



## Qualité de l'air et confort dans les bâtiments performants en énergie : l'éclairage de l'OQAI

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a mis en place en 2012 un dispositif – unique en France – de collecte d'informations sur la qualité de l'air intérieur et le confort dans des bâtiments performants en énergie, neufs ou nouvellement réhabilités. Ce dispositif a pour but de décrire les situations rencontrées en termes de fonctionnement et d'usage des bâtiments, de niveaux de qualité d'air et de confort, mais aussi d'identifier les pistes d'amélioration pour la conception, la mise en œuvre et la gestion de ces bâtiments. L'OQAI a fait le point sur les enseignements de cette étude lors d'un atelier public le 23 mars 2017, au Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) à Paris.

L'adaptation au changement climatique et la sobriété énergétique représentent des défis majeurs pour le secteur de la construction. Les mutations dans la conception et les modes constructifs des bâtiments sont aujourd'hui profondes, et portent notamment sur l'architecture, l'isolation thermique, l'étanchéité à l'air de l'enveloppe ainsi que sur les équipements et les systèmes. L'ensemble de ces avancées doit se faire en cohérence avec la qualité de l'air intérieur et le confort des occupants. C'est pourquoi l'OQAI a été missionné par les pouvoirs publics pour mettre en place un programme dédié à l'étude de la qualité de l'air et du confort dans les bâtiments répondant aux réglementations les plus récentes en matière de performance thermique : le programme OQAI-BPE.

## SOMMAIRE

**p 2** - Démarrage du programme OQAI-BPE

**p 3** - Dispositif de collecte des données OQAI-BPE

**p 4** - Caractéristiques des 72 logements étudiés

**p 5** - Résultats

**p 6** - OQAI-BPE, la suite

**p 7** - Retour d'expérience de l'AQC  
- Une recherche internationale

## ○ Démarrage du programme OQAI-BPE

Les travaux ont commencé dès 2008 avec le **suivi dans le temps de 7 maisons performantes en énergie** ; 2 d'entre elles suivies pendant 3 ans ont fourni un retour d'expérience instructif sur l'appropriation de ces bâtiments par les occupants et les interactions avec la qualité de l'air ainsi que le confort des habitants *(voir encadré 1)*.

Ces premières connaissances ont conduit à la mise en place d'un **dispositif de collecte de données à plus large échelle**, qui rassemble au fil de l'eau, dans une base de données dédiée, des informations collectées par des opérateurs locaux, selon un protocole commun.



### ENCADRÉ 1 - RETOUR D'EXPÉRIENCE DU SUIVI SUR 3 ANS DE 2 MAISONS PERFORMANTES EN ÉNERGIE

- ⊕ **Infiltrations d'air parasites très réduites**
- ⊕ **Consommations d'énergie mesurées faibles**
- ⊕ **Faible confinement de l'air**
- ⊕ **Pas de spécificité de la QAI, ni du confort thermique**
- ⊕ **Absence de surchauffe estivale** à condition d'utiliser de façon optimale les protections solaires extérieures
- ⊕ **Stabilité voire diminution dans le temps** des concentrations de certains composés organiques volatils (COV)
- ⊖ **Difficultés** avec les systèmes de ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux :
  - **dysfonctionnement à réception** dans une maison
  - **débits d'extraction réglementaires non systématiquement atteints**
  - **difficulté d'appropriation** par l'occupant, notamment **difficulté d'entretien** (filtres, conduits)
  - **dérèglement du système à l'usage**
  - gênes dues au **bruit de la VMC**, en particulier la nuit
  - **dégradation de la qualité de l'air en cas d'arrêt du système de ventilation**
- ⊖ **Augmentation ponctuelle** des concentrations de certains COV en lien avec les activités des occupants

## Dispositif de collecte des données OQAI-BPE

Le dispositif de collecte des données repose sur des **protocoles harmonisés d'enquête** développés par l'OQAI et ses partenaires scientifiques et techniques (*voir encadré 2*). La collecte de données est assurée par des opérateurs locaux volontaires financés par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et le ministère en charge du Logement, cofinancés localement ou autofinancés. La gestion et l'exploitation de la base de données sont effectuées par le CSTB.

Depuis 2013, près de 100 bâtiments ont été investigués par 31 opérateurs volontaires.

