

prise en compte de la qualité de l'air intérieur

dans l'aménagement des bureaux d'Air Pays
de la Loire depuis la conception du bâtiment
jusqu'à son exploitation

octobre 2015

air | pays de
la loire
www.airpl.org



sommaire

résumé	1
introduction	4
description du bâtiment	5
la phase conception : où se situe l'air intérieur ?	6
les matériaux en contact avec l'air intérieur	7
le mobilier	14
le système de ventilation	15
bilan de la phase conception	16
la phase d'exécution : un nouveau paramètre pour les entreprises	17
la phase chantier : les surprises pour les compagnons ...	18
le management de la qualité de l'air intérieur	19
la réalisation des campagnes de mesure	21
les résultats des campagnes de mesure	23
bilan de la phase chantier et des mesures	31
la phase exploitation : les ajustements et enseignements 32	
le suivi des performances par les mesures	33
l'entretien des locaux et la maintenance des systèmes	45
la maintenance du système de ventilation	48
l'adaptation des comportements	48
bilan de la phase exploitation	49
conclusions et perspectives	50
annexes	51
annexe 1 : Air Pays de la Loire	52
annexe 2 : caractéristiques complémentaires de la ventilation	53
annexe 3 : paramètres hygrothermiques	54
annexe 4 : concentrations en COV	55
annexe 5 : concentrations en aldéhydes	56
annexe 6 : résultats OFFICAIR	57
bibliographie	58

contributions

Coordination de l'étude – Rédaction et exploitation statistique : Karine Oger, Mise en page : Bérangère Poussin, Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Tricoire, Photographies : Arnaud Tricoire et Gilles Levigoureux, Validation : François Ducroz, Gilles Levigoureux et Luc Lavrilleux.

conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 3 août 2013 pris par le Ministère chargé de l'Écologie.

A ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Pays de la Loire, réserve un droit d'accès au public aux résultats des mesures recueillies et rapports produits dans le cadre de commandes passées par des tiers. Ces derniers en sont destinataires préalablement.

Air Pays de la Loire a la faculté de les diffuser selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet www.airpl.org, etc...

Air Pays de la Loire ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Pays de la Loire n'aura pas donné d'accord préalable.

résumé

Cette étude retrace l'« aventure air intérieur » menée par Air Pays de la Loire au sein de ses nouveaux locaux.

Air Pays de la Loire a fait le choix d'acquérir un bâtiment neuf, « brut de béton », pour le regroupement de ses équipes sur un même site.

Fort de notre expertise dans le domaine de l'air intérieur, nous avons souhaité être exemplaires dans l'aménagement et le suivi de la qualité de l'air dans notre nouveau bâtiment. Ce projet a donc fait l'objet de plusieurs phases de mesure de qualité de l'air intérieur du bâtiment, de la réception de l'« enveloppe » vide à la vie après emménagement.

Dès le départ, un travail collaboratif avec les salariés a été mené pour réfléchir à la fonctionnalité des bureaux. Les différents matériaux et le mobilier ont été choisis avec soin pour limiter leurs impacts sur la qualité de l'air intérieur. Le choix de la ventilation a également fait l'objet de réflexions approfondies.

Pendant la phase de chantier, des réunions et visites régulières ont eu lieu afin de sensibiliser les différents corps de métiers aux bonnes pratiques et contrôler la mise en œuvre des matériaux et méthodes préconisés.

Malgré une vigilance importante, des aléas techniques ont perturbé les efforts opérés, comme la pose d'une résine époxy obligatoire, non prévue et à fort impact sur l'air intérieur. Des actions correctives ont été menées, notamment la mise en marche forcée de la ventilation.

Depuis l'emménagement des équipes d'Air Pays de la Loire, des ajustements constants sont menés afin que chaque salarié puisse évoluer dans un environnement de travail confortable.

Cette expérience, nous a permis de ressortir quatre enseignements essentiels transposables aux projets collectifs de construction et d'aménagement :

- se fixer des objectifs et intégrer la qualité de l'air intérieur comme l'un des critères à prendre en compte dans un projet de construction ou de rénovation ;
- fournir les efforts dès l'étape de conception du projet, puis pendant le chantier et enfin en phase d'exploitation. Un investissement permanent est essentiel ;
- accompagner les acteurs de la construction (architectes, entreprises) dans la réalisation de ce type de projet novateur. La thématique est en développement et nécessite une expertise spécifique, tant sur le choix des matériaux, le fonctionnement des équipements, les usages, les impacts sur les mesures ou encore sur les solutions de remédiations ;
- savoir que le « zéro émission » n'existe pas. Un bâtiment neuf est source de pollutions, l'objectif consiste à les réduire au maximum.

retour d'expérience de la prise en compte de la qualité de l'air intérieur dans l'aménagement des bureaux Air Pays de la Loire

Pour l'intégration de la qualité de l'air intérieur dans l'aménagement de nos bureaux, des efforts ont été réalisés depuis l'étape de conception jusqu'à l'exploitation des locaux. Les actions ci-dessous retracent leur importance.

CONCEPTION

- prioriser les espaces à occupation prolongée (open spaces et salles de réunion) pour intégrer la démarche de la qualité de l'air intérieur.
- choisir les matériaux en fonction de leurs caractéristiques et labels et établir une description précise dans les documents de marché (CCTP).
- limiter l'usage du bois collé et privilégier l'usage du bois massif.
- vérifier les contraintes techniques (DTU) et la disponibilité des matériaux sur le marché pour anticiper d'éventuels aléas.
- réutiliser le mobilier en bon état d'usage, notamment les chaises pour diminuer les sources de pollution.
- sur-dimensionner la ventilation dans les open spaces et asservir la salle de réunion en fonction de la concentration en CO2.
- vérifier les commandes des matériaux.

CHANTIER

- sensibiliser les entreprises et les compagnons tout au long du chantier par des visites hebdomadaires, de la communication (affichettes dans le bâtiment pour l'interdiction du tabac, la réalisation des découpes à l'extérieur).
- vérifier que les matériaux préconisés soient ceux mis en œuvre.
- valider chaque substitution de produit pour éviter d'introduire des matériaux à fort impact sur l'air intérieur.
- proposer des solutions aux entreprises pour réduire le risque de pollution de l'air intérieur : stockage des matériaux, du système de ventilation.
- réaliser des mesures régulières pour connaître l'évolution de la QAI liée au chantier : point initial en phase brut de béton, après pose de la résine époxy, du second œuvre, mise en marche de la ventilation et installation du mobilier.
- extraire les polluants présents avant la livraison du bâtiment grâce à la mise en marche forcée de la ventilation.

EXPLOITATION

- optimiser le confort du bâtiment par le paramétrage des débits de ventilation ou par la sur-ventilation nocturne.
- réaliser des mesures régulières pour connaître l'évolution de la qualité de l'air intérieur à réception, à 6 mois et à 1 an, ou bien même en continu pour identifier des sources de pollution spécifiques.
- proposer l'utilisation de produits d'entretien à faibles émissions et des consignes de stockage précises.
- accompagner les salariés d'Air Pays de la Loire aux nouveaux usages du bâtiment (chauffage, ventilation).

pour une prise en compte optimale de la qualité de l'air intérieur dans des projets de construction, voici les points clés indispensables à la réussite de la démarche

conception



- sensibilisation des concepteurs (architectes, bureaux d'études, etc.)
- définition collaborative de la stratégie air intérieur
- choix rigoureux des matériaux, du mobilier
- choix des équipements de ventilation
- rédaction précise des CCTP
- attention soutenue lors de l'analyse des offres

chantier



- sensibilisation des acteurs du bâtiment aux bonnes pratiques
- préparation et suivi régulier du chantier (hebdomadaires)
- vérification des matériaux et des méthodes mises en œuvre
- réalisation de mesures de la qualité de l'air intérieur à différentes phases (clos couvert, second œuvre, après mise en marche de la ventilation, après installation du mobilier ou en continu)
- proposition de solutions de remédiation en cas de difficulté

exploitation



- sensibilisation des usagers
- conseils d'usage, d'entretien et de maintenance du bâtiment et des équipements
- réalisation de mesures de la qualité de l'air intérieur à différentes phases (livraison, après 6 mois, après 1 an et en continu)
- proposition de solutions de remédiation en cas de difficulté

les paramètres sensibles à évaluer



- paramètres chimiques
 - composés organiques volatils dont aldéhydes
 - monoxyde et dioxyde de carbone
- paramètres biologiques
 - moisissures
- paramètres physiques
 - débit d'air
 - radon
 - fibres et particules

Dans chacune de ces phases, Air Pays de la Loire, fort de son expérience peut vous accompagner dans votre projet.

MESURES, CONSEIL, SUIVI ...

introduction

Dans une période de mutation, la construction fait l'objet d'exigences environnementales et sanitaires grandissantes. En effet, depuis quelques années, les préoccupations se bousculent : respect de l'environnement, amélioration de la performance thermique, amélioration du confort et de la qualité de l'air intérieur, respect des coûts, etc.

Dans son projet d'aménagement, Air Pays de la Loire a souhaité identifier le meilleur compromis parmi ces exigences en plaçant le curseur de la qualité de l'air intérieur comme l'un des prioritaires.

Ainsi, au-delà de la performance énergétique du bâtiment en lien avec la RT 2012, Air Pays de la Loire accompagné du cabinet Topos Architecture a mis en place une démarche afin d'intégrer la thématique de la qualité de l'air intérieur et d'en faire une priorité pour ses propres bureaux.

Pour cela, l'ensemble des phases de la réalisation d'un projet de construction ont été considérées :

- phase conception : choix des matériaux de finition en contact avec l'air intérieur, du mobilier et des équipements, notamment de la ventilation ;
- phase chantier : sensibilisation des compagnons, vérifications régulières de la bonne exécution du chantier, mesures de la qualité de l'air intérieur ;
- phase exploitation : mesures de la qualité de l'air intérieur à l'arrivée des salariés puis de manière permanente avec un suivi en continu de certains paramètres pour optimiser le fonctionnement du bâtiment, ajustements des systèmes, procédures d'entretien.

Ce rapport relate ainsi de :

- la prise en compte de la qualité de l'air intérieur lors des phases conception, chantier et exploitation,
- des résultats de l'ensemble des campagnes de mesure réalisées lors du chantier et à réception, puis à postériori,
- des enseignements tirés pour la bonne prise en compte de la qualité de l'air intérieur dans de futurs projets de construction.

description du bâtiment

OPERATION – BATIMENT	
Typologie	Bureaux
Maitre d'Ouvrage	Air Pays de la Loire
Architecte	Topos Architecture
Surface Hors Œuvre Nette (SHON)	640 m ²
Objectif thermique	RT 2012
Avancement	Livré en janvier 2015
DESCRIPTIF DETAILLE DU BATIMENT	
Système constructif	Béton banché
Système d'enveloppe	Double vitrage avec traitement anti UV
	Isolation intérieure
	Dalle sur terre-plein isolée
	Plafond non isolé
Systèmes de chauffage/ refroidissement	Pompe à chaleur (Débit Réfrigérant Variable)
Système de ventilation	Double flux – Centrale de Traitement d'Air
INFORMATIONS SPECIFIQUES SANTE	
Nature des revêtements de sol	Linoléum de marque TARKETT
	Carrelage de marque PAVIGRES
Nature des revêtements de mur	Peinture de marque KEIM
	Contreplaqué bois vernis de marque JOUBERT
	Plaque de plâtre de marque PLACO
	Panneaux de marque MDF MEDITE ECOLOGIQUE
	Textile de marque BUZZITILE
Nature des revêtements de plafond	Peinture de marque KEIM
	Dalles acoustiques de marque ECOPHON
	Plafonds suspendus de marque ECOPHON

la phase conception : où se situe l'air intérieur ?

