Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique
Avenue du Professeur Léon Bernard
CS 74312
35043 RENNES cedex

Olivier BLANCHARD
Olivier.blanchard@ehesp.fr
Tel : 02 99 02 25 31

Date de publication : 29 octobre 2012

Suivi de la qualité de l'air intérieur dans les habitations de l'éco-lotissement de la Pelousière à Langouët (35)

Rapport final pour la Communauté de Communes du Val d'Ille

Barbara LE BOT, Emilie SURGET et Olivier BLANCHARD
Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique
Campagne de mesures des COVs

Anne-Marie GIRARDEAU et Erik ZILLIOX
Maison de la Consommation et de l'Environnement
Enquête et questionnaires

Stéphane COLLE
Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement,
Département Laboratoire et CECP d'Angers
Groupe Bâtiment Thermique
Mesures du radon

Résumé

La Communauté de communes du Val d'Ille a sollicité l'EHESP pour réaliser des mesures de la qualité de l'air dans 5 habitations situées sur le lotissement de la Pelousière à Langouët (35). Ces habitations dites « écologiques » sont construites sur une ossature bois et ont bénéficié de matériaux naturels pour leur construction et leur isolation et de peintures à faibles teneurs en composés organiques volatils (COVs). Avec une consommation énergétique inférieure à 55kWh/(m^2.an), elles sont classées bâtiment basse consommation (BBC).

Les travaux visaient à quantifier les concentrations en COVs, plus particulièrement les aldéhydes et BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes). Ils ont été réalisés sur 2 campagnes de mesures 1) avant livraison des logements aux occupants et 2) en présence des occupants après un an d'occupation. Par ailleurs, une enquête auprès des occupants a été réalisée par la Maison de la consommation et de l'environnement (MCE).

Les mesures effectuées avant occupation des logements ont permis de mettre en évidence la présence de nombreux COVs. Les principales sources d'émission sont liées aux matériaux et produits utilisés pour la construction et l'isolation (bois, peintures, colles, vernis, revêtements…). Des différences ont été observées selon le type de construction et la nature des matériaux. La règlementation relative aux conditions de mise sur le marché des produits de construction et de décoration permet d'atteindre, pour le benzène, des concentrations inférieures à la valeur cible recommandée par le Haut conseil de la santé publique (HCSP). A l'inverse, pour le formaldéhyde, les concentrations sont supérieures à cette valeur cible. L'application, depuis le 1er janvier 2012, de la nouvelle règlementation sur l'étiquetage des produits de construction et décoration devrait permettre d'atteindre également cet objectif.

Les mesures réalisées après un an d'occupation ont montré une baisse significative des composés les plus volatils comme le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes. Concernant les aldéhydes, les résultats sont plus contrastés entre les différents logements. Le mobilier, l'usage de certains produits de consommation et le comportement des habitants semblent jouer un rôle important dans l'émission de ces composés. Pour les logements présentant des concentrations en formaldéhyde supérieures à 30 µg/m^3, il est conseillé d'agir sur la ventilation du logement et/ou sur les comportements des occupants pour ramener les niveaux en dessous de cette valeur.

La proposition d'étendre la règlementation sur l'étiquetage aux produits d'ameublement et aux autres sources intérieures (produits d'entretien, désodorisants…) devrait également permettre aux occupants de choisir les produits les moins émissifs en COVs.

Enfin, les mesures de radon réalisées dans les habitations indiquent des concentrations de radon très faibles. Les habitats testés ne présentent aucun risque particulier vis-à-vis de ce gaz.

Remerciements

L'EHESP, la MCE et le CETE de l'Ouest remercient la Communauté de communes du Val d'Ille pour leur sollicitation, Habitation Familiale pour leur implication, les habitants du lotissement de la Pelousière à Langouët pour leur aimable collaboration ainsi que l'ARS Bretagne pour son soutien financier au projet.

Table des matières

1 INTRODUCTION 5

2 OBJECTIF 5

3 METHODOLOGIE 6

3.1 SELECTION DES POLLUANTS 6
3.2 DESCRIPTION DES LOGEMENTS ET DU LIEU DE PRELEVEMENT 7
3.3 CAMPAGNE DE MESURES 8
3.3.1 Prélèvement et analyse des aldéhydes 8
3.3.2 Prélèvement et analyse des BTEX 9
3.3.3 Prélèvement et analyse qualitative des COVs 9
3.3.4 Paramètres de confort et de confinement 9
3.4 ENQUETE ET QUESTIONNAIRE 9

4 RESULTATS 11

4.1 SUIVI DES PARAMETRES DE CONFORT ET DE CONFINEMENT 11
4.2 CONCENTRATIONS EN ALDEHYDES DANS LES LOGEMENTS 13
4.3 CONCENTRATIONS EN BTEX DANS LES LOGEMENTS 18
4.4 ANALYSES QUALITATIVES DES COVS 22

5 DISCUSSION 25

5.1 IMPACT DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION ET DES USAGES 25
5.2 COMPARAISON AUX ETUDES SUR LA QAI DANS LES LOGEMENTS 28
5.3 COMPARAISON AUX VALEURS DE REFERENCE 30

6 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 36

7 MESURES COMPLEMENTAIRES : LE RADON 37

8 REFERENCE 40

Liste des figures

Figure 1 : Comparaison des concentrations en aldéhydes lors des deux campagnes 17

Figure 2 : Comparaison des concentrations en BTEX lors des deux campagnes..... 21

Figure 3 : Comparaison des concentrations en formaldéhyde aux valeurs de référence recommandées par le HCSP et à la VGAI de l'Anses 35

Figure 4 : Comparaison des concentrations en benzène à la VGAI de l'Anses..... 35

Figure 5 : Maisons individuelles du lotissement de la Pelousière..... 42

Figure 6 : Immeuble collectif du lotissement de la Pelousière 42

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des logements investigués lors des campagnes de mesures 7

Tableau 2 : Dates des prélèvements des deux campagnes..... 8

Tableau 3 : Suivi des paramètres de confort et de confinement..... 12

Tableau 4 : Concentrations en aldéhydes dans l'air des logements et l'air extérieur – Campagne 1 .. 15

Tableau 5 : Concentrations en aldéhydes dans l'air des logements et l'air extérieur – Campagne 2 .. 16

Tableau 6 : Concentrations en BTEX dans l'air des logements et l'air extérieur – Campagne 1..... 19

Tableau 7 : Concentrations en BTEX dans l'air des logements et l'air extérieur – Campagne 2..... 20

Tableau 8 : Liste des composés identifiés par analyse CG-SM des tubes Tenax – Campagne 1..... 23

Tableau 9 : Liste des composés identifiés par analyse CG-SM des tubes Tenax – Campagne 2..... 24

Tableau 10 : Concentrations en radon dans les habitations..... 39

Liste des annexes

Annexe 1 : Le lotissement de la Pelousière à Langouët 42

Annexe 2 : Dispositifs de mesure de la qualité de l'air 43

1 Introduction

La Communauté de communes du Val d'Ille a sollicité l'EHESP pour réaliser une campagne de mesures de l'air intérieur dans 3 maisons individuelles et 2 appartements situés sur le lotissement de la Pelousière à Langouët (35).

Les habitations de la Pelousière dites « écologiques » sont construites sur une ossature bois et ont bénéficié de matériaux d'origine naturelle pour leur construction (bois non traités) et leur isolation (ouate de cellulose) et de peintures à faibles teneurs en composés organiques volatils (COVs). Elles sont chacune équipées de panneaux solaires et d'un poêle à granulé pour le chauffage des 3 maisons, avec une consommation énergétique inférieure à 55kWh/(m^2.an), elles sont classées bâtiment basse consommation (BBC).

A ce jour, il existe peu de travaux sur la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments neufs de cette nature (Mandin *et* Maupetit, 2011). Une étude réalisée par Air Pays de la Loire dans une maison éco-performante sur la Communauté de Communes du pays des Herbiers (85) a montré qu'une construction éco-performante ne garantit pas nécessairement une qualité sanitaire optimale du bâtiment (Air Pays de la Loire, 2010).

En effet, la réduction maximale des pertes énergétiques dans un bâtiment, en limitant notamment les échanges d'air avec l'extérieur par une étanchéité forte du logement, n'est pas sans conséquence sur la qualité de l'air intérieur. Ainsi, un compromis doit être recherché entre une ventilation suffisante pour garantir une « bonne » qualité de l'air intérieur et des bâtiments à basse consommation d'énergie.

Enfin, des valeurs repères d'aide à la gestion dans les espaces clos sont recommandées par le Haut Conseil de Santé Publique pour le benzène et le formaldéhyde dans les bâtiments neufs livrés à partir de 2012 (HCSP, 2009 ; HCSP, 2010). Dans cette optique, il est intéressant de comparer ces valeurs de gestion aux mesures réalisées dans ces habitations dites « écologiques » construites à partir de matériaux naturels.

2 Objectif

Cette étude vise à quantifier les concentrations en COVs, plus particulièrement les aldéhydes et BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) 1) par une campagne de mesures avant

livraison des logements aux occupants et 2) par une campagne de mesures en présence des occupants après un an d'occupation des logements.

Les concentrations observées sur les deux campagnes de mesures pourront ainsi être comparées afin d'évaluer l'impact des matériaux utilisés pour la construction d'une part, et des matériaux d'ameublement et de décoration ainsi que les usages des occupants d'autre part. Les concentrations, pour le benzène et le formaldéhyde, seront également mises en regard des valeurs guides de l'air intérieur (VGAI) proposées par l'Anses[1] et des valeurs repères d'aide à la gestion recommandées par le HCSP.

3 Méthodologie

3.1 Sélection des polluants

Deux familles de polluants ont été sélectionnées, les aldéhydes et les BTEX. Certains composés appartenant à ces deux familles comme le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et le benzène font partie des polluants classés prioritaires par l'OQAI[2] pour le suivi de la qualité de l'air dans les logements (Mosqueron et Nédellec, 2002).

Dans les lieux clos, les principales sources d'émission du formaldéhyde sont les produits de construction, de décoration et d'ameublement (plus particulièrement les panneaux de particules), les produits domestiques (produits nettoyants, peintures, vernis, colles, parfums, cosmétiques...) et les combustions sous toutes leurs formes : cuisinières, chaudières, cheminées d'agrément ainsi que le tabagisme ou l'utilisation de bougies. La contribution de l'air extérieur est en général faible (HCSP, 2009).

La présence du benzène dans l'environnement intérieur résulte à la fois des sources intérieures et du transfert de la pollution atmosphérique extérieure. Les principales sources intérieures identifiées sont les combustions domestiques et le tabagisme mais on ne peut exclure, dans certaines situations, une contribution des produits de construction, de décoration, d'ameublement ainsi que d'entretien ou de bricolage (diluants, solvants,…) (HCSP, 2010).

Par ailleurs, une recherche qualitative des COVs sera réalisée de manière à identifier un spectre plus large de composés pouvant être présents dans ce type d'habitat.

[1] Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
[2] Observatoire de la Qualité de l'air intérieur

3.2 Description des logements et du lieu de prélèvement

Le lotissement de la Pelousière est composé de maisons individuelles (12) et d'un bâtiment collectif constitué d'appartements (4) (voir annexe 1).

Il existe deux types de maisons (modèles A et B) qui se différencient par leur taille et leur agencement. En ce qui concerne le bâtiment collectif, deux configurations d'appartements sont également proposées (modèles T2 et T3).