**Les résultats et enseignements du programme portent à ce jour sur 72 logements répartis dans 43 bâtiments.** Les bâtiments enquêtés sont en majorité des bâtiments démonstrateurs PREBAT<sup>1</sup>. Ces bâtiments sont sélectionnés sur la base du volontariat. Ces données ne sont donc pas généralisables au parc actuel de bâtiments performants en énergie construits ou rénovés en France, mais leur étude apporte des indications utiles aux concepteurs, gestionnaires de parcs de bâtiments, architectes et bureaux d'études.

### ENCADRÉ 2 - LE DISPOSITIF DE COLLECTE DE DONNÉES OQAI-BPE EN BREF

Le dispositif de collecte de données OQAI-BPE met à disposition des partenaires :

#### ➤ Un ensemble de protocoles de mesure

Les protocoles définissent des indicateurs de :

- renouvellement d'air et ventilation : dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), débits d'air et pression aux bouches de ventilation ;
- pollution : monoxyde de carbone (CO), 16 composés organiques volatils<sup>2</sup> (COV), 3 aldéhydes<sup>3</sup>, dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), radon, particules en suspension dans l'air (PM<sub>2,5</sub>), moisissures ;
- confort d'ambiance : thermique, acoustique, visuel et olfactif.

Chaque logement est enquêté par des opérateurs locaux pendant 1 semaine **à 2 reprises** : en période de chauffe d'une part, et d'autre part, en période de hors-chauffe. 2 points de mesure par logement sont sélectionnés : **le séjour et la chambre principale**.

#### ➤ Un jeu de questionnaires

Ils décrivent les bâtiments, les logements, les occupants et leurs usages, ainsi que les activités pendant les mesures et la perception des occupants vis-à-vis de l'environnement intérieur.

#### ➤ Des documents supports

Ces documents incluent notamment une fiche réflexe à destination des opérateurs locaux fournissant les valeurs limites de concentration de certains polluants dont le dépassement enclenche une action d'information ou de remédiation et une trame type de rendu de résultats à destination des occupants.

*Les rapports d'exploitation des données collectées sont publiés périodiquement sur le site [www.oqai.fr](http://www.oqai.fr)*

<sup>1</sup> PREBAT : Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment. Lancé en 2005, PREBAT coordonne les initiatives visant à la réalisation de bâtiments basse consommation neufs ou réhabilités en France. Les appels à projets régionaux ADEME ont permis de soutenir la réalisation de 2950 bâtiments exemplaires à basse consommation permettant de répondre aux 3 problématiques suivantes :

- réhabilitation à haut niveau de performance énergétique des bâtiments existants ;
- construction banalisée de bâtiments neufs de tous types (consommant en moyenne moins de 50 kWhEP/(m<sup>2</sup>.an) pour les 5 usages : chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires : ventilateurs, pompes) ;
- réalisation de bâtiments à énergie positive.

<sup>2</sup> 1-méthoxy-2-propanol, 1,4-dichlorobenzène, 1,2,4-triméthylbenzène, 2-butoxyéthanol, alpha-pinène, benzène, éthylbenzène, limonène, (m+p)-xylènes, n-décane, n-hexane, o-xylène, styrène, tétrachloroéthylène, toluène, trichloroéthylène.

<sup>3</sup> acétaldéhyde, formaldéhyde, hexaldéhyde.



## Caractéristiques des 72 logements étudiés

Parmi les 72 logements étudiés, 44 ont été construits entre 2008 et 2012 et 28 ont été rénovés entre 2010 et 2013. La quasi-totalité des maisons individuelles (16 sur 17) sont neuves alors que les logements collectifs, pour l'essentiel à vocation sociale, sont pour moitié neufs (28 sur 55) et pour moitié rénovés (27 sur 55). Le délai médian d'enquête est de 2 ans après la fin de la construction ou la fin des travaux de rénovation.

La consommation moyenne énergétique conventionnelle totale<sup>4</sup> des logements est proche de 55 kWhEP/(m<sup>2</sup>.an) et la perméabilité à l'air<sup>5</sup> moyenne exprimée en m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>) sous une pression de 4 Pa est égale à 0,54 pour les maisons individuelles et à 0,86 pour les logements collectifs.