La contribution des matériaux de construction et du mobilier aux émissions de polluants dans l'air intérieur représente une part non négligeable de la pollution dans les bâtiments neufs et rénovés. Ceux-ci émettent principalement durant les 6 premiers mois de la vie du bâtiment puis leurs émissions sont décroissantes dans le temps. L'ensemble des matériaux de construction émettent des substances chimiques comme les Composés Organiques Volatils (COV) et les aldéhydes. Certains matériaux doivent bénéficier d'une analyse détaillée en fonction de leur pouvoir absorbant et de leur surface d'émission afin de limiter leur impact sur la qualité de l'air intérieur.

Afin de diminuer la pollution des locaux, des matériaux et du mobilier peu émissifs et à faibles impacts sanitaires ont été préconisés dès l'étape de conception des bureaux.

Par ailleurs, en complément de la réduction des sources de pollution par le choix des matériaux, il est également nécessaire de diluer et d'extraire les polluants éventuellement présents, tels que le CO₂ lié à la présence humaine. Pour cela, en phase conception, Air Pays de la Loire a également précisé, en concertation avec le bureau d'études fluides, la performance du système de ventilation.

les matériaux en contact avec l'air intérieur

Air Pays de la Loire et Topos Architecture ont sélectionné pour les matériaux de finition directement en contact avec l'air intérieur et le mobilier (revêtements muraux, plafonds, revêtements de sol, colles, vernis, etc.), des produits présentant des impacts sanitaires faibles. Ces exigences ont ainsi été traduites dans les documents de marchés destinés aux entreprises, les Cahiers des Clauses Techniques Particulières (CCTP). Ainsi, sur la base de ce document de référence organisé par lots, chaque entreprise a eu connaissance des produits à mettre en œuvre pour l'aménagement du bâtiment. Notons toutefois qu'il est interdit de nommer la marque des produits utilisés dans ces documents, d'où l'importance de la description détaillée des matériaux.

la stratégie utilisée

les polluants pris en compte selon leurs impacts sanitaires

Le risque sanitaire des matériaux est évalué selon le Règlement Produits de Construction (RPC) et notamment l'exigence n°3 relative à l'hygiène, la santé et l'environnement. Les critères de performance associés sont notamment :

- les **émissions en Composés Organiques Volatils (COV)** : ils sont souvent en cause dans les phénomènes allergiques et dans les irritations oculaires, cutanées et respiratoires. D'autres COV comme le formaldéhyde peuvent être classés comme cancérigènes certains selon le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Cet effet chronique propre au formaldéhyde reste cependant de l'ordre de l'exposition professionnelle par le cancer du nasopharynx. Les effets dits « cocktails » liés aux émissions de plusieurs COV en même temps ne sont pas encore bien connus.

- les **émissions en fibres et particules** : selon leur taille, elles pénètrent plus ou moins profondément dans le poumon. Les fibres dont le diamètre est supérieur à 3 µm pénètrent peu et provoquent seulement des irritations mécaniques par contact avec la peau et les muqueuses. Celles dont le diamètre est inférieur à 3 µm et la longueur supérieure à 5 µm, comme les fibres d'amiante, pénètrent jusqu'aux alvéoles pulmonaires et sont difficilement éliminables. La classification des particules est la suivante :

- PM₁₀ : particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm. Les particules de cette taille sont éliminées par la trachée et les bronches et conduites vers le pharynx par la toux ;
- PM_{2.5} : particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm. Les particules de cette taille peuvent pénétrer jusqu'aux alvéoles pulmonaires.
- PM₁ : particules dont le diamètre est inférieur à 1 µm. Les particules peuvent atteindre le sang et la plèvre. La plupart de ces émissions sont issues de la combustion.
- PM_{0.1} : particules dont le diamètre est inférieur à 0,1 µm. On parle de particules ultra-fines ou de nanoparticules. On les retrouve dans certaines nouvelles technologies comme les vitres autonettoyantes, les peintures photocatalytiques... Ces particules s'accumulent dans l'organisme sans y être éliminées et leurs effets sur la santé sont encore mal connus.

- le risque de **développement de micro-organismes** : les moisissures libèrent des particules dans l'air. Il s'agit de fragments de spores et mycéliums qui contiennent des composés inhalables pouvant provoquer asthme, infections respiratoires, toux, etc.;

- les **émissions en radioéléments** : l'émission de radioéléments peut notamment être responsable d'irritations, d'intoxications et de cancers, notamment le cancer du poumon par la présence de radon issu de la désintégration du radium.

Pour garantir la performance des matériaux mis en œuvre, dans son analyse du risque sanitaire, Air Pays de La Loire s'est principalement attaché aux émissions de COV, aux éventuels développements de moisissures, ainsi qu'aux émissions de particules générées notamment lors du chantier.

Par ailleurs, l'analyse du risque sanitaire proposée prend en compte en priorité le risque pour les occupants, les risques sanitaires pour les ouvriers étant encadrés par le code du travail et la mission du SPS : Sécurité Protection de la Santé.

les outils utilisés

Pour quantifier l'impact sanitaire des matériaux de construction, Air Pays de la Loire s'est basé sur les outils suivants :

- **le marquage de la Communauté Européenne (CE)** : dans le cadre du marquage CE, les produits bois, contrairement aux autres produits de construction, doivent obligatoirement faire l'objet d'une analyse des teneurs et des émissions de formaldéhyde (FA) selon la norme NF EN 717-1. Ils doivent être classés selon deux classes d'émission E₁ ou E₂. La classe E_{0,5} plus exigeante, n'est pas réglementaire, mais des industriels volontaires et soucieux de la qualité de leurs produits l'utilisent pour communiquer sur la performance de leurs matériaux. Les exigences associées aux classes sont les suivantes :

- E_{0,5} : teneur en FA ≤ 4 mg/100 g de panneau sec et émissions en FA ≤ 62 µg/m³ d'air ou 0,05 ppm,
- E₁ : teneur en FA ≤ 8 mg/100 g de panneau sec et émissions en FA ≤ 0,1 ppm ou 124 µg/m³ d'air,
- E₂ : teneur en FA > 8 mg/100g de panneau sec et émissions en FA comprises entre 124 µg/m³ et 1,24 mg/m³ d'air.

- **les Fiches de Données de Sécurité (FDS)** : ces documents informent sur la composition chimique des produits et leur toxicité. Les éléments recherchés sont notamment les composés classés CMR : cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques. Par ailleurs, les FDS mentionnent des dangers (phrases H) et des conseils de prudence (phrases P) relatifs à la mise en œuvre des produits sur chantier. Par exemple, H331 signifie que le produit est toxique par inhalation et P281 précise qu'il convient d'utiliser les équipements de protection individuelle requis. Ainsi, en se prémunissant du risque sanitaire pour les salariés d'Air Pays de la Loire, les opérateurs sur chantier sont également protégés.

- **les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES)** : ces documents rédigés par les industriels (auto-déclaratifs) informent sur les critères relatifs au RPC. Ainsi, dans ces documents, il est courant d'identifier les émissions en COV des matériaux. Les rapports d'essais peuvent être demandés aux industriels pour justifier les performances annoncées.

- **les labels** : les matériaux labellisés garantissent le respect de performances selon des critères propres au cahier des charges de chaque label. Ainsi, une analyse précise des niveaux d'exigences et de la gouvernance du label (tierce partie, auto-déclaration) doit être effectuée pour garantir la performance du produit.



Paramètres	AgBB	AFSET	M1	NaturePlus	GUT	Ange Bleu	Emicode
Origine	Allemagne	France	Finlande	Allemagne	Allemagne	Allemagne	Allemagne
Année création	2001	2006	1995	2002	1990	1977	1997
Statut	Réglementaire	Volontaire	Volontaire	Volontaire	Volontaire	Volontaire	Volontaire
Produits concernés	Revêtements de sol	Tous produits	Tous produits	Tous produits	Revêtements de sol textiles	Tous produits	Colles, mortier, adhésifs, etc.
Normes d'essais	Série normes ISO 16 000	Série normes ISO 16 000	Série normes ISO 16 000	Série normes ISO 16 000	Série normes ISO 16 000	Série normes ISO 16 000	Série normes ISO 16 000
Durée d'essai	3 et 28 jours	3 et 28 jours	28 jours	1, 3 et 28 jours	3 jours	3 et 28 jours	1 et 10 jours
Seuil COVT à 3 jours	10 000 µg.m ⁻³	10 000 µg.m ⁻³	/	/	300 µg.m ⁻³	1200 µg.m ⁻³	/
Seuil COVT à 28 jours	1000 µg.m ⁻³	1000 µg.m ⁻³	200 µg.m ⁻² .h ¹	200 à 300 µg.m ³ selon les produits	/	360 µg.m ⁻³	500 µg.m ³ à 10 jours
Seuil FA à 28 jours	Norme EN 717-1 : E1, E2	10 µg.m ⁻³	50 µg.m ⁻² .h ¹	36 µg.m ⁻³	10 µg.m ⁻³ à 3 jours	60 µg.m ⁻³	50 µg.m ⁻³ à 1 jour

- **l'étiquetage sanitaire obligatoire** : l'arrêté du 19 avril 2011 prévoit que les produits de construction et de décoration (revêtements de mur, de sol, les peintures et vernis) soient étiquetés de façon à informer sur leurs émissions de COV. Les classes A+, A, B et C se basent sur les émissions à 28 jours des produits selon les normes de la série ISO 16 000. Cet étiquetage est obligatoire depuis le 1^{er} septembre 2013.

CLASSES	C	B	A	A+
Formaldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>120	<120	<60	<10
Acétaldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>400	<400	<300	<200
Toluène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>600	<600	<450	<300
Tétrachloroéthylène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>500	<500	<350	<250
Xylène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>400	<400	<300	<200
1,2,4-Triméthylbenzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>2000	<2000	<1500	<1000
1,4-Dichlorobenzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>120	<120	<90	<60
Ethylbenzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>1500	<1500	<1000	<750
2-Butoxyéthanol ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>2000	<2000	<1500	<1000
Styrène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>500	<500	<350	<250
COVT ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	>2000	<2000	<1500	<1000

les matériaux mis en œuvre

le choix d'Air Pays de la Loire

Dans sa stratégie de choix des matériaux de construction, Air Pays de la Loire a privilégié 3 sources en contact avec l'air intérieur : les sols, les murs et les faux-plafonds. Notons que les mobiliers ont également fait l'objet d'une sélection spécifique.

Pour les sols, Air Pays de la Loire avait le choix entre des revêtements de sols durs tels que le carrelage, textiles comme la moquette, ou souples tels que le linoléum, le PVC ou le caoutchouc.

Les revêtements de sol durs sont souvent minéraux et ne présentent pas de risque sanitaire majeur. Ils n'émettent pas de composé organique volatil et leur composition inorganique constitue un milieu non nutritif vis-à-vis des microorganismes. Par prudence, il est recommandé de s'intéresser à la teneur en radioéléments de ce type de produit, bien que pour la majorité celle-ci reste très faible.

Les revêtements de sol textiles, quant à eux, constituent des réservoirs de poussières et d'allergènes. Ces éléments peuvent être des milieux nutritifs aux moisissures. Par ailleurs, ils ont une grande capacité d'absorption et de désorption des polluants. Des traitements antimicrobiens sont appliqués à ces produits comme le Sanitized® à base de zinc pyrithione ou plus rarement de dérivés d'isothiazolinone considérés comme des allergènes cutanés.