Les maisons individuelles correspondant aux numéros de lot 5, 6 et 7 ont été sélectionnées pour les mesures. Pour le bâtiment collectif, un appartement situé au rez-de-chaussée et un autre à l'étage ont été retenus. Les caractéristiques des logements sont données par le Tableau 1. A noter également que la présence de non-fumeurs dans les logements était un prérequis à cette sélection.

Tableau 1 : Caractéristiques des logements investigués lors des campagnes de mesures

	Maison 6	Maison 7	Maison 5	Appartement RDC	Appartement 1er étage
Isolation	Ouate de cellulose	Ouate de cellulose	Ouate de cellulose	Ouate de cellulose	Ouate de cellulose
Revêtement sol salon	Caoutchouc	Carrelage	Parquet flottant sur panneaux de particules	Type PVC	Type PVC
Revêtement sol chambre	Type Sisal	Type Sisal	Type Sisal	Type PVC	Type PVC
Revêtement mur	Peinture	Peinture	Peinture	Papier peint	Papier peint
Revêtement plafond	Peinture	Peinture	Peinture	Peinture	Peinture
VMC	Simple flux	Simple flux	Simple flux	Simple flux	Simple flux
Chauffage	Poêle à granulés	Poêle à granulés	Poêle à granulés	Insufflation air chaud	Insufflation air chaud
Garage attenant	non	non	non	non	non

3.3 Campagne de mesures

La première campagne de mesures s'est déroulée sur plusieurs périodes, en fonction de l'état d'avancement des différentes constructions. Les mesures ont été programmées un jour après la fin des travaux pour les maisons 6 et 7, une semaine après la fin des travaux pour les deux appartements et avec un délai d'un mois après la fin des travaux pour la maison 5. Durant la période des prélèvements aucune activité et aucune entrée dans les logements n'ont été autorisées. Le système de ventilation a fonctionné en continu.

La deuxième campagne a été réalisée après 1 an en présence des occupants. Ce délai permettant aux occupants de bien s'approprier leurs logements, notamment en ce qui concerne un bon usage de la VMC.

Lors des deux campagnes, des prélèvements de l'air extérieur ont également été réalisés.

Les périodes de mesures dans les logements et à l'extérieur sont données par le Tableau 2.

Tableau 2 : Dates des prélèvements des deux campagnes

	Maison 6	Maison 7	Appartement RDC	Appartement 1er étage	Maison 5	Extérieur
Campagne 1	Du 15 au 21/10 2010	Du 21 au 27/10 2010	Du 10 au 17/01 2011	Du 10 au 17/01 2011	Du 7 au 14/03 2011	Du 10 au 17/01 2011
Campagne 2	Du 24 au 31/01 2012	Du 6 au 13/01 2012	Du 6 au 13/01 2012	Du 16 au 23/01 2012	Du 27/03 au 03/04 2012	Du 6 au 13/01 2012

3.3.1 Prélèvement et analyse des aldéhydes

Les prélèvements ont été réalisés au moyen d'un tube à diffusion radiale de type Radiello contenant un adsorbant (2,4-DNPH) introduit dans un corps diffusif. Un tube passif a été installé dans 2 pièces de chaque habitation (salon et chambre) sur une période de sept jours (voir annexe 2). Les analyses (formaldéhyde, acétaldéhyde, hexaldéhyde, propanal, butanal, benzaldéhyde, isopentanal, pentanal) ont été réalisées par chromatographie liquide haute performance couplée à la détection dans l'ultraviolet (HPLC-UV).

3.3.2 Prélèvement et analyse des BTEX

Les prélèvements ont été réalisés au moyen d'un tube à diffusion radiale de type Radiello contenant un adsorbant (carbograph 4) introduit dans un corps diffusif. Un tube passif a été installé dans 2 pièces de chaque logement (salon et chambre) sur une période de sept jours (voir annexe 2). Les analyses (benzène, toluène, éthylbenzène, méta et para-xylène, ortho-xylène) ont été réalisées en désorption thermique couplée à la chromatographie gazeuse avec détection par spectrométrie de masse (CG-SM).

3.3.3 Prélèvement et analyse qualitative des COVs

Le prélèvement pour l'analyse qualitative des COVs a été réalisé par une mesure dynamique par pompage sur un tube contenant un adsorbant (Tenax TA). Le prélèvement a été réalisé uniquement dans le salon des maisons 6 et 7 et des deux appartements (voir annexe 2).

Les analyses, après une désorption thermique à l'aide d'un gaz vecteur (hélium), ont été réalisées par chromatographie en phase gazeuse et détection en spectrométrie de masse. (CG-SM) en mode balayage de masse de 50 à 500 uma (unité de masse atomique).

3.3.4 Paramètres de confort et de confinement

Le CO_2, indicateur global de confinement a été mesuré à l'aide d'un analyseur de la qualité de l'air TSI modèle Q-Trak IAQ Monitor (voir annexe 2). Le Q-trak permet la mesure des principaux paramètres de la qualité de l'air intérieur : le CO_2, la température et l'humidité. L'analyseur a fonctionné en continu sur toute la période d'échantillonnage au sein de chaque logement.

3.4 Enquête et questionnaire

L'enquête en population a été réalisée par la MCE (Maison de la Consommation et de l'Environnement). Elle visait à évaluer l'impact du comportement des habitants sur la qualité de l'air intérieur de leur logement. Les résultats ont été utilisés afin d'établir des liens entre les comportements (les pratiques, les habitudes de vie), l'équipement du logement (mobilier, matériels, ...) et les concentrations des polluants dans les logements après occupation. Les maisons 6 et 7 et les 2 appartements ont fait l'objet de cette enquête. La maison 5, initialement non programmée pour les mesures de qualité de l'air, n'a pas été investiguée par la MCE.

L’enquête s’est déroulée en deux temps :

- entre le 11 avril et le 23 mai 2011, soit quelques semaines après l'emménagement, avec un premier entretien de manière à établir un diagnostic du mode de vie des occupants ;
- entre le 16 mars et le 6 avril 2012, soit après 1 an d'occupation du logement et après la seconde campagne de mesures de la qualité de l’air dans les logements, afin d’identifier les pratiques et les biens d’équipements.

Les questionnaires utilisés par la MCE se sont inspirés des deux questionnaires utilisés par Air Pays de la Loire lors de son étude sur la maison performante de la communauté de communes du Pays des Herbiers (Air Pays de la Loire, 2010). Des modifications ont été apportées en accord avec le comité de pilotage du projet sur le questionnaire lié aux activités et aux comportements des habitants.

Au préalable de l’enquête auprès des résidents, un premier questionnaire sur le bâti des logements a été renseigné par le promoteur du lotissement (Habitation Familiale). Il a porté sur les matériaux utilisés lors de la construction des logements, le second œuvre, le type de ventilation, le mode de chauffage…

Le questionnaire auprès des résidents a porté sur les dimensions comportementales la typologie du foyer, le temps passé dans la maison / appartement, les activités à l'intérieur du logement, les pratiques liées à l'entretien du logement et au bricolage (produits, fréquence, matériel..), les odeurs, l’aération, le chauffage, le type de mobilier et les équipements, les plantes…

Le questionnaire a été proposé à deux reprises aux résidents dans le cadre de rencontres en direct, d'une durée moyenne d'1 heure 30 la première fois et d'environ 1 heure la seconde fois. A noter qu’aucune recommandation n’a été proposée par la MCE avant la fin de la deuxième enquête pour ne pas introduire de biais.

4 Résultats

4.1 Suivi des paramètres de confort et de confinement

Les résultats des mesures sur le suivi des paramètres de confort et de confinement sont donnés par le Tableau 3.

Le dioxyde de carbone (CO_2) est utilisé comme paramètre de confinement. Les concentrations en CO_2 lors de la première campagne sont comprises entre 262 et 360 ppm (Tableau 3). Ces valeurs sont proches de la concentration en CO_2 rencontrées à l'extérieur et confirment l'absence d'occupation du logement durant les mesures. Lors de la deuxième campagne, les concentrations moyennes dans les logements sont plus élevées et comprises entre 508 et 790 ppm (Tableau 3). A titre de comparaison, dans les conditions habituelles d'occupation, la teneur de l'atmosphère en dioxyde de carbone ne doit dépasser 1000 ppm avec une tolérance de 1300 ppm dans les locaux où il est interdit de fumer [Règlement Sanitaire Départemental, Titre III, Section II :"Ventilation des locaux", article 64]. Les concentrations moyennes en CO_2 relevées dans les 5 logements sont inférieures au seuil recommandé des 1000 ppm.

En présence des occupants, les températures moyennes varient entre 18,2 et 25,2°C et l'humidité relative entre 39,9 et 52,1 %. A titre de comparaison, la zone de confort optimale dans un logement se situe entre 18 et 22°C pour la température et entre 40 et 70% pour l'humidité relative (InVS, 2010). On peut noter que l'appartement au rez-de-chaussée avec une température moyenne égale à 25,2°C et une humidité relative de 39,9% se situe donc en dehors de cette plage de confort.

Tableau 3 : Suivi des paramètres de confort et de confinement

		Maison 6		Maison 7		Appartement RdC		Appartement 1er étage		Maison 5	
Moyenne		Salon	Chambre	Salon	Chambre	Salon	Chambre	Salon	Chambre	Salon	Chambre
CO_2 (ppm)	Campagne 1	279	349	-	-	-	262	360	279	350	368
	Campagne 2	-	655	730	-	-	790	508	-	672	-
T (°C)	Campagne 1	16,3	16,1	-	-	-	14,1	13,4	13,9	13,6	14,3
	Campagne 2	-	20,4	20,3	-	-	**25,2**	**18,2**	-	21,8	-
HR (%)	Campagne 1	56,7	54,9	-	-	-	72,0	69,2	73,1	53,4	53,1
	Campagne 2	-	46,9	52,1	-	-	**39,9**	47,5	-	44,6	-

(a) Valeur moyennée sur la période des 7 jours de mesures.

4.2 Concentrations en aldéhydes dans les logements

Les résultats des mesures des 2 campagnes sont présentés respectivement dans le Tableau 4 et le Tableau 5.

À noter l'absence de résultats sur la mesure réalisée dans la chambre de l'appartement situé à l'étage en raison d'un prélèvement défaillant sur tube Radiello durant la deuxième campagne (Tableau 5).

Les mesures réalisées lors de la première campagne montrent que les différents composés recherchés sont tous présents à des concentrations plus ou moins importantes dans l'air des cinq logements. Comme attendu, les concentrations observées à l'intérieur de ces logements sont supérieures à celles mesurées à l'extérieur des logements, confirmant ainsi la présence de sources intérieures.

L'hexaldéhyde est le composé qui présente les concentrations les plus fortes comprises entre 55 et 120 µg/m^3, suivi du formaldéhyde [12,8 – 46,8 µg/m^3], de l'acétaldéhyde [3,3 – 27 µg/m^3] et du pentanal [6,3 – 22 µg/m^3]. Les concentrations en butanal et propanal sont plus faibles et inférieures respectivement à 20 et 11 et µg/m^3. Les concentrations du benzaldéhyde et de l'isopentanal sont plus faibles et inférieures à 2 µg/m^3.

La maison 6 se distingue par les concentrations les plus élevées en acétaldéhyde, hexaldéhyde, butanal et pentanal. La concentration la plus élevée en formaldéhyde est mesurée dans la chambre de la maison 5. Des trois logements individuels, la maison 7 présente les concentrations les plus faibles en formaldéhyde. De manière générale, les concentrations en aldéhydes sont généralement plus élevées dans les maisons que dans les deux appartements.