La quasi-totalité des maisons individuelles (94 %) présente des façades légères, notamment à ossature bois, alors que les

immeubles collectifs présentent des façades lourdes, notamment en béton, dans 81 % des cas.

Les logements présentent la particularité d'être quasiment tous ventilés grâce à un système de ventilation mécanique contrôlée (VMC), simple ou double flux. Le chauffage est majoritairement assuré par des pompes à chaleur ou des poêles à bois dans les maisons individuelles, et par des chaudières ou un réseau de chaleur pour les logements collectifs. Les maisons individuelles sont occupées plutôt par des familles propriétaires de leur logement, composées d'un couple et de deux enfants ou plus. La personne de référence du ménage possède plutôt un diplôme élevé et exerce une « profession de cadre supérieur ».

Les logements collectifs sont occupés plutôt par des locataires composés de personnes seules, de couples sans enfant ou de familles monoparentales. La personne de référence du ménage est plutôt une femme employée ou exerçant une « profession intermédiaire ».

<sup>4</sup> La consommation d'énergie conventionnelle est calculée avec certaines hypothèses fixées, notamment de température intérieure, de présence des occupants, de scénarios d'occupation et d'historique des données météorologiques pour 5 usages pris en compte (chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires : ventilateurs, pompes).

<sup>5</sup> La valeur de référence de la perméabilité à l'air (en m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>) sous 4 Pa) de la RT2005 est de 0,8 en maison individuelle et 1,2 en collectif. Les valeurs réglementaires de la RT2012 sont 0,6 en maison individuelle et 1 en collectif.

## ○ Résultats

### Qualité de l'air intérieur

Les résultats sont comparés à la campagne nationale « logements » (CNL) menée par l'OQAI entre 2003 et 2005, ainsi qu'à l'étude pilote de la CNL réalisée en 2001.

#### ○ Les similitudes

Il n'y a pas de différence majeure pour la plupart des substances mesurées :

- **le radon, les particules (PM<sub>2,5</sub>), 2 aldéhydes (formaldéhyde et acétaldéhyde) et 8 composés organiques volatils (1,2,4-triméthylbenzène, benzène, éthylbenzène, (m+p)-xylènes, o-xylène, n-décane, styrène, toluène)<sup>6</sup> :** concentrations équivalentes voire inférieures à celles de la CNL ;
- **l'humidité relative :** équivalente voire inférieure à celle de la CNL.

#### ○ Les différences

- **le dioxyde d'azote :** concentration plus faible que dans l'étude pilote de la CNL (composé non mesuré dans la CNL) ;
- **les moisissures :** développement fongique actif dans 47 % des logements étudiés contre 37 % pour la CNL. Cette présence de moisissures est plus souvent cachée (1 % des logements présentent des traces de moisissures visibles par rapport à 15 % dans la CNL) ;
- **l'hexaldéhyde :** concentration supérieure en période hors-chauffe par rapport à celle de la CNL (valeur moyenne de 30 µg/m<sup>3</sup> versus 21 µg/m<sup>3</sup>) ;
- **l'α-pinène et le limonène :** concentrations supérieures à celles de l'étude pilote de la CNL (composés non mesurés dans la CNL) (valeur moyenne de 23 versus 5,9 µg/m<sup>3</sup> pour l'α-pinène et 20 versus 8,9 µg/m<sup>3</sup> pour le limonène) ;
- **la température intérieure :** systématiquement supérieure par rapport à la CNL : valeur moyenne hebdomadaire dans la chambre de 21 °C en chauffe versus 20 °C pour la CNL et de 24 °C hors-chauffe versus 23 °C pour la CNL.

#### ○ Les facteurs expliquant les différences observées

Les facteurs expliquant les concentrations intérieures en α-pinène, limonène et hexaldéhyde et la présence d'un développement fongique ont été recherchés.

Les 3 sources majeures d'α-pinène sont l'ossature bois, la présence de mobilier en bois dans la pièce de mesure et, pour les logements situés au dernier étage, l'isolant végétal à base de bois placé au niveau des combles. L'introduction de mobilier neuf durant la semaine de mesure et le stockage des produits d'entretien à l'intérieur du logement sont associés à l'augmentation des concentrations en limonène. L'ossature bois et la présence de revêtements de sol à base de bois brut ou reconstitué sont les 2 principales sources d'hexaldéhyde. Enfin, l'augmentation du renouvellement de l'air du logement diminue les concentrations de ces 3 polluants. La recherche des facteurs du développement actif de moisissures n'a pas abouti du fait du nombre limité d'observations, mais elle a souligné l'impact possible du type d'isolation thermique, de l'occupation du logement et de la survenue de problèmes d'humidité, d'infiltrations et de dégâts des eaux.