Les revêtements de sol souples présentent d'autres problématiques comme la présence de phtalates, composés organiques semi-volatils. Toutefois, en fonction du type de revêtement, les dangers sanitaires diffèrent. Par exemple, la plupart des revêtements de sol PVC n'émettent pas de formaldéhyde, mais ils contiennent un fort pourcentage de phtalates. Les revêtements présents sur le marché français ne contiennent plus de Di(2-éthylhexyl)phthalate (DEHP) et de phtalate de dibutyle (DBP) classés toxiques pour la reproduction. Ils sont remplacés par d'autres phtalates : le Di-iso-nonyl phtalate (DINP) et le Phtalate diisodécylique (DIDP) dont on peut également s'interroger sur leur risque sanitaire. Par ailleurs, les revêtements PVC à envers mousse reçoivent un traitement fongique et antibactérien à base d'isothiazolinone. D'autres revêtements résilients¹ tels que les revêtements linoléum, fabriqués à partir d'un fort pourcentage de matières premières végétales présentent un risque sanitaire moindre. Toutefois, l'oxydation de l'huile de lin qui compose le linoléum peut générer des sous-produits volatils qui deviennent sources d'émissions odorantes et parfois même persistantes. Un nettoyage trop humide peut générer l'hydrolyse des acides gras du revêtement et provoquer l'émission de produits de dégradation tels que des aldéhydes, des acides carboxyliques dont l'odeur peut être insistante. Composés de colophane, les revêtements linoléum présentent des propriétés antibactériennes. Enfin, les revêtements résilients de type caoutchouc ne présentent pas de risque sanitaire majeur. Principalement issus d'éléments minéraux, les revêtements caoutchouc émettent peu de COV et de formaldéhyde. Ils sont par ailleurs bactériostatiques et fongistatiques sans additifs vis-à-vis des microorganismes et exempts de phtalate et de substance classée CMR.

¹ Revêtements de sol résilient : revêtement de type PVC, caoutchouc, liège ou linoléum

- Par exemplarité vis-à-vis de l'air intérieur, Air Pays de la Loire aurait pu choisir du carrelage. Toutefois, étant en open space, le choix d'Air Pays de la Loire s'est orienté vers un revêtement souple et plus précisément le linoléum en raison de sa facilité d'entretien et notamment de ses propriétés naturelles et son faible impact sur la QAI. En effet, sa composition, mélange de farine de bois et d'huile de lin, est faiblement émissive en COV et aldéhydes et ne constitue pas un milieu favorable aux moisissures, allergènes et acariens.

Pour **les murs** qui représentent une grande surface d'échanges avec l'air intérieur, Air Pays de la Loire a souhaité utiliser la peinture comme couche de finition.

Sur le marché, différentes peintures sont caractérisées par leur formulation. Le liant est le composant principal de la peinture. Il assure le lien entre toutes les substances et l'adhérence au support en constituant un film. Les liants peuvent être soit minéraux soit organiques. Ils influent directement sur la phase de dissolution. Les charges (substances minérales) et les pigments constituent également les peintures. Enfin, les additifs sont ajoutés pour apporter des caractéristiques spécifiques aux peintures. Par exemple, les peintures à l'eau sont composées d'agents de coalescence comme le Texanol® pour faciliter la formation du film. Les additifs varient selon le type de peinture.

Les différentes formulations aboutissent à plusieurs catégories de peinture :

- ⇨ les peintures glycérophtaliques (ou alkydes) en phase solvant dites « en solution », très émissives en COV. Elles sont à ne pas confondre avec les peintures alkydes « en émulsion », en dispersion aqueuse et par conséquent, moins émissives en composés organiques volatils.
- ⇨ les peintures en phase aqueuse. Leurs teneurs en COV sont inférieures aux peintures en phase solvant, mais contiennent des substances qui influent la qualité de l'air comme les co-solvants, les agents de coalescence, les anti-mousses, les biocides, etc.
- ⇨ les peintures d'origine végétale dites « naturelles ». Malgré leur connotation verte et bienfaisante, elles peuvent contenir certains COV allergisants comme les terpènes. Elles peuvent aussi favoriser l'apparition de sous-produits odorants et irritants dont le formaldéhyde.
- ⇨ les peintures minérales. Leur finition est toujours mate, mais elles ont l'avantage d'émettre très peu de composés organiques volatils (quasi nul) et d'empêcher la croissance de moisissure grâce à leur pH alcalin.

- Air Pays de la Loire a choisi une peinture minérale pour laquelle il n'y a pas de phase de dissolution, garantissant de très faibles émissions en COV.

Notons que les peintures sont appliquées sur des murs en plaques de plâtre standard dont les impacts sanitaires sont faibles (émissions en COV faibles) et sur des panneaux bois de type Medium Density Fiberboard (MDF) composés de colle polyuréthane, moins émissive que les colles à base de formaldéhyde.

Pour **les faux-plafonds**, les solutions étaient moins diversifiées. En raison de la configuration des bureaux en open space, il était essentiel de choisir des faux-plafonds à forte performance acoustique.

- Ainsi, le choix s'est orienté vers des plafonds suspendus et des dalles acoustiques dont l'impact environnemental et sanitaire est faible. Ainsi, les matériaux choisis sont composés de 70 % de laine de verre recyclée et d'un liant à base de blé. Les émissions en COV sont faibles. En effet Les panneaux sont labellisés M1, label finlandais exigeant et spécifique aux matériaux fibreux, Ecolabel Nordique et Ecolabel Danois spécialisé dans le risque allergique et irritant.

l'analyse des matériaux au regard de la qualité de l'air intérieur

Après sélection des matériaux avec l'architecte, une analyse de l'impact sur la qualité de l'air intérieur a été réalisée pour chaque matériau identifié.

Le risque sanitaire dépend du danger intrinsèque des matériaux mais également de leur quantité mise en œuvre et de leur proximité avec l'air intérieur traduisant l'exposition des salariés.

- Ainsi, 5 colonnes décrivent ces paramètres :
 - caractéristiques du produit : description des performances du matériau au regard de la qualité de l'air intérieur ;
 - labels : conformité à un label matériau ;
 - surface échange (m²) : une échelle propre à l'expertise d'Air Pays de la Loire est utilisée, allant de 1 à 3, 1 représentant une faible surface d'échange ;
 - proximité air intérieur : une échelle propre à l'expertise d'Air Pays de la Loire est utilisée, allant de 1 à 3, 1 étant un matériau peu en contact avec l'air intérieur ;
 - priorité air intérieur : ce calcul tient compte de la quantité de matériaux mis en œuvre et de leur proximité avec l'air intérieur. Plus le chiffre obtenu est grand, plus la prise en compte de l'impact QAI du matériau est importante.

Ainsi, au regard de ces éléments, un avis est donné pour chaque matériau. Il correspond aux indications suivantes :

		
Sans effet sur la QAI. Avis très favorable.	Effets sur la QAI faibles. Avis favorable avec certaines réserves.	Effets sur la QAI avérés. Modification du produit souhaitable si possible techniquement.

Produits	Fabricant	Fonction(s), caractéristiques	Localisation	Composition du produit	surface échange (m²)	Proximité air intérieur	Priorité Air intérieur	Caractéristiques QAI du produit	Labels	Avis QAI
LOT Faux Plafonds										
SOLO	Ecophon	Dalles acoustiques flottantes	Open spaces 1 et 2, salle de convivialité	Plus de 70 % de verre recyclé et un liant à base de blé	3	3	9	Label pour l'Ambiance Climatique Intérieur, recommandé par l'Association Suédoise pour l'Asthme et les allergies Etiquetage sanitaire : A+ Classe d'émission M1 pour les matériaux de construction : COVT<200 µg/m². h à 28 jours Emissions de formaldéhyde à 28 jours < 125 µg/m². h Répond aux exigences de la réglementation californienne CDPH Section 01350 connue pour ses exigences en matière d'émissions en COV Attention cependant à l'entretien de ce matériau qui peut poser problème, la poussière se déposant entre les fibres.	  	
FOCUS	Ecophon	Dalles acoustiques	Zones de circulation, salles de réunion	Laine de verre haute densité avec une finition Akutex TH sur la face exposée	3	3	9	Label pour l'Ambiance Climatique Intérieur, recommandé par l'Association Suédoise pour l'Asthme et les allergies Etiquetage sanitaire : A+ Classe d'émission M1 pour les matériaux de construction : COVT<200 µg/m². h à 28 jours Emissions de formaldéhyde à 28 jours < 125 µg/m². h Répond aux exigences de la réglementation californienne CDPH Section 01350 connue pour ses exigences en matière d'émissions en COV Attention cependant à l'entretien de ce matériau qui peut poser problème, la poussière se déposant entre les fibres.	  	
LOT Revêtements de sols carrelés										
FLUIDE 2S	Parexlanko	Colle carrelage	Sanitaires	Mélange à base de liants minéraux, de charges minérales et d'adjuvants	1	1	1	Etiquetage sanitaire : A+ Sans poussière		
PROLIDAL PLUS	Parexlanko	Colle faïence	Sanitaires	Mélange à base de liants minéraux, de charges minérales et d'adjuvants	1	1		Etiquetage sanitaire : A+ Sans poussière		
CARRELAGE	Pavigres	Sol carrelé	Sanitaires	Grès Cérame	1	3	3	Cuit à la très haute température de 1200°C, de porosité très faible (< 0,1%), le grès cérame porcelainé ne dégage aucune émission de COV ni formaldéhydes et reste insensible à tous développements fongiques et bactériens (selon protocole AFSSET 2009).		
FAÏENCE	Pavigres	Mur faïencé	Sanitaires	Grès émaillé	1	3	3	Etiquetage sanitaire : A+ matériaux minéral inerte		
LOT Revêtements de sols souples										
EPONAL 336	Bostik	Barrière anti-remontée d'humidité avant pose de revêtements de sol souples	Sur la dalle béton	bisphénol-A-épichlorhydrine et résines époxydiques oxiranne, dérivés mono[(alcoolates en C12-14)méthyl], phenol, polymère avec formaldéhyde, glycidyl ether, triéthylènetétramine	3	1	3	Etiquetage sanitaire : A+ (ne porte pas sur l'ensemble des polluants) La composition de la résine indique une proportion non négligeable de produits à fort impact sanitaire Irritant pour les yeux et la peau et toxique en cas d'ingestion : impact phase chantier => nécessite le port d'équipements de protection individuelle et l'aération du bâtiment		
PRIMATECH	Bostik	Interface d'accrochage hautes performances associé au procédé barrière anti-remontée	Sur la dalle béton	Silice, 1,2-benzisothiazol-3(2H)-one et mélange de 5-chloro-2-méthyl-2H-isothiazol-3-one et 2-méthyl-2H-isothiazol-3-one, phase aqueuse	3	1	3	Etiquetage sanitaire : A+		
COMPACT SF²	Tarkett	Revêtement de sol linoléum	Open spaces, zones de circulation, salles de réunion, salle de convivialité, laboratoires	support jute, huile de lin, résines naturelles, farine de liège et de bois, charges minérales et de pigments : 90 % matières naturelles	3	3	9	Etiquetage sanitaire : A+ Emissions en COVT<1000µg/m³ à 28 jours Emissions en formaldéhyde < 10 µg/m³ à 28 jours Le revêtement de sol linoléum assure une activité antibactérienne suivant test AATC de l'institut Pasteur Bonnes performances acoustiques		
LINOMANG	Bostik	Colle pour les dalles de Linoléum	Sous tous les revêtements de sols souples	Colle acrylique en dispersion aqueuse sans solvant	3	2	6	Etiquetage sanitaire : A+ Teneur en COVT<1g/L		