Par ailleurs, dans un même logement, les concentrations mesurées dans le salon et la chambre sont relativement équivalentes. A la seule exception de la maison 7 où les concentrations en formaldéhyde et en propanal sont deux fois plus élevées dans la chambre.

Les mesures réalisées après un an d'occupation des logements montrent que la plupart des composés observés lors de la première campagne sont toujours bien présents (Tableau 5).

L'étendue des concentrations est assez proche de celle observée lors de la première campagne. L'hexaldéhyde et le formaldéhyde sont les 2 composés qui présentent une nouvelle fois les concentrations les plus fortes comprises entre 32,7 et 95,5 µg/m^3 pour l'hexaldéhyde et entre 14,2 et 41,5 µg/m^3 pour le formaldéhyde, suivi de l'acétaldéhyde [10,4 – 25 µg/m^3] et du butanal [7,9 – 20,7 µg/m^3]. Les concentrations en pentanal et propanal sont plus faibles et inférieures à 10 µg/m^3. Les concentrations du benzaldéhyde et de l'isopentanal sont toujours aussi faibles et inférieures à 2,1 µg/m^3.

La maison 6 qui se distinguait lors de la première campagne par les concentrations les plus élevées en acétaldéhyde, hexaldéhyde, butanal et pentanal, présente avec l'appartement situé à l'étage, les concentrations les plus faibles (Figure 1). Au cours de cette deuxième campagne, la concentration la plus élevée en formaldéhyde a été mesurée dans la chambre de la maison 7. Dans ce logement, on observe une augmentation significative des concentrations en formaldéhyde lors de la deuxième campagne (Figure 1). Par ailleurs, les concentrations les plus fortes en acétaldéhyde et propanal ont été mesurées dans l'appartement situé en rez-de-chaussée. Pour ce logement, on observe également une très forte augmentation des concentrations en formaldéhyde et acétaldéhyde lors de la deuxième campagne (Figure 1). Par comparaison, l'appartement situé à l'étage et dont les concentrations en formaldéhyde étaient équivalentes à celle de l'appartement situé au rez-de-chaussée lors de la première campagne, montre des concentrations similaires sur les deux campagnes (Figure 1). Enfin, la maison 5 se distingue par les concentrations les plus fortes en hexaldéhyde, butanal, benzaldéhyde, isopentanal et pentanal. Dans ce logement, on observe une baisse significative des concentrations en formaldéhyde mais à l'inverse une hausse des concentrations en acétaldéhyde (Figure 1).

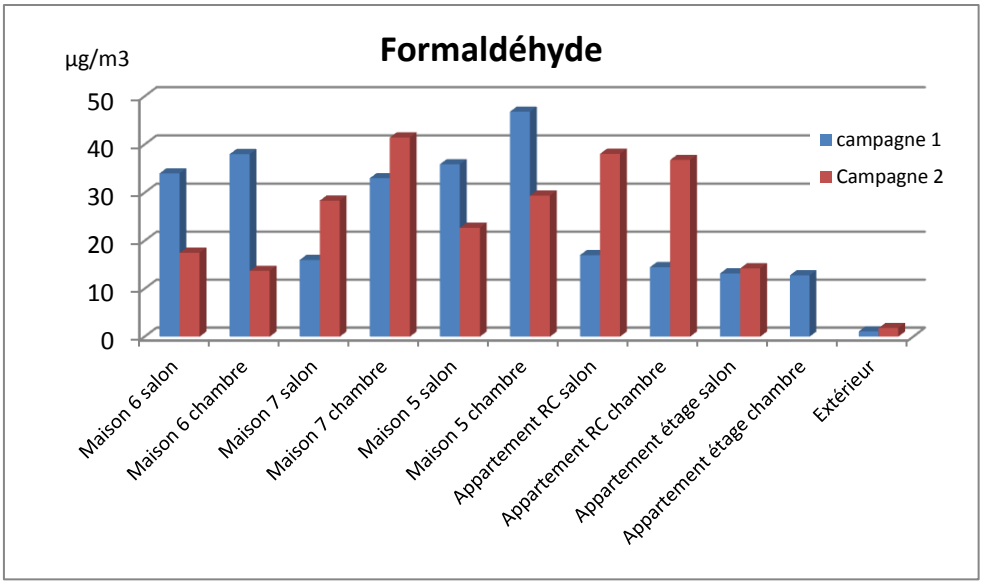
Comme lors de la première campagne, on observe dans un même logement peu de différence entre les concentrations mesurées dans le salon et la chambre. A l'exception, une nouvelle fois, de la maison 7 où les concentrations en formaldéhyde sont significativement plus élevées dans la chambre.

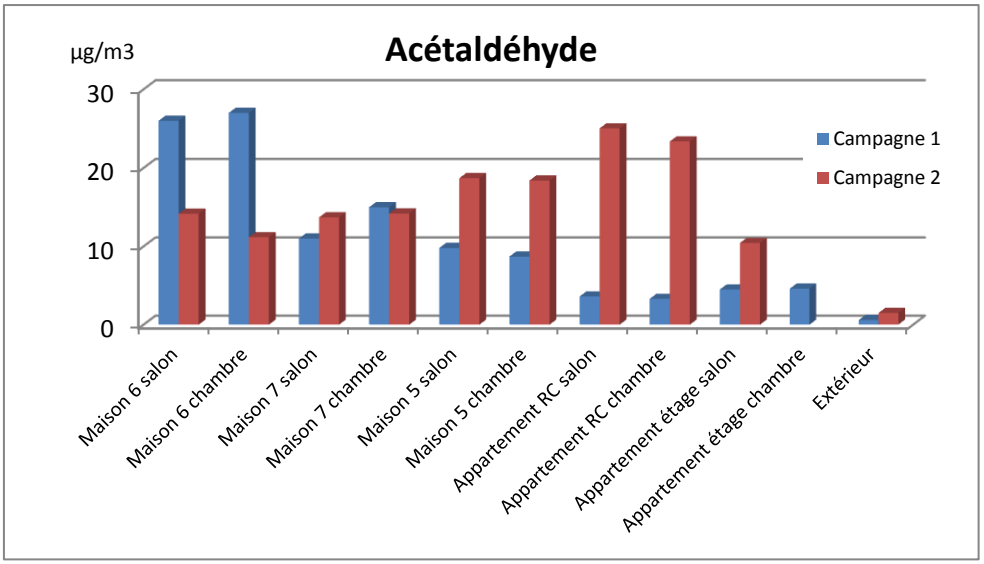
Tableau 4 : Concentrations en aldéhydes dans l'air des logements et l'air extérieur – Campagne 1

Echantillons		Concentrations Aldéhydes dans l'air en µg/m^3							
		Formaldéhyde	Acétaldéhyde	Hexaldéhyde	Propanal	Butanal	Benzaldéhyde	Isopentanal	Pentanal
Maison 6	Salon	34	26	93	7	16	1	2	21
	Chambre	38	27	120	10	20	1	2	22
Maison 7	Salon	16	11	61	5	1	1	1	12
	Chambre	33	15	76	11	2	1	1	14
Maison 5	Salon	35,9	9,8	55	3,4	8,4	0,6	0,7	7,3
	Chambre	46,8	8,7	61,7	3,6	9,4	0,7	0,7	8,1
Appartement RdC	Salon	17	3,6	65,1	2,3	7,9	0,6	0,2	6,5
	Chambre	14,5	3,3	60,8	2	8,1	0,7	0,2	6,9
Appartement Etage	Salon	13,2	4,5	65,4	2,2	9,5	0,8	0,5	6,3
	Chambre	12,8	4,6	94,5	2,2	8,9	0,6	0,2	6,7
Extérieur		1,1	0,6	1,2	0,2	0,6	<0,2	<0,3	<0,6

Tableau 5 : Concentrations en aldéhydes dans l'air des logements et l'air extérieur – Campagne 2

Echantillons		Concentrations Aldéhydes dans l'air en µg/m^3							
		Formaldéhyde	Acétaldéhyde	Hexaldéhyde	Propanal	Butanal	Benzaldéhyde	Isopentanal	Pentanal
Maison 6	Salon	17,5	14,2	44,1	3,1	9,7	0,9	< 1,0	5,0
	Chambre	13,7	11,2	32,7	2,7	7,9	< 1,0	< 1,0	3,8
Maison 7	Salon	28,4	13,7	53,1	3,8	10,5	0,7	1,6	5,9
	Chambre	41,5	14,2	52,4	3,9	11,1	0,8	1,5	5,8
Maison 5	Salon	22,7	18,7	61,7	7,0	20,1	2,1	2,1	7,9
	Chambre	29,4	18,4	95,5	5,9	20,7	1,5	1,7	9,2
Appartement RdC	Salon	38,1	25,0	36,2	7,3	11,1	1,0	1,2	4,3
	Chambre	36,8	23,4	36,4	6,8	11,1	< 0,6	1,0	3,9
Appartement Etage	Salon	14,2	10,4	42,2	2,7	8,2	< 0,7	< 1,0	4,3
	Chambre	-	-	-	-	-	-	-	-
Extérieur		1,8	1,5	1,5	0,8	2,5	0,3	0,5	0,8





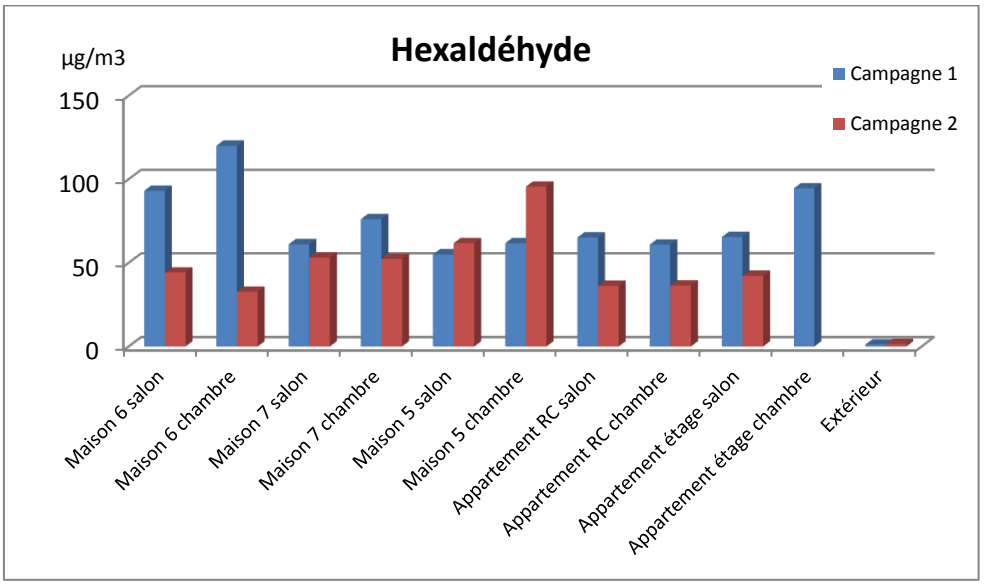


Figure 1 : Comparaison des concentrations en aldéhydes lors des deux campagnes

4.3 Concentrations en BTEX dans les logements

Les résultats des concentrations en BTEX des campagnes 1 et 2 sont présentés respectivement dans le Tableau 6 et le Tableau 7.

