.

Matériel de mesure

L'appareil de mesure Q-Track, fabriqué par la société TSI, mesure simultanément le CO₂, la température et l'humidité relative. Le capteur de CO₂ est une cellule infrarouge avec une plage de mesure allant de 0 ppm à 5000 ppm (précision $\pm 3\%$ de lecture, ± 50 ppm). Le détecteur doit être étalonné avant chaque campagne de mesures et vérifié tous les mois. L'étalonnage s'effectue à l'aide d'un dispositif permettant le passage sur le capteur d'un flux de N₂ et de CO₂ provenant de bouteilles certifiées. L'étalonnage devra être réalisé pour les deux points suivants : 0 ppm et 1500 ppm.

Durée de prélèvement

La mesure en continue du dioxyde de carbone est effectuée sur une période de 5 jours (du lundi matin eu vendredi soir) avec un pas de temps de mesure de 10 minutes.

Nombre et lieu de prélèvements

Le nombre de bureaux investigués par bâtiment sera compris entre 2 et 10, selon le nombre total de bureaux dans le bâtiment. Ceux-ci seront choisis au hasard parmi un panel de bureaux représentatifs des activités du bâtiment.

Un appareil de mesure est placé dans chaque point de mesure.

Déchargement des données

Les données sont déchargées en région avec le logiciel TrakPro et envoyées par mail directement dans la base de données de l'OQAI.