Produits	Fabricant	Fonction(s), caractéristiques	Localisation	Composition du produit	surface échange (m ²)	Proximité air intérieur	Priorité Air intérieur	Caractéristiques QAI du produit	Labels	Avis QAI
OPTIL PLUS	Keim	Peinture murale et en plafond	Tous les murs verticaux et plafonds à peindre	double liant silicate de potassium / sol de silice	3	3	9	Etiquetage sanitaire : A+ COVT à 3 jours : 293,3 µg/m ³ COVT 28 jours : 19,4 µg/m³ formaldéhyde à 28 jours : 2,5 µg/m ³ pH alcalin : naturellement fongistatique => recommandé aux personnes allergiques Teneur en COV < 1 g/L : conforme directive peinture		
AQUASATIN	Innova	Peinture pour boiseries	Plinthes et menuiseries	résines acryliques et polyuréthanes en phase aqueuse	1	3	3	Etiquetage sanitaire : A+ Teneur en COV : 5 g/L : conforme directive peinture		
COMUS	Comus	Peinture magnétique pour accrochage dans les classes	Sur un mur de la salle de convivialité	Film anti corrosion (maille de fer) en phase aqueuse Résines acryliques	1	1	1	Etiquetage sanitaire : A+ Teneur en COV : 40 g/L : conforme directive peinture Par ailleurs, ce produit n'est pas en contact direct avec l'air intérieur puisque recouvert d'une couche de peinture ardoise Son usage est autorisé dans des espaces consacrés aux enfants par la norme jouets NF.		
PEINTURE ARDOISE	Renaulac	Peinture ardoise	Sur un mur de la salle de convivialité : recouvre la peinture Comus	Liant à base de copolymère acrylique	1	3	3	Teneur en COV < 30 g/L : conforme directive peinture Etiquetage sanitaire : A+		
LOT Menuiseries intérieures										
CONTREPLAQUES	Joubert	Panneaux de bois contreplaqués	Claustres bois autour de la salle de réunion, zones de circulation, bibliothèques	Panneaux contreplaqués de bois avec colle phénol formol	3	2	6	Emissions en formaldéhyde conforme à la réglementation CARB (Californie) Emissions en formaldéhyde < 25 µg/m ³ : inférieures au seul E0,5		
ESSENCE FINES	Décospan	Parements des contreplaqués	Sur l'ensemble du contreplaqué	Essences fines de bois massif	3	3	9	Pas de données. L'absence de colles dans le bois massif limite les émissions en COVT et formaldéhyde		
CASCOMIN MUF	Akzo Nobel	Colle	Entre les contreplaqués et l'essence fine	Colle à base de mélamine-urée-formol	3	2	6	0,5 % formaldéhyde La présence de colle MUF indique une proportion de formaldéhyde pouvant provoquer des émissions. La pose du vernis polyuréthane sur les essences fines aura le rôle de barrière contre ces possibles émissions		
HESSE PURA ONE HDE51	Hesse Lignal	Vernis pour bois	Sur l'ensemble des essences fines	Vernis polyuréthane en phase aqueuse	3	3	9	Conforme à la directive peinture de 2004 Emissions COV et formaldéhyde faibles exempt de métaux lourds toxiques, formaldéhyde, plastifiants du type phtalate, composés CMR		
LOTS Cloisons sèches et modulables										
PLACOPLATRE	Placo	Plaques de plâtre	Mur béton et sanitaires	panneaux de gypse et cellulose recyclée	2	3	6	Etiquetage sanitaire : A+ Pas de développement de moisissures dans les conditions normales d'utilisation		
MEDITE ECOLOGIQUE	Medite	Panneau MDF	cloisons pleines bord à bord séparatives des pièces	Panneaux de fibres de moyenne densité à base de colle polyuréthane (sans formaldéhyde)	3	2	6	Teneur en formaldéhyde < 1mg/100g : < au seuil E1 Emissions en COV faibles		
BUZZTILES	Buzzispace	Revêtement textile mural acoustique	Open Space 1 et 2	70 % de laine recyclée, 25 % de polyacrylique recyclé et 5% autres tissus	2	3	6	Emissions en formaldéhyde ≤ 30 µg/m³ Emissions en COVT ≤ 250 µg/m³ Emission en aldéhydes ≤ 60 µg/m ³		
STRATIFIE	Egger	Stratifié	Sur l'ensemble des panneaux MDF et portes	57 % papiers pressés avec une feuille décorative imprégnée de résine mélamine en surface et résine phénolique au cœur (42 % résine), additifs	1	3	3	Etiquetage sanitaire : A+ Conforme classe d'émission E1		

le mobilier

La réglementation actuelle vis-à-vis de l'étiquetage sanitaire ne concerne pas encore le mobilier. Des réflexions sont actuellement en cours. A la différence des revêtements de sol, les deux faces et les chants du mobilier (chaises et tables) sont en contact avec l'air intérieur et multiplient ainsi les surfaces d'émission. Les matériaux qui composent le mobilier sont souvent composés de colles contenant du formaldéhyde et peuvent dégrader la qualité de l'air intérieur des bureaux. Pour prévenir le risque d'émissions de formaldéhyde et de composés organiques volatils, le choix du mobilier a été effectué au regard de ces critères.



• Chaise dauphin avec assise coussinée réglable → **b9**
• Couleur: Noir
• Etat → **Très bon état**
• Totalité: 23 chaises



• Chaises de bureaux réglables → **a JETER**
• La noire grince, la blanche défaut esthétique

la stratégie utilisée

Air Pays de la Loire a dans un premier temps souhaité réutiliser une partie du mobilier actuel, notamment des chaises. Etant donné la décroissance en COV des matériaux et du mobilier avec le temps, l'utilisation du mobilier existant a permis de s'affranchir d'une partie non négligeable de COV et formaldéhyde.

Pour le mobilier de type bureau et étagère, Air Pays de la Loire a sélectionné l'agenceur sur appel d'offres, en partie selon des critères de qualité de l'air intérieur, notamment en fonction de la labellisation du mobilier (NF environnement) et selon les critères de qualité de l'air intérieur de chaque composant du mobilier.

Les critères exigés par Air Pays de la Loire étaient notamment les suivants :

- ⇨ bois et contreplaqués : l'obtention de la classe E1 ($<124 \mu\text{g}/\text{m}^3$), classe réglementaire la plus exigeante selon la norme NF EN 1084 ($<3,5 \text{ mg}/\text{m}^2.\text{h}$) était à minima exigée pour les émissions en formaldéhyde ;
- ⇨ colles : l'utilisation du label Emission EC1, label le plus exigeant pour les produits adhésifs, était demandée ;
- ⇨ vernis et peintures : les vernis et peintures devaient respecter la classe A+, classe la plus exigeante selon l'étiquetage sanitaire.

le mobilier mis en œuvre

Le mobilier retenu par Air Pays de la Loire présente les caractéristiques suivantes :

Type de mobilier	Caractéristiques QAI
Bureaux	<ul style="list-style-type: none"> - Panneaux de particules PANTYR : <ul style="list-style-type: none"> ○ émissions en formaldéhyde Eo.5 ○ certification CTB Air - Stratifié HPL POLYREY : <ul style="list-style-type: none"> ○ émissions en formaldéhyde E1 ○ étiquette sanitaire A : présence de colle mélamine formol et phénol formol - Colle BOSTIK : étiquetage sanitaire A
Armoires	<ul style="list-style-type: none"> - Panneaux de particules mélaminés EGGER <ul style="list-style-type: none"> ○ émissions en formaldéhyde E1 ○ étiquette sanitaire A
Tables de la salle de réunion	<ul style="list-style-type: none"> - Panneaux particules GO MEET <ul style="list-style-type: none"> ○ émissions en formaldéhyde E1 ○ fabrication non française - Stratifié HPL POLYREY : <ul style="list-style-type: none"> ○ émissions en formaldéhyde E1 ○ étiquette sanitaire A : présence de colle mélamine formol et phénol formol - Colle BOSTIK : étiquetage sanitaire A+

Par ailleurs, l'ensemble du mobilier est **certifié NF ameublement et NF office excellence**. La démarche environnementale et sanitaire de ces labels est satisfaisante. En effet, la marque NF ameublement certifie que le mobilier répond à toutes les exigences de sécurité, de stabilité, de comportement au feu, de solidité, de durabilité et d'hygiène (facilité d'entretien). De plus, les produits répondent en plus à divers critères environnementaux tels que l'origine du bois, les essences utilisées, la possibilité de séparation des composants en fin de vie, etc. Des critères sanitaires sont également intégrés. Par exemple, les émissions en formaldéhyde des panneaux à base de bois doivent être inférieures à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les panneaux agglomérés par des colles polyuréthanes ne doivent pas dégager d'isocyanate. Les peintures de finition doivent être exemptes de métaux lourds (cadmium, plomb, mercure, arsenic) et de chrome hexavalent. Par ailleurs, ce label restreint sur la présence de retardateurs de flamme, de phtalates ou encore de nanomatériaux.

le système de ventilation

La ventilation est un équipement dont les objectifs sont multiples et importants. Elle fournit de l'air neuf à l'intérieur des bureaux. Elle permet également de diluer les concentrations en polluants présents dans l'air intérieur, d'évacuer l'air vicié, de lutter contre l'humidité et d'apporter de la fraîcheur ou de la chaleur.

Renouveler l'air est un enjeu primordial. Une ventilation insuffisante n'évacue pas l'humidité relative de l'air et provoque une augmentation de l'hygrométrie des structures et des matériaux de construction. Or, l'humidité est un facteur clé des émissions des matériaux et du développement des microorganismes tels que les moisissures ou les acariens. Ces microorganismes peuvent provoquer la survenue de l'asthme et d'allergies respiratoires.

le fonctionnement préconisé

Pour éviter ces situations à risque sanitaire, Air Pays de la Loire a souhaité installer pour ses locaux une ventilation mécanique contrôlée à double flux. Celle-ci présente en effet de nombreux avantages comme la gestion des débits, la filtration et le préchauffage de l'air neuf (présence d'un échangeur).

les débits de ventilation

Alors que pour des bureaux en banque, bibliothèque, bureaux de poste, etc. les débits d'air neuf sont fixés à $18 \text{ m}^3/\text{h}/\text{personne}$ par le Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT), Air Pays de la Loire a choisi de dimensionner les débits des open spaces à $25 \text{ m}^3/\text{h}/\text{pers}$, débit notamment repris par le Code du Travail.

Par ailleurs, les salles de réunion sont dimensionnées à hauteur de $30 \text{ m}^3/\text{h}/\text{personne}$ pour palier à la présence parfois nombreuse d'occupants et sont par ailleurs équipées de sonde CO_2 . Ainsi, dans ces espaces où la ventilation est asservie aux sondes, au-delà de 1300 ppm (seuil du RSDT), les débits augmentent et permettent de maintenir un air peu confiné.

la filtration de l'air neuf

La présence de filtres en amont et en aval du système joue un rôle prépondérant pour la qualité de l'air insufflé dans les locaux. En effet, les filtres permettent de protéger le système, notamment l'échangeur et les gaines. Leur rôle consiste par ailleurs à diminuer la concentration en particules inertes ou viables comme les microorganismes ou les composés gazeux issus notamment de la pollution routière.