À noter que lors de la première campagne, certaines valeurs (maison 6 et 7) ont été calculées à partir d'une extrapolation des mesures réalisées sur les tubes Tenax pour l'analyse qualitative des COVs. En effet, en raison d'une sous-estimation des niveaux de concentrations de la gamme d'étalonnage les premières analyses des tubes Radiello en GC-SM, pour certains composés, n'ont pas été réalisées dans de bonnes conditions (saturation des pics chromatographiques). Cette extrapolation n'a été possible que pour les mesures dans le salon où le prélèvement avec le tube Radiello était couplé à la mesure dynamique réalisé sur tube Tenax.

Lors de la première campagne, les concentrations en benzène dans les logements sont inférieures à 1,1 µg/m^3 et relativement équivalentes à la concentration mesurée à l'extérieur (0,5 µg/m^3), indiquant ainsi l'absence de sources intérieures significatives. A l'inverse, les concentrations des autres composés sont très supérieures à celles mesurées à l'extérieur, indiquant cette fois la présence spécifique de sources intérieures dans les logements. L'o-xylène présente les concentrations les plus fortes, comprises entre 4,5 et 114,4 µg/m^3, suivi des m+p-xylène [5,4 – 51,9 µg/m^3], de l'éthylbenzène [3,0 – 45,5 µg/m^3] et du toluène [3,1 – 39,0 µg/m^3].

La maison 6 se distingue par la concentration la plus forte en toluène et la maison 7 par les concentrations les plus élevées en éthylbenzène, o-xylène et m+p-xylène. A l'instar des aldéhydes, les concentrations en BTEX mesurées dans le salon et la chambre sont relativement équivalentes, à l'exception de l'appartement situé au rez-de-chaussée, où les concentrations sont nettement plus fortes dans la chambre.

Les mesures réalisées lors de la deuxième campagne montrent des concentrations en benzène comparables, voire légèrement supérieures dans certains logements, à celles mesurées lors de la première campagne (Figure 2). On peut également noter que la concentration en benzène dans l'air extérieur est plus élevée durant la deuxième campagne. D'une manière générale, pour tous les autres composés, les concentrations mesurées dans les logements après un an d'occupation sont nettement plus faibles que celles observées lors des premières mesures (Figure 2). Le toluène est le composé qui présente les

concentrations les plus fortes (6,7 µg/m^3 dans le salon de l'appartement situé à l'étage). Par ailleurs, les concentrations pour un composé donné sont relativement équivalentes d'un logement à l'autre.

Tableau 6 : Concentrations en BTEX dans l'air des logements et l'air extérieur – Campagne 1

Echantillons		Concentrations BTEX dans l'air en µg/m^3				
		Benzène	Toluène	Ethylbenzène	O-xylène	m+p-xylène
Maison 6	Salon	0,5	39,0 (1)	3,7 (1)	11,8 (1)	5,4 (1)
	Chambre	0,6	NQ	NQ	NQ	NQ
Maison 7	Salon	0,7	3,1 (1)	45,5 (1)	114,4 (1)	51,9 (1)
	Chambre	0,8	NQ	NQ	NQ	NQ
Maison 5	Salon	1,1	18,8	4,4	6,6	19,1
	Chambre	1,1	11,6	3,2	4,6	15,7
Appartement RdC	Salon	0,8	14,5	3,0	4,5	9,9
	Chambre	0,3	35,0	9,3	15,1	34,5
Appartement étage	Salon	0,7	4,7	3,8	5,6	12,5
	Chambre	0,6	4,4	3,4	5	11
Extérieur		0,5	0,5	0,2	0,2	0,6

(1) : Valeurs extrapolées à partir des mesures sur Tenax
NQ : non quantifié, problème de saturation des pics lors de l'analyse des Radiello

Tableau 7 : Concentrations en BTEX dans l'air des logements et l'air extérieur – Campagne 2

Echantillons		Concentrations BTEX dans l'air en µg/m^3				
		Benzène	Toluène	Ethylbenzène	O-xylène	m+p-xylène
Maison 6	Salon	1,1	3,7	0,4	0,4	1,1
	Chambre	1,3	2,4	0,4	0,4	1
Maison 7	Salon	1	2,4	1,5	1	3,8
	Chambre	1	2,2	1,2	0,8	3,3
Maison 5	Salon	0,65	2,89	0,32	0,29	0,76
	Chambre	0,62	1,65	0,28	0,24	0,65
Appartement RdC	Salon	0,9	5,6	0,8	0,9	2,2
	Chambre	0,9	5,4	0,9	0,9	2,2
Appartement étage	Salon	1,3	6,7	0,6	0,9	2
	Chambre	1,2	5	0,5	0,7	1,6
Extérieur		1	0,9	0,2	0,3	0,6

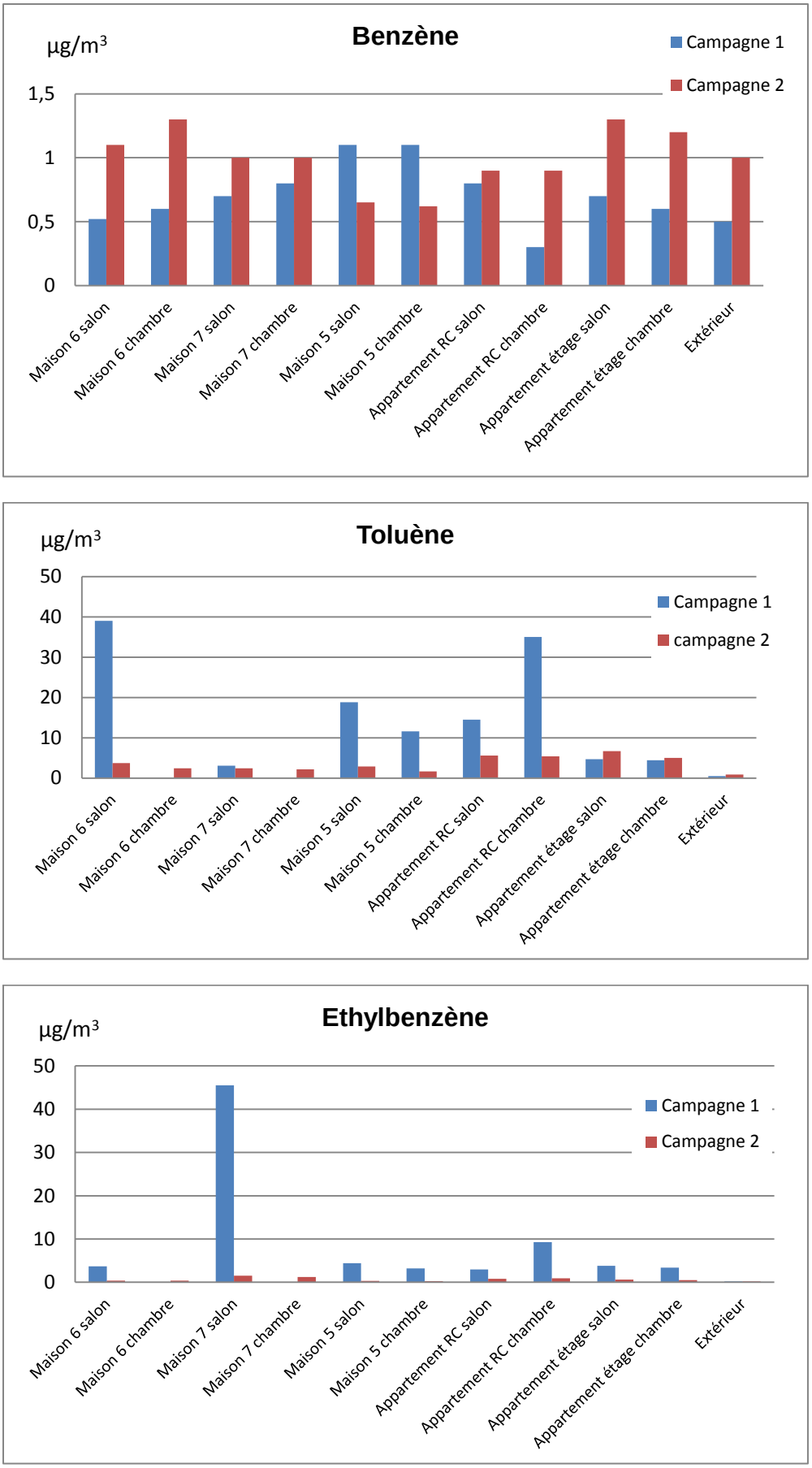


Figure 2 : Comparaison des concentrations en BTEX lors des deux campagnes

4.4 Analyses qualitatives des COVs

Les résultats des mesures dynamiques sur tubes Tenax des campagnes 1 et 2 sont donnés respectivement par le Tableau 8 et le Tableau 9.

L'analyse qualitative a permis de confirmer la présence des aldéhydes et des BTEX identifiés sur les tubes Radiello. Par ailleurs, de nombreux autres composés sont communs aux quatre logements. La présence de ces composés dans l'air intérieur des logements s'explique principalement par leur présence dans les matériaux de construction. Ainsi plusieurs composés utilisés comme solvants dans ces différents matériaux ont été identifiés comme le cyclohexane, l'hexane, le undécane, le décane et l'heptane (solvants pour colle, vernis et peinture), le tétrahydrofurane (solvant pour résine et matière plastique), l'acétate d'éthyle (solvant pour vernis et laques), le butanone oxime et le butanone (solvant pour adhésif et revêtement), le limonène et l'alpha-pinène (solvants issus de la filière bois utilisés dans les colles, peintures et vernis) et l'acétone (solvant pour colles, peintures et vernis).

Les mesures réalisées lors de la deuxième campagne indiquent la présence de nombreux composés appartenant à la famille des terpènes comme l'alpha et le béta pinène, le limonène, le 3-carène, le longicyclène, le cédrène, le 1-octène, et le longifolène ... Certains de ces composés sont présents dans les matériaux de construction mais entrent également dans la composition des parfums qui peuvent être libérés par de nombreux produits d'usage courant (désodorisant, parfum d'intérieur, cire, bougies, nettoyant ménager…). Par ailleurs, on peut noter que le nombre de composés identifiés lors des mesures en phase d'occupation est plus important.