<sup>6</sup> Sur les 16 composés organiques volatils ciblés, 6 ont été écartés de la comparaison car ils étaient quantifiés dans moins de 50 % des 72 logements (1,4-dichlorobenzène, n-hexane, tétrachloroéthylène et trichloroéthylène) ou moins de 50 % des logements de la CNL (1-méthoxy-2-propanol, 2-butoxyéthanol).



## Renouvellement de l'air et fonctionnement des systèmes de ventilation

### ● Confinement

Les niveaux de confinement sont égaux voire inférieurs à ceux mesurés dans la CNL.

### ● Systèmes de ventilation

L'état des systèmes de ventilation et les dysfonctionnements soulignés sont comparables à ceux observés dans la CNL, avec des points de vigilance mis en avant :

- **les mesures de pression** réalisées aux bouches d'extraction de 16 systèmes de VMC simple flux hygro-réglables sont comprises dans les plages de fonctionnement préconisées par les fabricants dans 50 % des cas ;
- **les mesures de débits d'air extrait** réalisées aux bouches des systèmes de VMC double flux autoréglables de 8 logements neufs sont conformes aux débits réglementaires pour les débits réduits en cuisine et les débits réduits totaux, alors qu'ils ne le sont pas systématiquement pour les débits à atteindre en cuisine (grand débit), en salle de bain et en WC.

## Perception des occupants

Parmi les occupants âgés de 15 ans et plus, interrogés vis-à-vis de leur perception du confort d'ambiance, 63 % ont répondu au questionnaire qui leur était proposé à chaque enquête.

**Quelle que soit la saison, plus de 80 % des répondants sont satisfaits du confort global de leur logement, ainsi que du confort thermique, olfactif, visuel, sonore et de la qualité de l'air intérieur.** Une minorité des répondants ont exprimé une insatisfaction, et plus précisément :

- environ 30 % des répondants rapportent la présence d'odeurs en majorité désagréables ;
- entre 15 et 21 % des répondants selon la saison ne sont pas satisfaits de la température dans leur logement ;
- moins de 20 % des répondants ne sont pas satisfaits de la vue depuis leurs fenêtres et sont gênés par l'éclairage public la nuit dans leur chambre, par la lumière naturelle ou par les rayonnements directs du soleil ;
- environ 15 % des répondants jugent leur logement bruyant quelle que soit la saison ou le moment de la journée ;
- environ 10 % des répondants ne sont pas satisfaits de la qualité de l'air de leur logement et jugent l'air mal renouvelé.

### ● OQAI-BPE, la suite

- **Prochaine exploitation de la base de données en 2017**, qui représentera un échantillon d'une centaine de logements.
- Recherche des **facteurs responsables du développement actif des moisissures** sur ce nouvel échantillon comportant un nombre plus élevé d'observations.
- **Poursuite de l'étude de la perception** de la qualité de l'environnement intérieur : identification du rôle des facteurs socioéconomiques et des caractéristiques des bâtiments, et étude des liens entre les perceptions des différentes ambiances (thermique, acoustique, visuelle, olfactive).
- Exploitation des données relatives aux **écoles** et aux **immeubles de bureaux performants en énergie**.

## Retour d'expérience de l'Agence qualité construction (AQC)

### Mariangel SANCHEZ, AQC

Afin d'accompagner les acteurs de la construction dans les risques émergents de pathologies liées à la transition énergétique, l'AQC a mis en place dès 2010 le Dispositif REX Bâtiments performants (REX BP). Celui-ci consiste à capitaliser des retours d'expérience en se basant d'une part sur l'audit *in situ* de bâtiments précurseurs en termes de performance énergétique et environnementale et, d'autre part, sur l'interview des acteurs ayant participé aux différentes phases de leur élaboration. Le partage des expériences recueillies, qui est au cœur du mode opératoire, s'appuie tout autant sur l'apprentissage par l'erreur que sur la valorisation des bonnes pratiques.