Le système installé au sein des bureaux Air Pays de la Loire bénéficie de 2 filtres permettant d'éliminer les particules. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- ⇨ un filtre G4 dit « grossier » qui arrête les grosses particules telles que les pollens,
- ⇨ un filtre F7 dit « fin » ou de haute efficacité permettant d'arrêter les particules inférieures à $1 \mu\text{m}$ qui pénètrent plus profondément dans l'organisme.

Notons qu'une maintenance régulière de ces filtres est indispensable pour veiller à la diffusion d'un air de bonne qualité. Ainsi, dans son contrat de maintenance avec l'entreprise, Air Pays de la Loire exige un remplacement des filtres tous les 6 mois.

le type de gaines

La qualité de l'air intérieur peut également être influencée par le type de gaines utilisées dans les systèmes de ventilation double flux. En effet, l'air neuf est véhiculé par des gaines dont l'hygiène n'est pas toujours respectée. Selon la forme des gaines, l'entretien est facilité. C'est pourquoi, pour ses locaux, Air Pays de la Loire a souhaité la mise en œuvre de gaines rigides composées d'acier galvanisé, plus facilement nettoyables que des gaines souples en PVC ou en aluminium. Un nettoyage de ces gaines sera à prévoir tous les 5 ans.

bilan de la phase conception

En phase conception, 4 étapes sont essentielles pour initier un projet dont la qualité de l'air intérieur est une des priorités :

- ❖ **hiérarchiser** les espaces prioritaires vis-à-vis de la QAI : espaces à occupation prolongée
- ❖ **réutiliser** autant que possible les matériaux et mobiliers existants : au-delà du gain énergétique et environnemental lié à la fabrication de nouveaux matériaux, la réutilisation ou seconde vie donnée aux matériaux déjà existants permet de réduire les sources de pollution : les émissions étant décroissantes dans le temps.
- ❖ **choisir des matériaux en fonction de leur risque sanitaire** en tenant compte du danger intrinsèque des matériaux vis-à-vis de la QAI, mais également de l'exposition des futurs usagers à ces matériaux. Le choix de ces produits doit s'appuyer sur différents documents tels que des rapports d'essai, des conformités aux labels matériaux et doit être communiqué en amont et le plus précisément possible pour éviter tout risque de substitution par des matériaux aux fonctions équivalentes, mais sans équivalent sanitaire.
- ❖ **dimensionner et optimiser le système de ventilation** avec le bureau d'études fluides en anticipant les futurs usages des locaux. Par exemple, une salle de réunion peut potentiellement accueillir plus de personnes, les débits de ventilation peuvent être ainsi dimensionnés pour l'effectif maximal prévu. L'asservissement par des sondes CO2 peut également être prévu. Des exigences peuvent être formulées sur le choix du type de gaine, ou sur le type de filtre. Enfin, pour éviter les risques de surchauffe estivale, des solutions comme la sur-ventilation nocturne et la mise en place de bypass peuvent être réfléchis.

Pour Air Pays de la Loire, la conception et les échanges réguliers avec l'architecte ont permis une bonne anticipation des sources de pollution. Malgré l'analyse qualitative des matériaux et l'avis défavorable, la mise en œuvre de la colle pour plaquer les essences fines de bois sur les contreplaqués a dû être maintenue en raison de ses performances techniques. L'utilisation de bois massif aurait évité cet usage. La réalisation des mesures en phase chantier permettra de mieux connaître l'impact des matériaux préconisés.

la phase d'exécution : un nouveau paramètre pour les entreprises

L'ensemble des exigences traduites dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières a été transmis aux entreprises souhaitant concourir à la réalisation des travaux.

Après sélection des entreprises par l'architecte, a démarré la phase « exécution » dont l'objectif était de préparer la phase chantier (commandes des matériaux, relations avec les distributeurs, etc.). Avec surprise, nous avons découvert, qu'à ce stade, contraintes par le temps et le contexte économique actuel, la plupart des entreprises avaient peu connaissance de l'enjeu du projet vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur notifié pourtant dans le CCTP. Ainsi, une attention particulière et rigoureuse a dû être menée avec l'architecte et le maître d'œuvre auprès des entreprises pour veiller à la commande et à la mise en œuvre des matériaux initialement prescrits par Air Pays de la Loire. En effet, habituées à travailler avec les mêmes fournisseurs, produits, avec des prix négociés, les entreprises ne tiennent pas toujours compte des exigences traduites dans les documents de marché. Il est donc important de considérer la découverte pour les entreprises et de les sensibiliser très en amont afin de veiller à l'adéquation entre les performances théoriques exigées dans les documents de marché et les performances réelles des matériaux mis en œuvre sur chantier.

Pour exemple, alors qu'une peinture minérale était préconisée (teneur et émissions en COV nulles) et inscrite au CCTP, l'entreprise a dans un premier temps proposé par habitude de la marque, une peinture contenant 30 g/L de COV bien qu'étiquetée A+. Dans un second temps, après rappel des exigences par Air Pays de la Loire, l'entreprise a proposé une peinture A+ contenant cette fois 1g/L de COV, distribuée par le même fabricant, avant de finalement mettre en œuvre la peinture minérale prescrite par Air Pays de la Loire.

À l'inverse, alors qu'Air Pays de la Loire avait initialement préconisé des panneaux de contreplaqués labellisés Ange Bleu, label exigeant d'origine allemande, en commandant les produits, l'entreprise a signalé que ceux-ci n'étaient plus disponibles sur le marché français. A cet effet, après recherche sur un salon spécialisé, Air Pays de la Loire a substitué le matériau initialement prescrit par un autre dont les caractéristiques vis-à-vis de la QAI sont également satisfaisantes. Toutefois, des surcoûts et reports de délai ont été occasionnés.

Un autre aléa a également été découvert à ce stade. L'entreprise choisie pour la pose du sol a alerté Air Pays de la Loire sur l'obligation de poser une résine époxy entre la dalle béton et le linoléum. En effet, le Cahier des Prescriptions Techniques (CPT) relatif à la pose de ce type de sol exige que des solutions soient mises en œuvre pour lutter contre les remontées de capillarités en cas de mise en œuvre de linoléum sur dalle sur terre-plein. Après échanges avec le bureau de contrôle, la pose d'une résine époxy évitant les remontées par capillarité s'est avérée obligatoire. D'après la fiche de données de sécurité disponible, l'impact sur la qualité de l'air intérieur de cette résine époxy ne semble pas négligeable. Les mesures réalisées en phase chantier permettront d'étayer ces propos.

la phase chantier : les surprises pour les compagnons

Pour maintenir les efforts réalisés en conception et garantir les performances sanitaires du bâtiment, la phase chantier doit également faire l'objet d'une attention spécifique. En effet, la quantité de polluants présente à réception du bâtiment peut être influencée par les pratiques des différents acteurs, notamment lors de la découpe des matériaux et lors de leur application. Pour garantir la bonne réalisation du chantier et les performances du bâtiment vis-à-vis de la QAI, plusieurs actions peuvent être mises en place.

Ainsi, Air Pays de la Loire a veillé à la réalisation des missions suivantes :

- sensibilisation des compagnons pour comprendre les enjeux sanitaires du chantier ;
- définition et contrôles réguliers des consignes liées à la bonne exécution des travaux ;
- qualification et quantification de l'impact des travaux sur la qualité de l'air intérieur par la réalisation de mesures tout au long du chantier et mise en œuvre de solutions correctives en cas de pollution éventuelle.

le management de la qualité de l'air intérieur

Les matériaux de construction et leur mise en œuvre étant responsables d'une grande partie de la pollution de l'air intérieur durant les premiers mois d'occupation du bâtiment, Air Pays de la Loire a veillé au bon déroulement du chantier vis-à-vis de la QAI. Ainsi, quelques recommandations ont été apportées aux compagnons pour d'une part, limiter l'apport de nouvelles sources de pollution et d'autre part, limiter les vecteurs de pollution au sein du chantier. La partie suivante met en avant certaines de ces préconisations.

la sensibilisation des compagnons

La sensibilisation des compagnons présents sur les chantiers est une mission indispensable au démarrage de chantier. En effet, les étapes précédentes (réponse aux appels d'offres, commandes de matériaux) sont souvent réalisées par les responsables des entreprises du bâtiment. Ainsi, la particularité du chantier et les exigences spécifiques pour l'air intérieur ne sont pas ou peu connues par les compagnons présents quotidiennement sur site.

Il était ainsi nécessaire d'organiser en démarrage du chantier une réunion en présence à minima des chefs d'équipe de tous les lots du marché. Ainsi, les enjeux du projet et les consignes propres à chaque lot ont été expliqués et des solutions de préservation de la QAI décidées entre l'architecte, le maître d'ouvrage et les entreprises. Ces dernières, sur la base des informations transmises ont ainsi relayé les points de vigilance et consignes à leurs équipes opératives et sous-traitantes.

Dans le cas des bureaux d'Air Pays de la Loire, en complément de la réunion de démarrage, des sensibilisations ont été effectuées au fil de l'eau lors des réunions et visites de chantier hebdomadaires où certains acteurs découvraient encore à ce stade l'enjeu du projet.

la vérification des matériaux préconisés

Toute modification par l'entreprise de la gamme ou de la marque des produits était signalée à Air Pays de la Loire et leur usage validé au regard de ces critères. Par ailleurs, des visites de chantier régulières ont permis de vérifier in situ la bonne mise en œuvre des produits préconisés et de sensibiliser les compagnons aux enjeux du chantier au regard de la qualité de l'air intérieur.

le stockage des matériaux

les matériaux absorbants

Les matériaux absorbants (plaques de plâtre, plafonds, revêtements de sol souples) ont été stockés à l'abri de l'humidité et protégés afin d'éviter leur détérioration et le développement de moisissures. Par ailleurs, en tant que matériaux absorbants, ils risquent d'être contaminés par des polluants chimiques présents sur le chantier et de réémettre ces polluants après réception du bâtiment. Un stockage dans un secteur isolé était donc nécessaire.

les produits liquides

Les peintures, vernis et les colles étaient refermés après utilisation afin de limiter les émissions de polluants (COV) et la contamination d'autres matériaux. Par ailleurs, lorsque les contenants sont mal fermés, le risque de développement de moisissures est avéré, pouvant aussi contaminer les supports. La fermeture des produits était donc importante.



les produits sous forme de poudre

Une attention particulière a été portée aux emballages de matériaux conditionnés sous forme de poudre (colle carrelage et faïence) afin de ne pas les détériorer et limiter les émissions de poussières dans l'air.