Tableau 8 : Liste des composés identifiés par analyse CG-SM des tubes Tenax – Campagne 1

Maison 6 Salon	Maison 7 Salon	Appartement RdC Salon	Appartement étage Salon
2-butanone [(1)]	**2-butanone**	**2-butanone**	**2-butanone**
Acétate d'éthyle	**Acétate d'éthyle**		
Tétrahydrofurane	**Tétrahydrofurane**	**Tétrahydrofurane**	**Tétrahydrofurane**
Cyclohexane	**Cyclohexane**		
Benzène	**Benzène**	**Benzène**	**Benzène**
Toluène	**Toluène**	**Toluène**	**Toluène**
Heptane	**Heptane**	**Heptane**	**Heptane**
Hexaldéhyde	**Hexaldéhyde**	**Hexaldéhyde**	**Hexaldéhyde**
Ethylbenzène	**Ethylbenzène**	**Ethylbenzène**	**Ethylbenzène**
m+p-xylène	**m+p-xylène**	**m+p-xylène**	**m+p-xylène**
o-xylène	**o-xylène**	**o-xylène**	**o-xylène**
alpha-pinène	**alpha-pinène**	**alpha-pinène**	**alpha-pinène**
Undécane	**Undécane**	**Undécane**	**Undécane**
	Décane	**Décane**	**Décane**
	1-butanol	**1-butanol**	
	Méthylcyclohexane	**Méthylcyclohexane**	
	Octane	**Octane**	
	Acétone		**Acétone**
Limonène			**Limonène**
Tétrachloroéthylène	Acétate de butyle	1,3,5-triméthylcyclohexane	Pentanal
n-buthyl éther	4-méthyloctane	Nonane	2-butanone oxime
propylcyclohexane	3-méthyloctane		
beta-myrcene	2-méthylbutanal		
1,2,3-triméthylbenzène			

(1) en gras les composés identifiés dans plusieurs logements

Tableau 9 : Liste des composés identifiés par analyse CG-SM des tubes Tenax – Campagne 2

Maison 6 Salon	Maison 7 Salon	Appartement RdC Salon	Appartement étage Salon
Dichlorométhane	**Dichlorométhane**	**Dichlorométhane**	**Dichlorométhane**
Benzène	**Benzène**	**Benzène**	**Benzène**
Toluène	**Toluène**	**Toluène**	**Toluène**
Heptane	**Heptane**	**Heptane**	**Heptane**
Hexanal	**Hexanal**	**Hexanal**	**Hexanal**
Octane	**Octane**	**Octane**	**Octane**
Acétate d'éthyle	**Acétate d'éthyle**	**Acétate d'éthyle**	**Acétate d'éthyle**
Ethylbenzène	**Ethylbenzène**	**Ethylbenzène**	**Ethylbenzène**
m+p-xylène	**m+p-xylène**	**m+p-xylène**	**m+p-xylène**
alpha-pinène	**alpha-pinène**	**alpha-pinène**	**alpha-pinène**
D-limonène	**D-limonène**	**D-limonène**	**D-limonène**
Décanal	**Décanal**	**Décanal**	**Décanal**
Pentadécane	**Pentadécane**	**Pentadécane**	**Pentadécane**
	1,4-pentadiène	**1,4-pentadiène**	**1,4-pentadiène**
Propanal			**Propanal**
	Acétone		**Acétone**
1,1 dicyanoéthane	**1,1 dicyanoéthane**		**1,1 dicyanoéthane**
	Pentanal		**Pentanal**
béta-pinène		**béta-pinène**	
Furan, 2-pentyl	**Furan, 2-pentyl**		
Benzaldéhyde	**Benzaldéhyde**		**Benzaldéhyde**
3-carène	**3-carène**		**3-carène**
Acétophénone	**Acétophénone**		
		Undécane	**Undécane**
Nonanal	**Nonanal**		**Nonanal**
	Dodécane		**Dodécane**
		Nonane	**Nonane**
Heptanal	**Heptanal**		
		Tétrachlorométhane	**Tétrachlorométhane**
Cyclobutane, méthylène	D-longifolène	2-propanol,2-méthyl-	Acide acétique, phénylméthyl ester
Cyclohexane, méthyl	n-propyl acétate	2-butanone	Hexane
Alpha-cédrène	1-éthyl-5-méthylcyclopentène	Pyridine	4-ter-butylcyclohexyl acétate
Béta-cédrène	Méthyl isobutyl kétone	5-méthyl-3 heptyne	Tétradécane
	1-octène	Acide acétique, butyl ester	Longicyclène
	2,4-diméthyl-1-heptène	Eucalyptol	D-Longifolène
	o-xylène	Hexanoic oxide, phénylméthyl ester	Ethylcyclohexane
	cyclohexanone		N,N-diméthylformamide
			1-hexanol
			Acide pentanoic, 2-méthyl-, éthyl ester
			Décane
			2-pentyl furane
			Acide acétique, hexyl ester
			Naphtalène, décahydro-, trans
			Limonène oxyde, trans-

(1) en gras les composés identifiés dans plusieurs logements

5 Discussion

5.1 Impact des matériaux de construction et des usages

Les résultats de cette étude ont mis en évidence la présence de COVs dans l'air des habitations de la Pelousière à Langouët.

Les mesures réalisées à réception des logements montrent clairement l'impact des matériaux de construction sur les émissions de ces différents composés. Les sources principales sont à rechercher dans les matériaux de construction, d'aménagement et d'isolation, les revêtements, les colles, les peintures et les vernis qui ont pu être utilisés. Par exemple, les concentrations élevées en hexaldéhyde et en formaldéhyde s'expliquent notamment par l'ossature bois des habitations, ces composés peuvent être émis par les panneaux de bois aggloméré mais également par la dégradation naturelle du bois. La présence de composés de la famille des terpènes, comme l'alpha-pinène émis naturellement par le bois, dans tous les logements vient conforter cette hypothèse. Les peintures, solvants, colles, adhésifs et produits d'isolation sont les principales sources des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques comme le toluène, l'acétone, l'heptane et le n-undécane observés dans les habitations de la Pelousière.

Les mesures réalisées lors de cette première campagne ont mis en évidence des niveaux de concentrations qui peuvent varier selon le type de construction ou la nature des matériaux utilisés. Ainsi, les concentrations en formaldéhyde et acétaldéhyde sont plus élevées dans les 3 maisons individuelles que dans les 2 appartements du collectif. Le type de construction mais également la nature des matériaux, notamment le revêtement des sols (type PVC pour les appartements versus type Sisal, caoutchouc et parquet flottant sur panneaux de particules pour les maisons 5, 6 et 7), peuvent être mis en avant pour expliquer cette différence. Entre les 3 maisons on observe également des différences en fonction des matériaux utilisés. Ainsi, Les concentrations en formaldéhyde sont plus élevées dans la maison 5 où le revêtement de sol du salon est constitué d'un parquet flottant et dans la maison 6 disposant d'un revêtement de sol en caoutchouc. A l'inverse, les concentrations sont plus faibles dans la maison 7 où le revêtement de sol du salon est un carrelage. La présence de formaldéhyde dans le parquet flottant sur panneaux de particules et dans les colles utilisées pour la pose des dalles en caoutchouc, ou dans les dalles elles-mêmes, peut expliquer cette différence, un sol en carrelage étant par ailleurs moins émissif en COVs. Les

concentrations plus élevées en hexaldéhyde dans la maison 6 pourrait s'expliquer par la présence de ce composé dans la colle utilisée pour la pose du revêtement de sol en caoutchouc, ou dans le matériau lui-même. Enfin, au sein même d'un logement, des différences peuvent également être observées selon la nature des matériaux utilisés. Dans la maison 7, les concentrations en formaldéhyde sont 2 fois plus élevées dans la chambre (sol type Sisal) que dans le salon (sol carrelage). Encore une fois la présence de formaldéhyde dans la colle et le revêtement de type Sisal peut expliquer ce résultat. En l'absence de fiches détaillées sur la composition des produits ces hypothèses ne peuvent être confirmées.

Concernant les concentrations en BTEX, même s'il existe un lien direct entre les concentrations observées et leurs émissions à partir des matériaux de construction, les différences selon le type de construction (maisons versus immeuble collectif) et la nature des matériaux sont moins marquées. On observe, toutefois, des concentrations plus élevées en éthylbenzène et xylènes dans la maison 7 disposant de panneaux muraux avec peinture que dans la maison 6 équipée de panneaux sans peinture. Par ailleurs, les faibles concentrations en benzène mesurées dans les logements sont peut-être à rapprocher de la nouvelle règlementation relative aux conditions de mise sur le marché des produits de construction et de décoration contenant des substances cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques de catégorie 1 ou 2 (Arrêté du 28 mai 2009 modifiant l'arrêté du 30 avril 2009). En effet, depuis le 1er janvier 2010, les produits de construction et de décoration émettant notamment du benzène ne peuvent être mis sur le marché que s'ils émettent moins de 1 µg/m³.

L'arrivée des occupants dans un logement peut également modifier les niveaux de pollution du fait de l'ajout du mobilier, de travaux d'aménagement et d'activités ou d'usages domestiques... Ainsi, la deuxième campagne menée après un an d'occupation dans les logements visait à mettre en évidence l'impact de cette occupation sur les niveaux de concentration des COVs. A Langouët, les mesures ont montré clairement une diminution très importante des concentrations en toluène, éthylbenzène et xylènes dans les 5 logements. La forte volatilité des hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) et l'absence de travaux d'aménagement ou de rénovation dans les logements peuvent expliquer ce résultat. Par ailleurs, les concentrations plus élevées en benzène, à la fois à l'intérieur des logements et à l'extérieur, sont probablement à mettre en lien avec des émissions de véhicules plus

importantes en raison d'un trafic plus dense aux abords du lotissement ainsi que l'utilisation des poêles à granulés durant la deuxième campagne. Concernant les aldéhydes, les résultats sont plus contrastés. Par exemple, on observe une baisse significative des concentrations en formaldéhyde et acétaldéhyde dans la maison 6 mais à l'inverse, une augmentation significative des concentrations dans l'appartement situé au rez-de-chaussée. En outre, les concentrations en acétaldéhyde dans ce logement ont fortement augmentées sur les 2 périodes. La photochimie (production de composés secondaires), la fumée de tabac, les panneaux de bois brut et de particules, les isolants, les photocopieurs sont les principales sources associées aux émissions d'acétaldéhyde. L'examen du questionnaire permet de pointer clairement l'utilisation de certains produits de consommation comme sources émettrices de ces deux composés. Ainsi, dans l'appartement situé au rez-de-chaussée, il a été relevé l'usage d'un diffuseur de parfum d'ambiance installé dans les toilettes, ce dernier diffusant un spray toutes les 30 minutes nuit et jour (quelques mois plus tôt, un deuxième diffuseur était installé dans la cuisine). Par ailleurs, un usage fréquent de bougies parfumées dans cet appartement est également rapporté dans le questionnaire. Ces produits de consommation peuvent expliquer les concentrations mesurées en formaldéhyde et acétaldéhyde. En outre, les nombreux composés de la famille des terpènes, identifiés lors de l'analyse qualitative des COVs sur les tubes Tenax, sont également largement utilisés dans ce type de produits de consommation et peuvent contribuer à la formation d'aldéhydes par ozonolyse (Nicolas, 2006). La présence de nombreux meubles à base de panneaux de particules de bois mélaminé a été constatée, ces derniers peuvent être une source de formaldéhyde dans l'habitation. Par ailleurs, la température de 25,2°C mesurée dans cet appartement contribue également à favoriser le relargage de ces composés volatils contenus dans les divers matériaux de construction, d'isolation et d'ameublement (NF EN ISO 16000-2, 2006). La maison 7 se distingue également par des concentrations en formaldéhyde plus élevées. L'analyse du questionnaire montre que les occupants, lors de leur arrivée dans le logement, ont aménagé leur cuisine à partir d'un mobilier neuf constitué de panneaux de particules de bois mélaminé, acheté dans une grande enseigne de l'ameublement et de la décoration. D'autres meubles de même nature sont également présents dans le salon et les chambres. La présence de formaldéhyde dans les matériaux d'ameublement n'est pas à exclure et pourrait expliquer les concentrations plus élevées observées lors de la deuxième campagne. Par ailleurs, le chef de famille travaille dans le bâtiment et notamment la pose de

panneaux de parement intérieur qui peuvent contenir du formaldéhyde. Il rapporte sa tenue de chantier à la maison dans un sac qui peut traîner à l'occasion dans le salon ou être rangé dans une pièce de la maison. La présence de formaldéhyde sur ses vêtements peut également constituer une source potentielle.