Dans le domaine de la qualité de l'air intérieur (QAI), le Dispositif REX BP a montré que le défi de la performance énergétique n'est pas seulement d'atteindre le niveau visé, mais de le faire en garantissant à l'occupant un environnement intérieur sain et confortable.

Divers risques pour la QAI ont été identifiés :

- la présence d'humidité dans les parois (accompagnée de développement fongique) avec 3 causes principales : l'absence d'une protection adaptée des matériaux de construction vis-à-vis des intempéries en amont et lors du chantier (transport, stockage, mise en œuvre), les difficultés de séchage des supports en phase chantier en raison du renforcement de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et de l'absence d'aération/ventilation provisoire, la présence de ponts thermiques ;
- le manque de maîtrise des systèmes de ventilation à toutes les phases de vie du bâtiment, dans la mesure où la QAI est fortement dépendante de ce système ;
- les interactions entre des équipements techniques (exemple : système de ventilation et appareils à combustion non étanches).

## Une recherche internationale

La qualité de l'air et le confort dans les bâtiments performants en énergie font l'objet d'études dans le monde entier. En Europe, plusieurs études ont été publiées depuis 2015 : en Angleterre, Belgique, Suède, Finlande et Autriche. Aux États-Unis, l'Agence américaine de l'environnement a également publié des protocoles pour vérifier la qualité de l'air intérieur après des opérations de rénovation énergétique. En Californie, une feuille de route 2012-2030 des travaux de recherche à conduire sur le sujet a été élaborée pour la Commission de l'énergie ([www.energy.ca.gov/research/](http://www.energy.ca.gov/research/)). Enfin, l'Agence internationale de l'énergie mène actuellement des travaux dédiés à la prise en compte de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments résidentiels performants en énergie ([www.iea-ebc-annex68.org/about\\_annex-68](http://www.iea-ebc-annex68.org/about_annex-68)). À noter, les travaux de l'OQAI ont été exploités pour une expertise européenne menée dans le cadre de la révision de la Directive 2010/31/UE sur la performance énergétique des bâtiments. Cette expertise a recensé l'ensemble des données disponibles dans le monde afin d'émettre des recommandations. Le rapport, publié en janvier 2017, est téléchargeable sur le site de la Commission européenne<sup>7</sup>.



<sup>7</sup> <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/promoting-healthy-and-energy-efficient-buildings-european-union-national-implementation>

## Remerciements

**Partenaires scientifiques et techniques de l'OQAI ayant contribué à l'élaboration du protocole commun :** ADEME, AIR&BIO, Air Normand, Air Rhône-Alpes, ASPA, CEREMA Nord-Picardie, CEREMA Ouest, CERTES/ Université Paris-Est Créteil, COSTIC, DHUP, EHESP, École des Mines de Douai, HUS/Service pneumologie, INERIS/LCSQA, LCPP, LHVP, PEUTZ, Université Cergy-Pontoise, Université Lyon 1/CNRS écologie microbienne.

**Opérateurs du dispositif OQAI-BPE :** Air Breizh, Air Efficience, Air Languedoc-Roussillon, Air Lorraine, Air Normand, Air Rhône-Alpes, Aldes, Allie'Air, ASPA, Atchys Ventilation, Atmo Auvergne, Atmo Franche-Comté, Atmo Picardie, Atmo Poitou-Charentes, Certifair, CEREMA Est, CEREMA Centre-Est (Autun - Clermont-Ferrand - Isle d'Abeau), CEREMA Méditerranée, CEREMA Nord-Picardie, CEREMA Normandie-Centre, CEREMA Ouest, CEREMA Sud-Ouest, CSTB, CREA (Communauté Agglo Rouen), INERIS, Lig'air, Medieco Conseil & Formation, SGS Multilab, Université La Rochelle.

Si vous voulez rejoindre le groupe des partenaires, contactez l'OQAI : [oqai.bbc@cstb.fr](mailto:oqai.bbc@cstb.fr)



L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a été créé en juillet 2001. Il est placé sous la tutelle des ministères en charge du Logement, de l'Écologie et de la Santé, dans le cadre d'une convention entre ces 3 ministères, le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). Il est financé à 100 % sur fonds publics par les ministères, l'ADEME et l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses).