la transformation et la découpe des produits

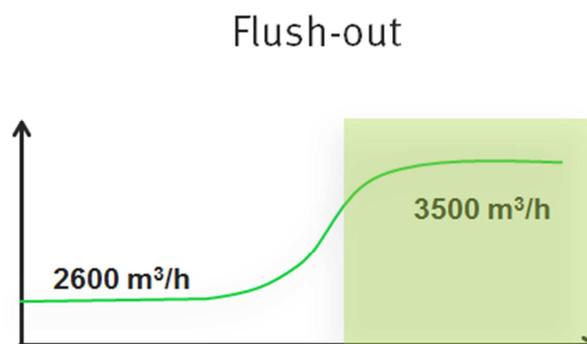
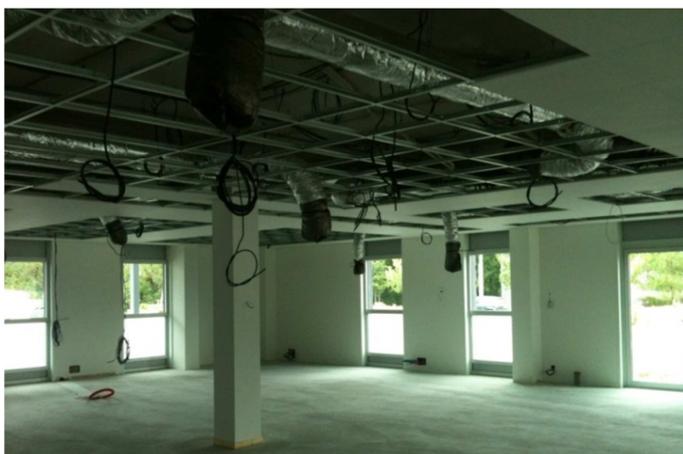
Les travaux de découpe ont été réalisés à l'extérieur du bâtiment. En cas de pluie, une zone intérieure a été identifiée et consacrée aux activités de sciage et préparation de produits (open space 1). Par ailleurs, l'utilisation des outils de sciage couplée à un système d'aspiration était recommandée. Un nettoyage régulier du chantier avec un aspirateur avec filtres à particules haute efficacité était également préféré pour éviter la remise en suspension des poussières générées par le passage d'un balai.



l'aération et l'évacuation de l'humidité et des polluants

Selon la météo et les intempéries, Air Pays de la Loire rappelait le besoin d'ouvrir les menuiseries durant le temps de travail des entreprises afin d'aérer le bâtiment, notamment lors de l'application des finitions intérieures. Des nombreuses visites de chantier réalisées, il s'avère que l'aération n'est pas habituelle pour les compagnons. Ils craignent en effet d'oublier de refermer les fenêtres avant leur départ et préfèrent souvent ne pas les ouvrir en journée.

la protection du système de ventilation



pendant le chantier

Le système de ventilation permanent n'était pas utilisé par risque d'être contaminé ou endommagé. Par ailleurs, les gaines de ventilation ont été encapuchonnées et tous les équipements du système protégés pour éviter que les poussières de chantier entrent dans les gaines et soient remises en suspension au démarrage de la ventilation.

en fin de chantier

À l'issue du chantier et avant l'occupation des bureaux, le système de ventilation permanent a été mis en marche forcée (flush-out) afin d'extraire l'humidité et la majorité des polluants, notamment liés aux matériaux de second œuvre. Cette étape s'est maintenue du 13 au 16 janvier avant l'arrivée du mobilier.

Les filtres encrassés ont par ailleurs été changés avant réception du bâtiment et les débits contrôlés.

les comportements des compagnons

Pour préserver la qualité de l'air intérieur, il est interdit de fumer à l'intérieur des bâtiments. Notons que depuis le 1^{er} février 2007, il est interdit de fumer dans des lieux fermés et couverts qui constituent des lieux de travail ; les compagnons sont donc déjà soumis à cette interdiction. Pour préserver une bonne qualité de l'air, des rappels réguliers de ces obligations ont été signalés aux entreprises.

Ainsi, par toutes ces recommandations dont l'objectif est d'assurer une qualité de l'air intérieur satisfaisante pour les futurs salariés et la préservation d'un environnement de travail confortable, la santé des compagnons a elle aussi été protégée : l'aération, les matériaux moins polluants, la limitation de la remise en suspension des poussières sont autant de conseils de prudence permettant de réduire le risque d'allergies ou de maladies respiratoires pour les compagnons.

la réalisation des campagnes de mesure

les objectifs et la méthodologie

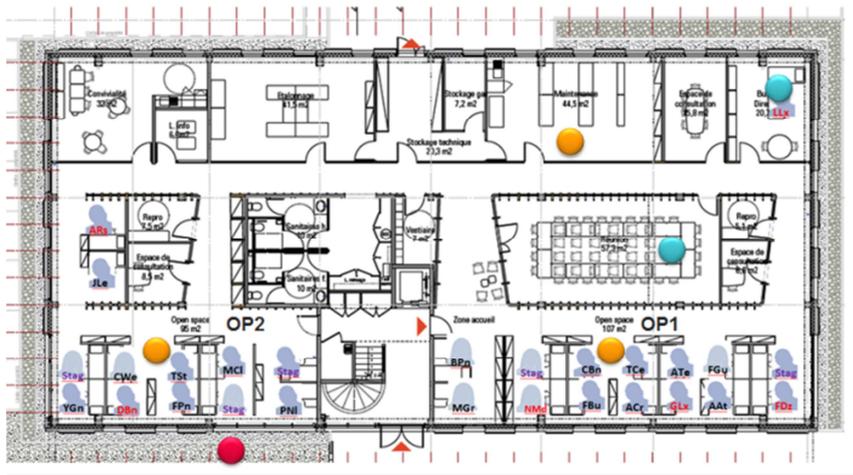
Un suivi de la qualité de l'air intérieur a été réalisé à différentes phases du chantier dans des locaux différents avec pour objectifs de :

- suivre l'évolution de la qualité de l'air intérieur en phase chantier dans différents locaux,
- identifier les principales activités polluantes au cours du chantier,
- mettre en œuvre des actions correctives en cas de pollution avérée et quantifier leurs impacts au regard de la qualité de l'air intérieur.

le choix des points de prélèvement

Les mesures qualité de l'air intérieur ont été réalisées au sein des locaux suivants :

- Open space 1 et 2 (locaux à occupation prolongée par les salariés, exposition sud)
- Salle de réunion (asservissement de la ventilation par sonde CO2-éclairage de second jour)
- Laboratoire de maintenance (local à pollution spécifique, exposition nord)
- Bureau du directeur (bureau individuel, double exposition nord et est)
- Point extérieur pour comparaison



les périodes de mesure

Pour comprendre l'impact des activités en phase chantier, 7 phases de mesure ont été programmées. Notons que pour les 5 premières phases de mesure, seuls 3 locaux (open space 1, 2 et laboratoire de maintenance) ont bénéficié de mesures.

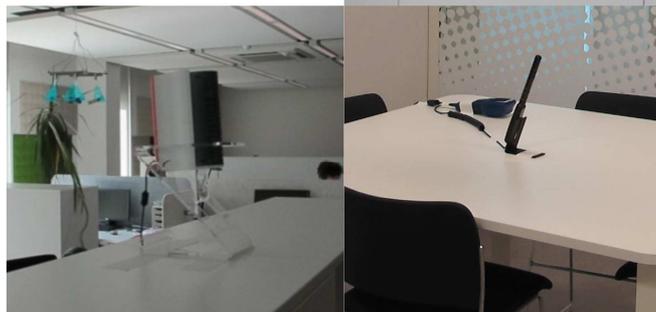
N° Phase	Type de mesure	Date de réalisation	Nombre de points de mesure
Réception brut de béton – clos couvert			
1	Mesures brut de béton	Mai 2014	ALD : 3 BTEX : 4
Matériaux de finition sans mobilier			
2	Mesures sans ventilation et sans climatisation ⇒ Mesures de l'impact des matériaux et en particulier de la résine EPOXY	Septembre 2014	ALD : 3 BTEX : 4
3	Mesures sans ventilation et sans climatisation ⇒ Mesures de la décroissance de la résine EPOXY et des matériaux de second œuvre	Novembre 2014	ALD : 3 BTEX : 4
4	Mesures avec la ventilation et climatisation ⇒ Mesure de l'impact de la ventilation	Janvier 2015	ALD : 3 BTEX : 4
Livraison aménagement, mobilier, équipe Air Pays de la Loire			
5	Mesures avec mobilier, ventilation et climatisation ⇒ Mesures de l'impact du mobilier	Janvier 2015	ALD : 3 BTEX : 4
6	Mesures avec mobilier, ventilation et climatisation et équipe Airpl ⇒ Mesures de l'impact du personnel et usage du bâtiment	Mars 2015	ALD : 5 BTEX : 6
Mesures de suivi			
7	Mesures 1 an après ⇒ Mesures de suivi et décroissance des émissions	Mars 2016	ALD : 5 BTEX : 6

le dispositif de mesures

Les **mesures de COV et d'aldéhydes** sont réalisées à l'aide de tubes à diffusion passive, dispositifs légers et silencieux. Les tubes passifs Radiello® sont suspendus au plafond à une distance d'un mètre des parois et du plafond. Une mesure du benzène à l'extérieur du bâtiment est également effectuée simultanément, à titre comparatif.

Pour l'évaluation des **paramètres hygrothermiques et du confinement**, un suivi en continu du dioxyde de carbone (CO₂), température et humidité relative est réalisé grâce à un appareil Q-track par pas de temps de 10 minutes.

Depuis décembre 2014, un appareil de mesures en continu, la **balise Fireflies d'Azimut**, a parallèlement été déployée dans l'open space 1 afin de connaître l'évolution temporelle des concentrations en COV totaux, COV légers exprimés en équivalent formaldéhyde. Les mesures effectuées avec la balise Azimut n'utilisant pas la méthode de référence sont considérées comme indicatives.



Pour détecter les COV légers, la balise se base sur une méthode électrochimique. La détection des COV totaux, se fait grâce à la variation de la résistance d'un semi-conducteur. Les teneurs mesurées fournissent une indication de la charge totale en composés suivants :

- COV légers : formaldéhyde, acétaldéhyde, acroléine, méthanol, éthanol
- COV totaux : alcanes <C₁₀, cétones <C₆, aldéhydes <C₁₀, acides carboxyliques <C₅, alcools <C₇, Alcènes <C₈, Aromatiques (benzène, toluène ... liste non exhaustive).

Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des paramètres évalués :

Polluant mesuré	Moyens de mesures / phase	
CO ₂	Q-Track	balise Fireflies
température		
humidité relative		
8 Aldéhydes	mesures par tubes à diffusion passive	balise Fireflies
30 COV dont BTEX	mesures par tubes à diffusion passive	

À noter: lors des phases 1, 2 et 3, des mesures des BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) et de 8 aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde, propanal, butanal, benzaldéhyde, isopentanal, pentanal, hexanal) ont été réalisées.

Lors des phases 4, 5 et 6 une analyse plus complète, permettant d'identifier 30 COV comprenant les BTEX et les aldéhydes a été mise en œuvre.

les résultats des campagnes de mesure

Les résultats des différentes campagnes de mesure (avant occupation) concernent à ce stade

- le suivi des paramètres de confort et de confinement ;
- le suivi des composés organiques volatils (dont les BTEX) ;
- le suivi des aldéhydes, dont le formaldéhyde.

Les niveaux déterminés sont considérés comme représentatifs de la période couverte et les références aux valeurs guides sont données à titre indicatif.