A l'inverse, les concentrations en formaldéhyde et acétaldéhyde ont fortement baissées dans la Maison 6. Le questionnaire montre que cette habitation, à l'exception de quelques meubles constitués de panneaux de particules de bois mélaminé, est principalement équipée de meubles en bois massif déjà en leur possession avant leur arrivée dans le logement. Ces derniers sont connus pour être moins émissifs en formaldéhyde. Par ailleurs, aucun usage de diffuseur de parfum ou de bougies n'a été relevé dans le questionnaire.

Les mesures réalisées dans l'appartement situé à l'étage ne montrent pas de différence entre les 2 campagnes pour les concentrations en formaldéhyde. Ces dernières sont d'ailleurs les plus basses des 5 logements. Le questionnaire indique la présence de quelques meubles en bois mélaminé qui ne semblent donc pas émettre de formaldéhyde au regard des concentrations observées. Par ailleurs, l'usage de diffuseur de parfum ou de bougies n'a pas été observé. Enfin, la température relevée dans cet appartement (18,2°C) est la plus basse des 5 logements. Ces deux éléments concourent à limiter les émissions de formaldéhyde dans le logement. Toutefois, un nombre important de composés ont été identifiés lors de l'analyse qualitative (Tableau 9). Outre les composés identifiés dans les autres habitations, on trouve principalement des composés utilisés comme solvants (hexane, tétradécane, tétrachlorométhane, éthylcyclohexane, décane…) mais également des composés de la famille des terpènes (longifolène, longicyclène, limonène oxyde…).

La maison 5 se distingue, comme l'appartement situé au rez-de-chaussée, par une augmentation des concentrations en acétaldéhyde. En l'absence de questionnaire dans ce logement il est difficile d'avancer des hypothèses sur la nature des sources propres à ce composé.

5.2 Comparaison aux études sur la QAI dans les logements

A ce jour, il existe peu de travaux sur la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments performants comme le souligne une récente revue de la littérature (Mandin et Maupetit,

2011). La plupart des études recensées dans cet article font référence à des mesures dans des bâtiments neufs sans préciser s'il s'agit de bâtiments à basse consommation d'énergie. En France, les résultats de deux études sur des habitations économes en énergie sont rapportés.

L'association de surveillance de la qualité de l'air en région Pays de la Loire fait état de mesures réalisées dans une maison éco-performante sur la Communauté de Communes du pays des Herbiers (Air Pays de la Loire, 2010). Peintures sans solvant, isolants naturels et bois non traités ont été choisis pour équiper cette maison peu consommatrice en énergie. Les mesures réalisées fin 2009-début 2010 ont permis de quantifier les concentrations en aldéhydes et BTEX au cours de trois périodes : un mois après l'achèvement des travaux, à l'entrée des occupants et un mois et demi après le début de l'occupation. Avant l'entrée des occupants, les concentrations en formaldéhyde (17,8 µg/m^3 et 17,5 respectivement dans le salon et la chambre) sont plus faibles que celles observées dans les maisons de la Pelousière mais comparables à celles mesurées dans les 2 appartements. Pour l'acétaldéhyde (10,8 µg/m^3 et 11,9 µg/m^3) elles sont comparables à celle observées dans les maisons 5 et 7 et supérieures à celles mesurées dans les 2 appartements. Pour ces deux composés, elles augmentent après l'arrivée des occupants. Concernant les BTEX, avant l'arrivée des occupants, les concentrations moyennes dans les deux pièces en toluène, éthylbenzène et xylènes (12,4 µg/m^3, 0,4 µg/m^3 et 1,8 µg/m^3) sont plus faibles que celles mesurées dans les habitations de la Pelousière avant occupation. Après un mois et demi d'occupation du logement, une augmentation des concentrations en benzène, éthylbenzène et xylènes et des niveaux équivalents en toluène sont observés. Les concentrations pour tous ces composés sont plus élevées que celles mesurées dans les habitations de la Pelousière après un an.

Une autre étude portant sur 7 maisons individuelles de type BBC a été réalisée par l'OQAI (OQAI, 2011). Comme à Langouët, toutes les maisons étudiées sont à ossature bois, sauf une. L'isolation est végétale ou minérale et toutes les maisons sont équipées en VMC double flux avec échangeur d'air. Une recherche pour limiter les sources d'émission en aldéhydes et BTEX a été menée par le choix de matériaux et produits les moins émissifs (bois brut non traité, colles sans formaldéhyde, peinture sans solvant…). Des mesures de la qualité de l'air ont également été réalisées dans 6 maisons en phase d'inoccupation et d'occupation. Les

principaux polluants identifiés sont des aldéhydes (dont hexaldéhyde et formaldéhyde), des terpènes (dont pinène), des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques. En général, les concentrations à réception étaient plus élevées qu'après l'arrivée des occupants ce qui traduit dans les premiers mois la prépondérance des sources d'émissions liées au bâti et, dans certains logements, l'absence du fonctionnement du système de ventilation. Selon les polluants, la décroissance des concentrations est plus ou moins marquée. Ainsi, entre les deux campagnes de mesure, la diminution des concentrations de décane est bien marquée (de 80 à 7 µg/m^3), comme celle de l'hexaldéhyde (de 140 à 53 µg/m^3), mais elle est moins prononcée pour le formaldéhyde (de 27 à 20 µg/m^3) et l'acétaldéhyde (de 21 à 17 µg/m^3). Lors de cette étude il a été constaté que la qualité de l'air intérieur est très dépendante du fonctionnement du système de ventilation. Hors fonctionnement du système de ventilation, une concentration en COVs totaux de 3000 µg/m^3 a été mesurée dans une de ces maisons. Les concentrations en aldéhydes observées au cours de cette étude sont relativement comparables à celles mesurées dans les 5 habitations de la Pelousière à Langouët.

Par ailleurs, à titre de comparaison, les concentrations en aldéhydes dans les habitations de la Pelousière après un d'occupation sont généralement supérieures à celles observées lors de la campagne nationale « logements » de l'OQAI dans les 567 résidences investiguées (OQAI, 2006). Les concentrations médianes[3] lors de la campagne nationale étaient respectivement de 19,6 µg/m^3, 13,6 µg/m^3 et 11,6 µg/m^3 pour le formaldéhyde, l'hexaldéhyde et l'acétaldéhyde. A l'inverse, les concentrations en BTEX sont toutes inférieures à celles mesurées lors de la campagne nationale. Les concentrations médianes étaient respectivement de 2,1 µg/m^3, 12,2 µg/m^3, 2,3 µg/m^3, 2,3 µg/m^3 et 5,6 µg/m^3 pour le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, l'o-xylène et le m+p-xylène.

5.3 Comparaison aux valeurs de référence

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a construit différentes valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI) (Rousselle et al, 2011).

[3] 50% des logements ont des teneurs inférieures à cette valeur ou 50% des logements ont des teneurs supérieures à cette valeur

Pour le formaldéhyde, l'Anses a proposé en 2007 deux VGAI : l'une de 50 µg/m^3 en moyenne sur 2 heures, pour une exposition de courte durée, l'autre de 10 µg/m^3 pour une exposition chronique. Ces valeurs correspondent à des niveaux d'exposition auxquels, en l'état actuel des connaissances, aucun effet délétère ne devrait être observé dans la population générale.

Pour le benzène, l'Anses a proposé trois VGAI relatives aux effets non cancérogènes - modulées selon la durée d'exposition - et une VGAI correspondant aux effets cancérogènes sur le long terme :

- Pour les effets hématologiques non cancérogènes :

  - 10 µg/m^3 pour une exposition supérieure à un an (VGAI long terme) ;

  - 20 µg/m^3 en moyenne sur un an (VGAI intermédiaire) ;

  - 30 µg/m^3 en moyenne sur 14 jours (VGAI court terme).

- Pour les effets hématologiques cancérogènes :

  - 2 µg/m^3 pour une exposition vie entière correspondant à un excès de risque de 10^{-5} ;

  - 0,2 µg/m^3 pour une exposition vie entière correspondant à un excès de risque de 10^{-6}.

Ces valeurs guides, **strictement fondées sur des critères sanitaires**, n'informent pas sur les « seuils d'action », c'est-à-dire les niveaux de concentration à partir desquels des actions de protection de la santé doivent être mises en œuvre. Ainsi, Le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) a élaboré des « **valeurs de référence** » pour fixer dès maintenant des niveaux à ne pas dépasser dans les bâtiments neufs ou rénovés, et pour engager, si nécessaire, des actions correctives dans les bâtiments existants.

Les valeurs suivantes représentatives d'une exposition sur le long terme pour le **formaldéhyde** ont été proposées par le HCSP en octobre 2009 :

- **10 µg/m^3** comme **valeur cible** à atteindre en 10 ans, soit la VGAI de l'Anses. Toute teneur inférieure ou égale témoigne d'une très bonne qualité d'air vis-à-vis de ce polluant et n'implique aucune action si ce n'est de veiller à ce que cette situation ne se dégrade pas. Un bâtiment caractérisé par de tels niveaux peut être qualifié de catégorie A+ sur une échelle de A à C.

- **30 µg/m^3** comme **valeur repère de qualité d'air** en dessous de laquelle, **en 2009,** aucune action corrective spécifique n'est préconisée. Un bâtiment caractérisé par de tels niveaux peut être qualifié de catégorie A.
- **50 µg/m^3** comme **valeur d'information et de recommandations :** c'est, **en 2009**, la valeur maximale admissible pour une exposition de longue durée. Au-delà, il est nécessaire, dans un délai de quelques mois, d'identifier la ou les source(s) principale(s) dans le logement ou l'établissement concerné et de la (les) réduire en engageant les actions appropriées. Un espace « provisoirement tolérable » est proposé entre 30 et 50 µg/m^3 du fait que les effets sanitaires à ces concentrations ont un caractère peu sévère. Un bâtiment caractérisé par de tels niveaux peut être qualifié de catégorie B. Les émissions proviennent souvent de multiples sources diffuses ; il peut être plus pertinent d'agir dans un premier temps sur la ventilation du local et/ou sur les comportements des occupants, pour ramener les niveaux en dessous de 30 µg/m^3. Un bâtiment caractérisé par des niveaux supérieurs à 50 µg/m^3 peut être qualifié de catégorie C.

Par ailleurs, le HCSP indique qu'une teneur mesurée supérieure **à 100 µg/m^3** doit être considérée comme une **valeur d'action rapide :** au cours du mois suivant leur mesure et confirmation, la ou les sources en cause doivent être identifiées et neutralisées dans le but de ramener les teneurs ambiantes en dessous de la valeur repère, soit 30 µg/m^3 en 2009. Enfin, d**ans le cas des bâtiments neufs livrés à partir de 2012**, ceux-ci devront présenter des teneurs moyennes inférieures à **10 µg/m^3** avant livraison aux occupants. Il en est de même pour ceux faisant l'objet d'opérations de rénovation de grande ampleur.

Pour le benzène, le HCSP a estimé que l'effet cancérogène du benzène est l'effet critique à retenir pour l'établissement des valeurs repères de qualité de l'air intérieur pour l'habitat et les locaux accueillant du public et a fixé trois valeurs pour les expositions chroniques sur le long terme :

- **2 µg/m^3** comme **valeur cible** à atteindre en 5 ans. Des teneurs inférieures ou égales témoignent d'une bonne qualité d'air vis-à-vis de ce polluant ;
- **5 µg/m^3** comme **valeur repère de qualité d'air** en dessous de laquelle aucune action corrective spécifique n'est préconisée aujourd'hui. A partir de 2012, cette valeur

repère évoluera avec une pente de décroissance de 1 µg/m^3 par an jusqu'à la valeur cible qui devra être atteinte en 2015 ;

- **10 µg/m^3** comme une **valeur d'action rapide** au-delà de laquelle les sources en cause doivent être rapidement identifiées et neutralisées dans le but de ramener les teneurs intérieures en dessous de la valeur repère, soit 5 µg/m^3 en 2012.

Par ailleurs, le HCSP recommande que les **bâtiments neufs livrés à partir de 2012** présentent des teneurs en benzène inférieures à **2 µg/m^3** avant livraison aux occupants.

Aujourd'hui, ces valeurs s'appliquent **de manière règlementaire uniquement dans certains établissements recevant du public (ERP).** Deux décrets parus le 4 décembre 2011 au Journal Officiel (Décrets n° 2011-1727 et n° 2011-1728 du 2 décembre 2011) définissent les conditions de surveillance de la qualité de l'air et fixent les valeurs-guides pour le formaldéhyde et le benzène dans ces établissements. Plus précisément, la règlementation instaure de manière progressive l'obligation de surveiller périodiquement la qualité de l'air intérieur dans les ERP, obligation qui devra être satisfaite :

- avant le 1er janvier 2015 pour les établissements d'accueil collectif d'enfants de moins de six ans et les écoles maternelles ;
- avant le 1er janvier 2018 pour les écoles élémentaires ;
- avant le 1er janvier 2020 pour les accueils de loisirs et les établissements d'enseignement du second degré ;
- avant le 1er janvier 2023 pour les autres établissements.

A titre de comparaison, les mesures réalisées dans le lotissement de la Pelousière montrent qu'aucun des logements ne respectent la valeur cible des 10 µg/m^3 recommandée par le HCSP **pour le formaldéhyde** dans le cas des bâtiments neufs livrables à partir de 2012 (Figure 3). Après un an d'occupation, les concentrations mesurées dans la maison 7 (chambre) et l'appartement situé au rez-de-chaussée sont supérieures à 30 µg/m^3. Selon le HCSP, une action corrective en agissant sur la ventilation et le comportement des occupants est recommandée. Les mesures de la campagne nationale « logements » de l'OQAI ont montré que 50 % des logements français dépassent la teneur moyenne de 19,6 µg/m^3 et que 87 % des logements français ne respectent pas la valeur cible de 10 µg/m^3 du HCSP (OQAI, 2006).

Pour le benzène, les mesures montrent que tous les logements respectent la valeur cible de 2 µg/m^3 fixée par le HCSP dans le cas des bâtiments neufs livrables à partir de 2012 (Figure 4). Ce résultat témoigne d'une bonne qualité de l'air dans les logements vis-à-vis de ce polluant. Comme indiqué précédemment, ce résultat est à mettre au bénéfice de la nouvelle règlementation relative aux conditions de mise sur le marché des produits de construction et de décoration contenant des substances cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques de catégorie 1 ou 2. Les mesures de la campagne nationale « logements » de l'OQAI ont montré que 50 % des logements français dépassent la teneur moyenne de 2,1 µg/m^3 et que dans 10 % d'entre eux, les niveaux sont au-dessus de 5,7 µg/m^3 (OQAI, 2006).

Figure 3 : Comparaison des concentrations en formaldéhyde aux valeurs de référence recommandées par le HCSP et à la VGAI de l'Anses

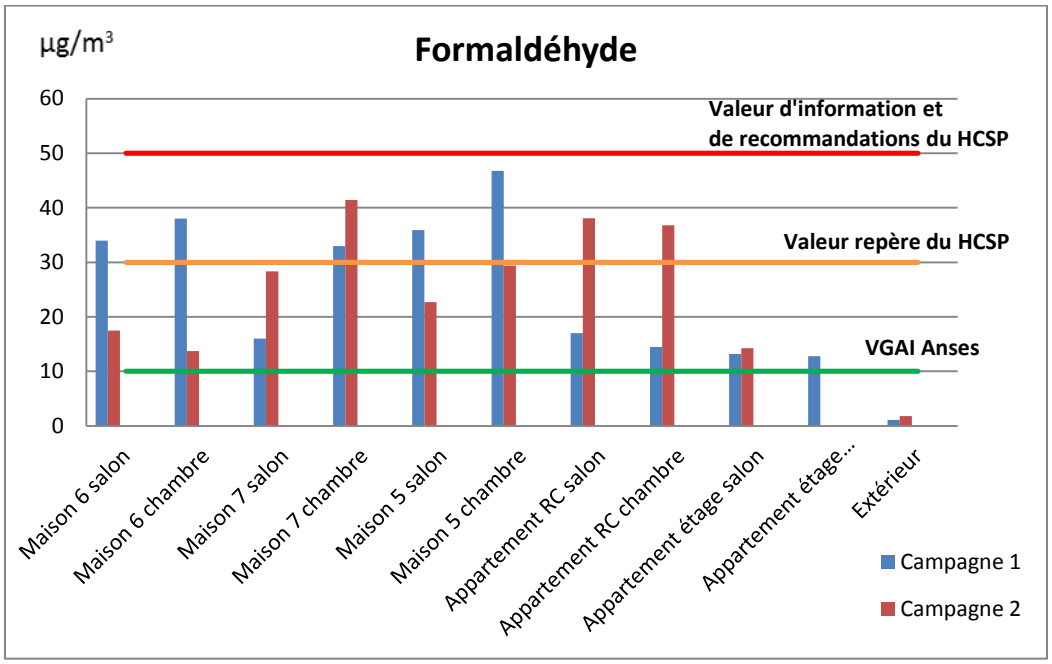
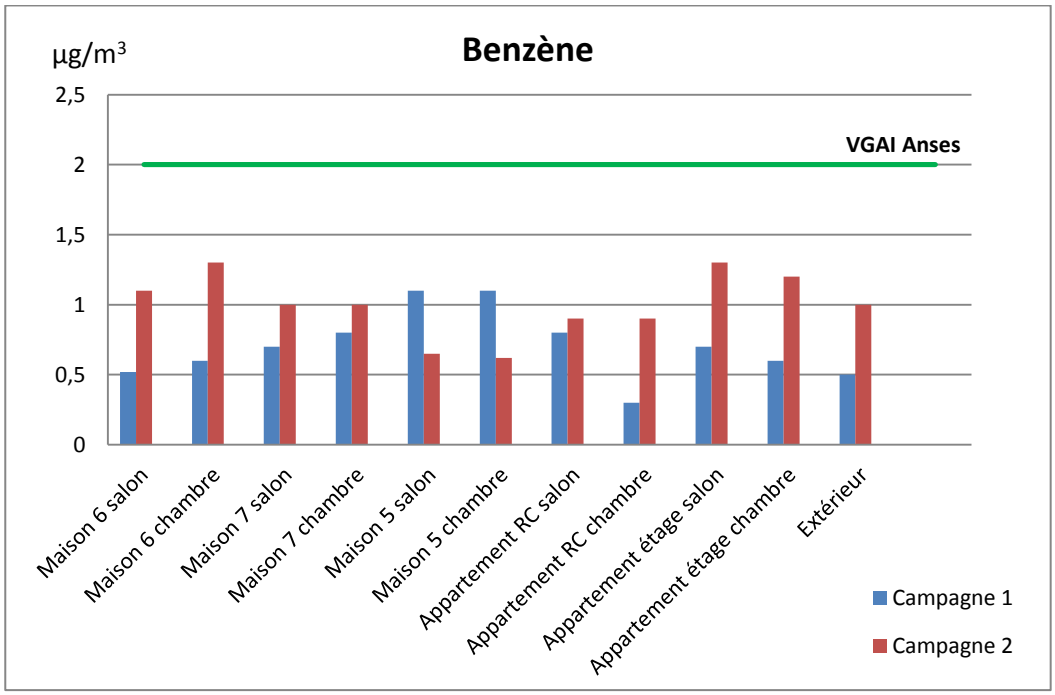


Figure 4 : Comparaison des concentrations en benzène à la VGAI de l'Anses



6 Conclusions et recommandations

Les mesures de la qualité de l'air réalisées dans les 5 habitations de l'éco-lotissement de la Pelousière à Langouët ont mis en évidence la présence de composés organiques volatils (COVs). L'étude a porté principalement sur deux familles de polluants, les aldéhydes et les BTEX, dont certains composés comme le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et le benzène sont classées prioritaires par l'OQAI.

Les mesures effectuées avant occupation des logements ont permis de mesurer l'impact des matériaux de construction, d'isolation et de décoration sur les émissions de COVs. Les principales sources d'émission de ces composés sont liées aux matériaux et produits utilisés pour la construction et l'isolation (bois, peintures, colles, vernis, revêtements…). Des différences ont été observées selon le type de construction (maison individuelle versus appartement) et selon la nature des matériaux utilisés.

Ces mesures montrent qu'aucun des logements ne respectent la valeur cible des 10 µg/m^3 recommandée par le HCSP pour le formaldéhyde dans le cas des bâtiments neufs livrables à partir de 2012. Ce résultat met en perspective les efforts encore nécessaires pour limiter les émissions du formaldéhyde. Le décret n° 2011-321 du 23 mars 2011 imposant le premier étiquetage[4] en matière de santé environnementale pour les produits de construction et de décoration devrait aider en ce sens. A l'inverse, pour le benzène, les mesures montrent que tous les logements respectent la valeur cible de 2 µg/m3 fixée par le HCSP dans le cas des bâtiments neufs livrables à partir de 2012. Ce bon résultat est à mettre au bénéfice de la nouvelle règlementation relative aux conditions de mise sur le marché des produits de construction et de décoration contenant des substances cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques de catégorie 1 ou 2.

Les mesures réalisées après un an d'occupation des logements ont montré une baisse significative des composés les plus volatils comme le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes. Concernant les aldéhydes, les résultats sont plus contrastés entre les différents logements. Le mobilier, l'usage de certains produits de consommation et le comportement des habitants semblent jouer un rôle important dans l'émission de ces composés. Concernant le

[4] Depuis le 1er janvier 2012, ces produits doivent être munis d'une étiquette indiquant, de manière simple et lisible, leur niveau d'émission en polluants volatils. Les produits concernés par cette nouvelle réglementation sont les produits de construction ou de revêtements de parois amenés à être utilisés à l'intérieur des locaux, ainsi que les produits utilisés pour leur incorporation ou leur application. Sont ainsi concernés, les cloisons, les revêtements de sols, les isolants, les peintures, les vernis, les colles, les adhésifs, etc.

formaldéhyde, les sources d'émission sont diffuses et souvent multiples ; pour les logements présentant des concentrations supérieures à la valeur repère du HCSP (30 µg/m^3) il peut être plus pertinent d'agir dans un premier temps sur la ventilation du logement et/ou sur les comportements des occupants pour ramener les niveaux en dessous de la valeur repère. Par ailleurs, il convient de veiller lors de l'arrivée des occupants à choisir les matériaux d'ameublement les moins émissifs et ainsi favoriser l'évolution progressive vers l'objectif de 10 µg/m^3. La proposition d'étendre la règlementation sur l'étiquetage en 2013 aux produits d'ameublement et aux autres sources intérieures (produits d'entretien, désodorisants …) devrait permettre de répondre à cet objectif.