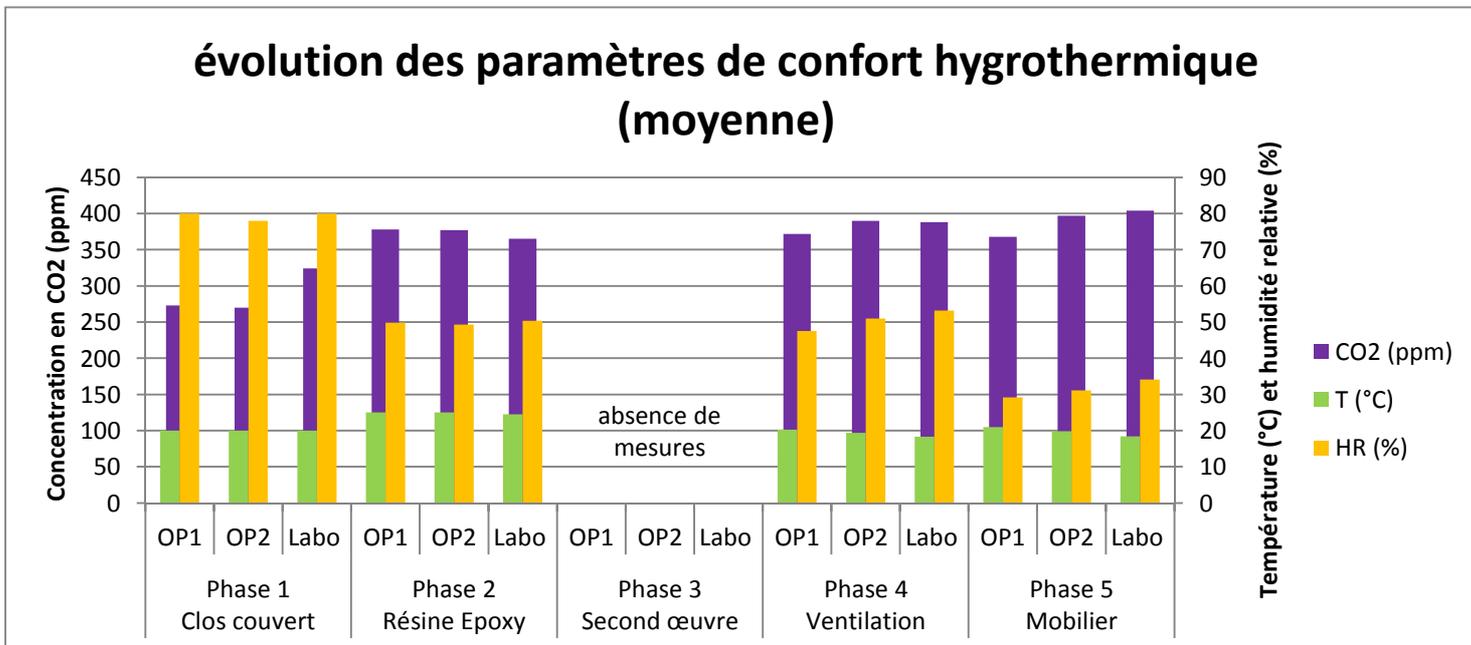
évolution des paramètres de confort hygrothermique et de confinement valeurs de référence

La température optimale de l'air se situe entre 19 et 23°C selon les conditions d'humidité et l'activité des occupants. Le code de la construction et de l'habitation précise le besoin de climatisation l'été que lorsque la température intérieure dépasse les 26°C.

L'humidité relative doit être comprise entre 40 et 50 %. En dessous de 40 %, l'air est trop sec et provoque des sécheresses oculaires, nasales, etc. Au dessus de 50 %, la prolifération des micro-organismes est plus importante et peut engendrer une augmentation des symptômes allergiques.

Il est couramment admis qu'à l'intérieur des bâtiments, les **concentrations en CO2** ne doivent pas dépasser la limite basse de 700 ppm (bonne qualité de l'air) et la limite haute de 1000 ppm (qualité de l'air modérée) selon les termes de la norme NF EN 13779. Au-delà de 1300 ppm, valeur du Règlement Sanitaire Départemental Type, les locaux sont trop confinés et nécessitent d'être aérés. Il en résulte notamment l'apparition de maux de tête et des difficultés de concentration. Il n'y a cependant pas de problème sanitaire majeur en dessous de 1500 ppm.

résultats des mesures



D'après les résultats, les paramètres hygrothermiques et de confinement mettent en avant un air de bonne qualité et comparable d'un lieu à l'autre (OP₁/OP₂/Labo), hormis en phase 1, où en l'absence de ventilation, l'humidité relative dépasse 70 %.

Au cours des 5 phases, la **température intérieure** évolue principalement en fonction de la température extérieure. En moyenne, celle mesurée sur l'ensemble de la période est de 21°C.

L'**humidité relative**, quant à elle, diminue en fonction de l'avancement du chantier, avec une stabilisation entre les phases 2 et 4. Cette évolution est également liée aux conditions climatiques extérieures. Notons également que la présence humaine sur le chantier est un facteur pouvant augmenter l'humidité relative des locaux. Les valeurs mesurées entre les phases 2 et 5 restent inférieures à 60 %, limitant ainsi le risque de prolifération des moisissures en phase chantier. Par ailleurs, entre les phases 4 et 5, pour extraire les polluants avant l'arrivée du mobilier et des salariés, la ventilation des locaux a été maintenue en marche forcée (flush-out). Lors de cette période, en lien avec cette opération, l'humidité relative a diminué d'environ 63 %, passant le seuil des 40 %. A ce stade, l'air intérieur devient trop sec et peut engendrer des inconforts pour les occupants.

Le **confinement** traduit par la concentration en dioxyde de carbone (CO₂) est représentatif de la concentration mesurée en air extérieur. En effet, à ce stade, les locaux ne sont pas occupés en permanence, limitant ainsi la source de pollution.

préconisations pour le confort hygrothermique et le confinement

Les paramètres température et confinement ne nécessitent pas d'ajustement particulier, à la différence de l'humidité relative dont la valeur mesurée en phase 5 est trop faible (30 %). Le flush-out ayant directement une influence sur ce paramètre ; il est préconisé de maintenir cette opération en dehors de la présence des salariés. Une vigilance sera apportée à l'arrivée des salariés, pouvant nécessiter un ajustement des débits de ventilation.

évolution des concentrations en composés organiques volatils

valeurs de référence

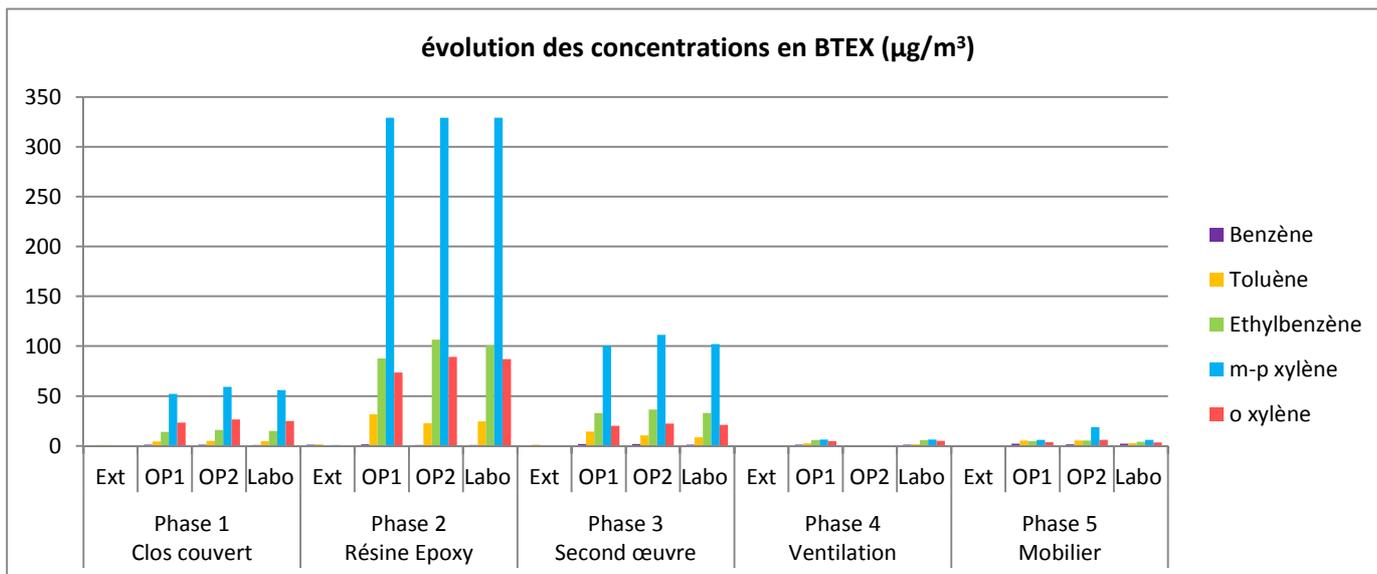
Le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) à travers le décret du 2/12/11 relatif à la surveillance obligatoire des ERP a établi une valeur repère de **5 µg/m³ pour le benzène** à compter du 1^{er} janvier 2013. Elle sera de 2 µg/m³ à compter du 1^{er} janvier 2016. Pour les établissements recevant des enfants, le décret du 5/01/2012 établit pour le benzène une valeur au-dessus de laquelle des investigations doivent être menées et pour laquelle le préfet doit être informé : cette valeur est de 10 µg/m³. Rappelons que le benzène, cancérigène certain selon le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) serait responsable d'une augmentation du risque de leucémie, notamment chez les enfants.

Le **toluène** et l'**éthylbenzène** quant à eux disposent d'une valeur sanitaire issue de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), fixée respectivement à 260 µg/m³ pour une exposition d'une semaine et 22 000 µg/m³ pour une exposition long terme. Le toluène serait responsable d'effets sur la reproduction et le développement fœtal et d'effets neurologiques.

Les **xylènes** possèdent une valeur fixée par l'Europe, qui est respectivement de et 200 µg/m³.

Enfin, concernant les **COV totaux**, aucune valeur guide n'existe en France. Toutefois, en se basant sur les valeurs recommandées en Allemagne, un air intérieur de très bonne qualité a une concentration en composés organiques volatils totaux inférieure à 300 µg/m³. En France, on considère plutôt que la concentration ne doit pas dépasser la limite haute de 1000 µg/m³. Une concentration supérieure à 1000 µg/m³ doit mener vers une investigation détaillée.

résultats



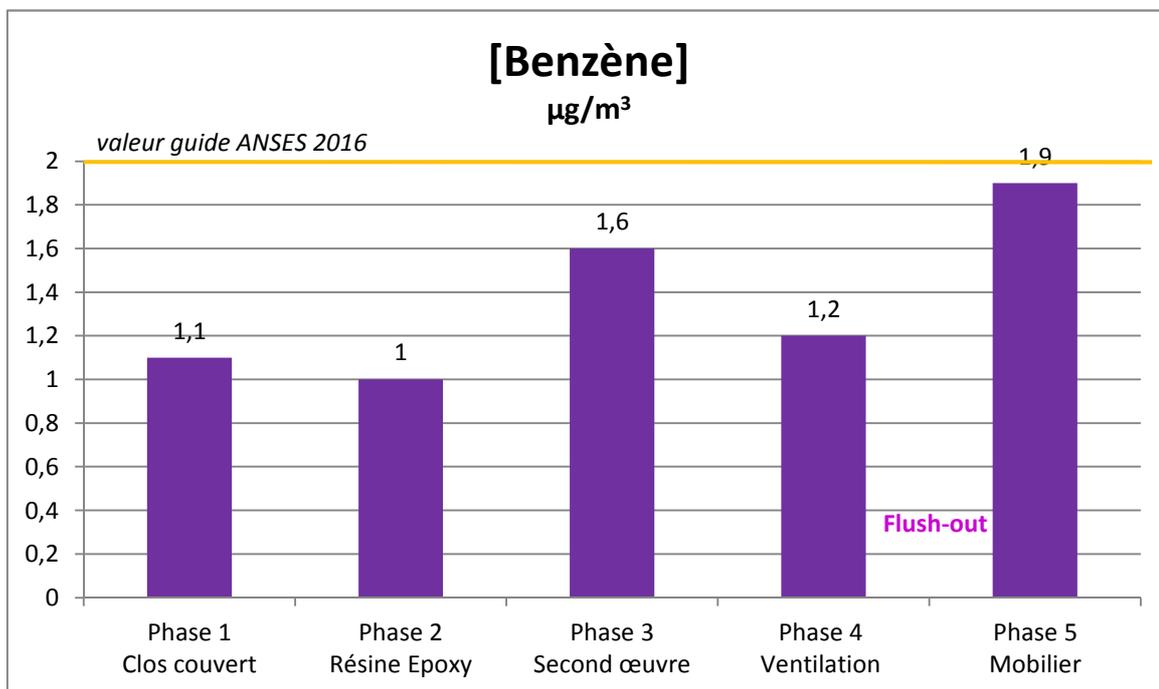
Sur l'ensemble de la période, les concentrations en BTEX ont particulièrement été élevées durant les phases 2 et 3. Les concentrations par locaux sont comparables et ne mettent pas en avant une pollution isolée.