7 Mesures complémentaires : le radon

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle provenant de la désintégration du radium, lui-même issu de la désintégration de l'uranium contenu dans la croûte terrestre. Il est inodore et incolore. Le radon est présent partout à la surface de la Terre mais plus particulièrement dans les sous-sols granitiques et volcaniques. L'activité volumique du radon dans l'air (qu'on nomme couramment concentration) s'exprime en becquerels par mètre cube (Bq/m^3). Le radon provient du sol, pénètre dans les bâtiments via leurs défauts d'étanchéité et se trouve, par effet de confinement, à des concentrations plus élevées à l'intérieur des bâtiments qu'à l'extérieur. On le trouve prioritairement dans les niveaux les plus bas occupés. Une exposition régulière, durant de nombreuses années, à des concentrations excessives de radon accroît le risque de développer un cancer du poumon. Cet accroissement du risque est proportionnel au temps d'exposition et à la concentration en radon dans l'air respiré. En cas d'exposition simultanée à la fumée de cigarette et au radon, le risque de développer un cancer du poumon est majoré.

Une campagne nationale de mesures du radon dans certains locaux a permis de lister, par arrêté, les départements dits prioritaires vis-à-vis du radon. Cette liste est fournie dans l'annexe 1 de l'arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux modalités de gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public. Selon cet arrêté, l'Ille-et-Vilaine n'est pas un département prioritaire vis à vis du radon.

Depuis 2002, la réglementation prévoit, dans les zones géographiques considérées comme prioritaires, une obligation de surveillance de l'exposition au radon dans certains lieux

ouverts au public. Sont visées plus particulièrement les catégories de bâtiments dans lesquels le temps de séjour peut être important : les établissements d'enseignement ; les établissements sanitaires et sociaux disposant d'une capacité d'hébergement (notamment les crèches et hôpitaux) ; les établissements pénitentiaires ; les établissements thermaux.

La réglementation fixe deux niveaux d'action au-dessus desquels il est nécessaire d'entreprendre des travaux en vue de réduire les concentrations en radon :

- en dessous de 400 Bq/m^3 : la situation ne justifie pas d'action correctrice particulière ; aérer et ventiler permet cependant d'améliorer la qualité de l'air intérieur des locaux et d'abaisser la concentration en radon, par phénomène de dilution ;
- entre 400 Bq/m^3 et 1000 Bq/m^3 : il est obligatoire d'entreprendre des actions correctrices simples afin d'abaisser la concentration en radon en dessous de 400 Bq/m3 et à un seuil aussi bas que possible. Si après contrôle, ces actions simples ne suffisent pas, le propriétaire doit faire réaliser un diagnostic du bâtiment et engager des travaux plus importants ;
- au-delà de 1000 Bq/m^3 : le propriétaire doit réaliser sans délai des actions simples pour réduire l'exposition. Il doit également immédiatement faire réaliser un diagnostic du bâtiment et, si nécessaire, des mesures correctrices supplémentaires (travaux).

Par ailleurs, si l'un des résultats de mesures du radon se situe au-dessus du niveau d'action de 400 Bq/m^3, le propriétaire transmet dans un délai d'un mois le rapport d'intervention au Préfet qui assurera un contrôle de la mise en œuvre des mesures correctrices.

En 2009, l'OMS a publié un avis sur le radon, qui recommande une concentration de référence nationale de 100 Bq/m^3. Si ce n'est pas réalisable dans les conditions particulières du pays, la concentration de référence ne doit pas dépasser 300 Bq/m^3.

Il n'y a pas, à l'heure actuelle, d'obligation réglementaire pour les constructions neuves. L'article L 1333-10 du Code de la Santé Publique prévoir une obligation de surveillance pour les propriétaires de certaines catégories d'immeubles bâtis situés dans les zones géographiques considérées comme prioritaires, et une obligation de travaux en cas de dépassement d'un seuil préalablement fixé. Les textes d'application sont aujourd'hui en cours de préparation. Ils préciseront notamment les catégories d'immeubles concernées.

Les mesures de radon sont effectuées, dans le cadre des exigences, selon la norme NF M60-766 qui définit la méthodologie de la mesure intégrée de radon (les prélèvements sont effectués sur de longues périodes, d'une semaine à une année), et la norme NF M60-771 qui présente la méthodologie pour réaliser la mesure (choix de l'implantation du dispositif, pose et dépose, exploitation des résultats… La mesure doit par ailleurs être réalisée pendant 2 mois minimum entre le 15 septembre de l'année n et le 30 avril de l'année n+1).

Dans le cadre de cette étude expérimentale, les mesures dans l'habitat qui ont été réalisées ne respectent pas le temps de mesure établi par la 60-766 (2 mois entre le 15 septembre de l'année n et le 30 avril de l'année n+1). Les mesures, qui ont duré plus de deux mois en période hivernale, se sont prolongées jusqu'en période printanière au-delà du 30 avril. Pour autant, les résultats obtenus (donnés dans le tableau ci-après), indiquent des concentrations de radon très faibles. **Les habitats testés ne présentent donc aucun risque particulier vis-à-vis de ce gaz.**

Tableau 10 : Concentrations en radon dans les habitations

	Maison 6	Maison 7	Appartement RDC
Entrée	10 ± 8 11/02 – 01/07/2011	_	_
Séjour	< 16 11/02 – 01/07/2011	< 21 25/02-14/06	_
Bureau	_	< 21 25/02-14/06	41 ±15 25/02-14/06
Chambre	_	_	< 21 25/02-14/06

8 Référence

Air Pays de La Loire. Evaluation de la qualité de l'air intérieur dans la maison éco-performante de la Communauté de Commune du Pays des Herbiers. Octobre 2009 – Janvier 2010.

Arrêté du 19 avril 2011 relatif à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtements de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils, JORF 13 mai 2011.ents par l'OQAI – Novembre 2002.

Arrêté du 28 mai 2009 modifiant l'arrêté du 30 avril 2009 relatif aux conditions de mise sur le marché des produits de construction et de décoration contenant des substances cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques de catégorie 1 ou 2.

Arrêté du 30 avril 2009 relatif aux conditions de mise sur le marché des produits de construction et de décoration contenant des substances cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques de catégorie 1 ou 2.

Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène.

Décret n° 2011-1728 du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public.

Décret no 2011-321 du 23 mars 2011 relatif à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtement de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils.

Haut Conseil de la Santé Publique. Avis relatif à la fixation de Valeurs repères d'aide à la gestion pour le formaldéhyde dans l'air des espaces clos – Octobre 2009.

Haut Conseil de la Santé Publique. Avis relatif à la fixation de Valeurs repères d'aide à la gestion pour le benzène dans l'air des espaces clos – Juin 2010.

InVS. Diagnostic et prise en charge des syndromes collectifs inexpliqués – Guide technique 2010.http://www.invs.sante.fr/publications/2010/syndromes_collectifs_inexpliques/Guide_InVS.pdf

Mandin C, Maupetit F. Qualité de l'air intérieur dans les bâtiments neufs : données disponibles et spécificités. Pollution atmosphérique N°209 – Janvier-Mars 2011.

Mosqueron L, Nedellec V. Hiérarchisation sanitaire des paramètres mesurés dans les bâtiments par l'OQAI – Novembre 2002.

Nicolas Mélanie. Ozone et qualité de l'air intérieur : interactions avec les produits de construction et de décoration. Thèse de Doctorat de l'Université Paris 7 – Denis Diderot. Décembre 2006.

NF ISO 16000-2 : Air intérieur - Partie 2 : Stratégie d'échantillonnage du formaldéhyde - 2006.

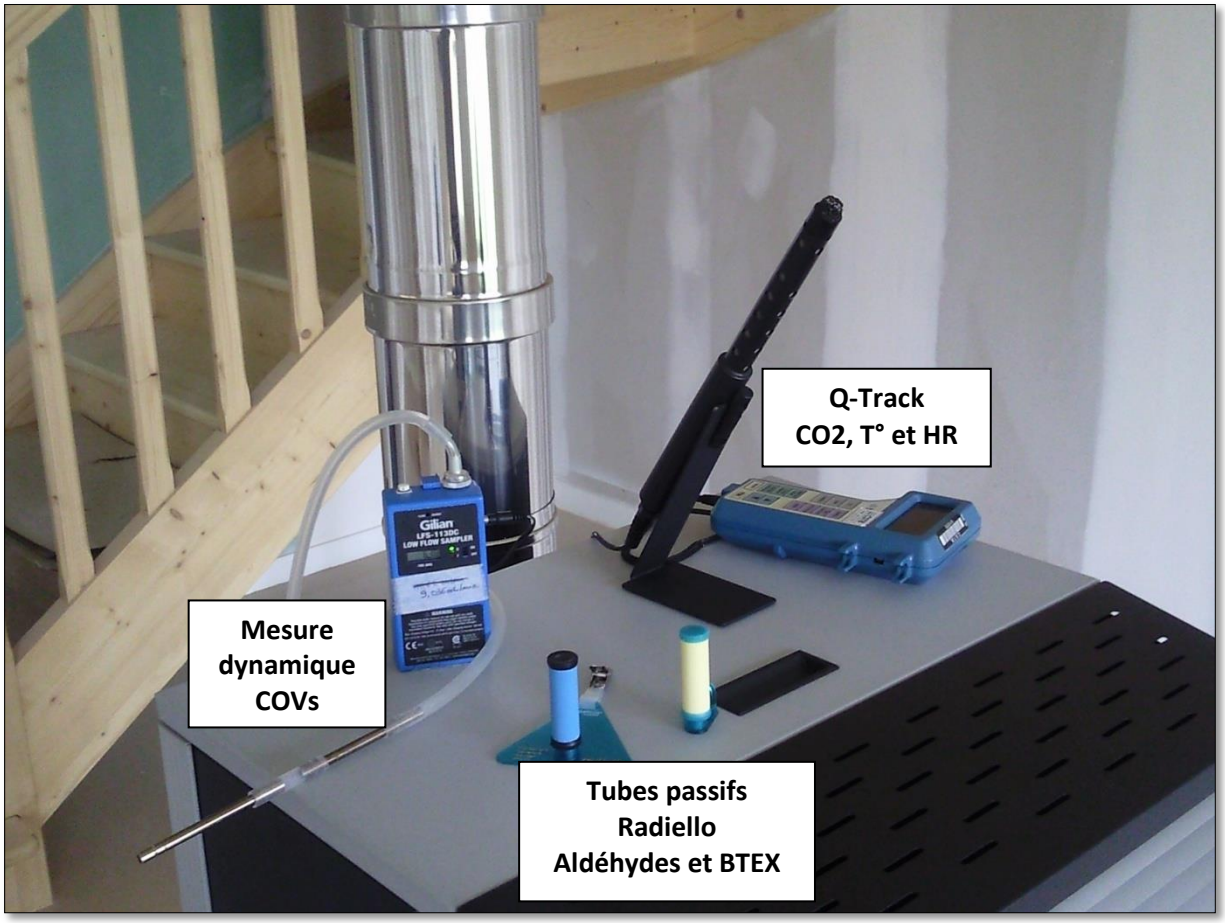
OQAI. Campagne nationale logements – Etat de la qualité de l'air dans les logements français - Novembre 2006. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/OQAI.pdf

OQAI. Qualité d'air intérieur, qualité de vie – 10 ans de recherche pour mieux respirer. 2011.

Rousselle C, Mandin C, Azuma K. Valeurs guides de qualité d'air intérieur : analyse comparative des approches française et japonaise. Environnement, Risques & Santé 2011 ; 12 (1) : 25-34.

Annexe 1 : Le lotissement de la Pelousière à Langouët

Figure 5 : Maisons individuelles du lotissement de la Pelousière

Figure 6 : Immeuble collectif du lotissement de la Pelousière

Annexe 2 : Dispositifs de mesure de la qualité de l'air