L'application de la résine époxy est notamment responsable de ces observations et principalement de l'augmentation des concentrations en éthylbenzène et xylènes, dont les sources sont en particulier associées à la présence de vernis, peinture et de résine. Notons que la concentration en m,p xylènes lors de la période 3 a dépassé le seuil de 200 µg/m³ fixé par l'Europe.

Nous pouvons noter que dès la mise en fonctionnement de la ventilation, la concentration de l'ensemble des BTEX a nettement diminué, atteignant des niveaux plus faibles qu'au démarrage des travaux (phase 1). Le benzène identifié en phase 1 serait notamment lié à la présence de ce polluant dans l'air extérieur.

zoom sur le benzène

Pour le benzène, polluant réglementé en air intérieur, les concentrations moyennes pour l'ensemble du bâtiment ont suivi l'évolution suivante :



À travers ce graphique, nous pouvons noter que sur l'ensemble de la période, aucune phase ne dépasse la valeur guide ANSES prévue en 2016. A la différence des autres BTEX, la concentration en benzène est plus importante sur les phases 3 et 5 malgré le fonctionnement de la ventilation. La mesure de la concentration en benzène à l'extérieur du bâtiment pour chaque phase de mesure indique une concentration comprise entre 0.7 et 0.9 µg/m³. Celle mesurée en phase 5 serait donc liée à une pollution à l'intérieur des locaux. Le benzène provient principalement de la combustion incomplète de composés riches en carbone. Toutefois, il est également retrouvé comme composant dans la fabrication de certains produits de construction et d'ameublement.

La présence de benzène dans une concentration plus importante en phase 5 serait donc liée à l'arrivée du mobilier dans les locaux.

et les autres types de COV

En $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OP1		Labo MOP	
	P4	P5	P4	P5
N-butylacétate	25,05	14,85	6,3	5,71
Cyclohexane	5,15	8,27	5,71	6,04
2-Ethyl-1-hexanol	4,60			
undécane	5,01	3,61	5,94	6,99
Alpha-pinène		41,79		10,76
décane		4,64		3,41
limonène		3,38		
1-méthoxy-2-propanol		13,95		5,27
nonane		14,46		8,26
heptane				3,31

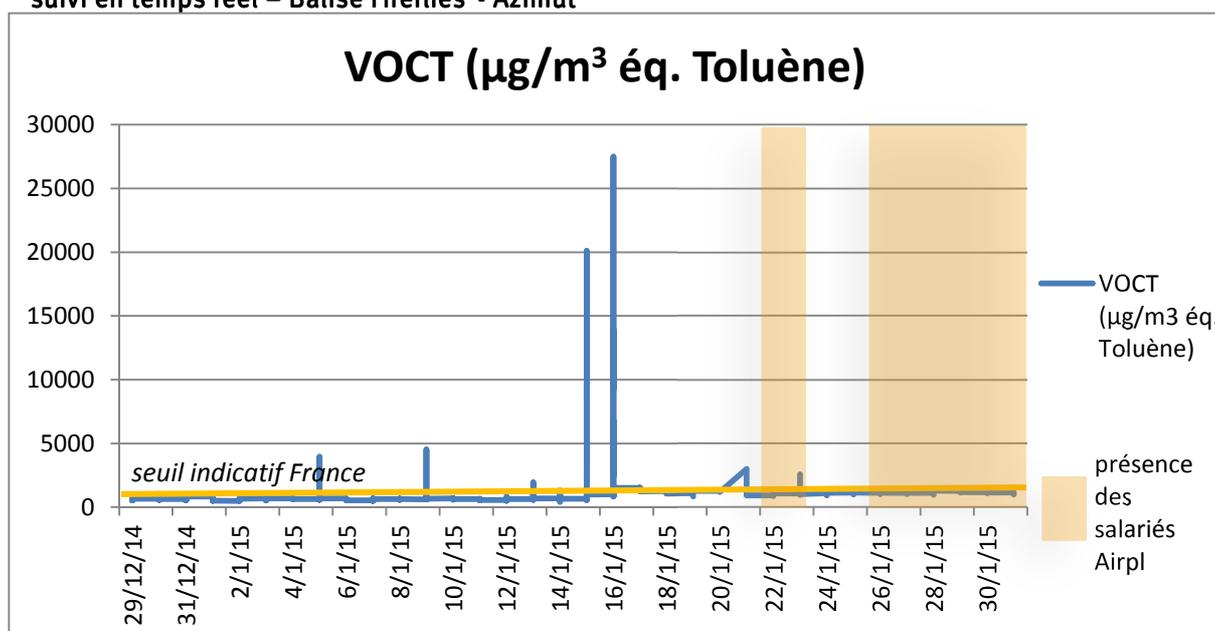
L'analyse de ces COV par une méthode dite « complète » a permis sur les phases 4 et 5 d'identifier d'autres COV émis, bien qu'ils ne bénéficient pas de valeurs guides sanitaires. Le tableau ci-dessus présente ceux pour lesquelles des concentrations significatives ($>2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ont été mesurées, hors BTEX. Les cellules vides correspondent à des valeurs inférieures à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La présence d'acétate (ester), le n-butyl acétate, en plus grande proportion dans l'open space 1 pourrait être liée à l'utilisation de solvant notamment présent dans les laques et les vernis. La présence de vernis sur les contreplaqués pourrait être à l'origine de ces valeurs plus élevées.

Par ailleurs, les concentrations en alpha-pinène, COV de la famille des terpènes, responsables d'allergies et d'irritations, peuvent être directement liées à la présence de produits bois dans les locaux et à l'utilisation de produits d'entretien. Sur ces 2 périodes, la source semble directement liée à l'apport des contreplaqués, panneaux MDF et du mobilier dans les locaux.

Enfin, la présence d'alcane (nonane) et d'éther de glycol (1-méthoxy-2-propanol) dont l'impact sanitaire est faible est générée par l'utilisation de peintures et vernis (solvant et agent de coalescence). Le mobilier peint en atelier et la mise en œuvre des vernis pourraient être à l'origine de ces concentrations.

suivi en temps réel – Balise Fireflies®- Azimut



Un suivi en continu des concentrations en COV totaux par la balise « fireflies® » a été mis en place à partir de fin décembre 2014, couvrant les phases de mesures 4 et 5. Le suivi temporel des concentrations en COV totaux indique une moyenne de $962 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit un niveau proche du seuil de $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ utilisé en France comme valeur indicative, mais supérieur au niveau recommandé en Allemagne. Les quelques pics observés les 15 et 16 janvier sont en lien avec l'arrivée des premiers mobiliers. Une baisse significative des niveaux devrait avoir lieu dans les 6 prochains mois par la décroissance continue des émissions des panneaux de construction, composants du mobilier.

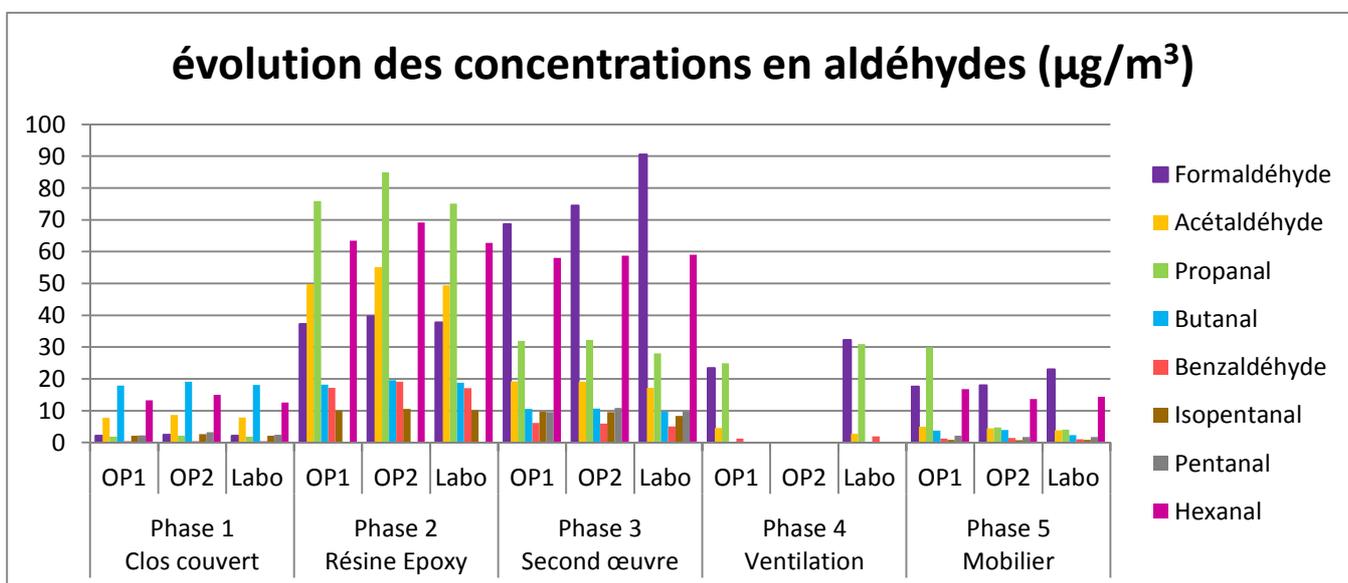
évolution des concentrations en aldéhydes

valeurs de référence

Le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) à travers le décret du 2/12/11 relatif à la surveillance obligatoire des ERP a établi une valeur repère **de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le formaldéhyde** à compter du 1^{er} janvier 2015. Elle sera de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à compter du 1^{er} janvier 2023. Pour les établissements recevant des enfants, le décret du 5/01/2012 établit pour le formaldéhyde une valeur au-dessus de laquelle des investigations doivent être menées et pour laquelle le préfet doit être informé : cette valeur est de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le formaldéhyde, cancérigène certain selon le CIRC est responsable du cancer du nasopharynx en cas d'exposition professionnelle. Pour les niveaux rencontrés en air intérieur, il est principalement responsable d'allergies, d'augmentation de l'asthme et d'irritations des voies respiratoires et muqueuses oculaires.

L'**acétaldéhyde** bénéficie quant à lui d'une valeur guide sanitaire élaborée par l'ANSES, fixée à 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition long terme. L'acétaldéhyde provoque des irritations de la peau, des yeux et des voies respiratoires (réaction avec les protéines). Il est classé cancérigène possible par le CIRC.

résultats



Le graphique ci-dessus met en avant une situation comparable à celle observée pour les COV, avec les phases 2 et 3 où l'on note des concentrations en polluants plus importantes, notamment liées à la pose de la résine époxy et à l'ensemble des matériaux de second œuvre. La présence couplée de butanal et d'hexanal en phase 1, c'est-à-dire à l'achat du bâtiment avant tous travaux d'aménagement semblerait liée à la présence initiale de solvant. Nos recherches ne nous ont pas permis d'identifier précisément la pollution.

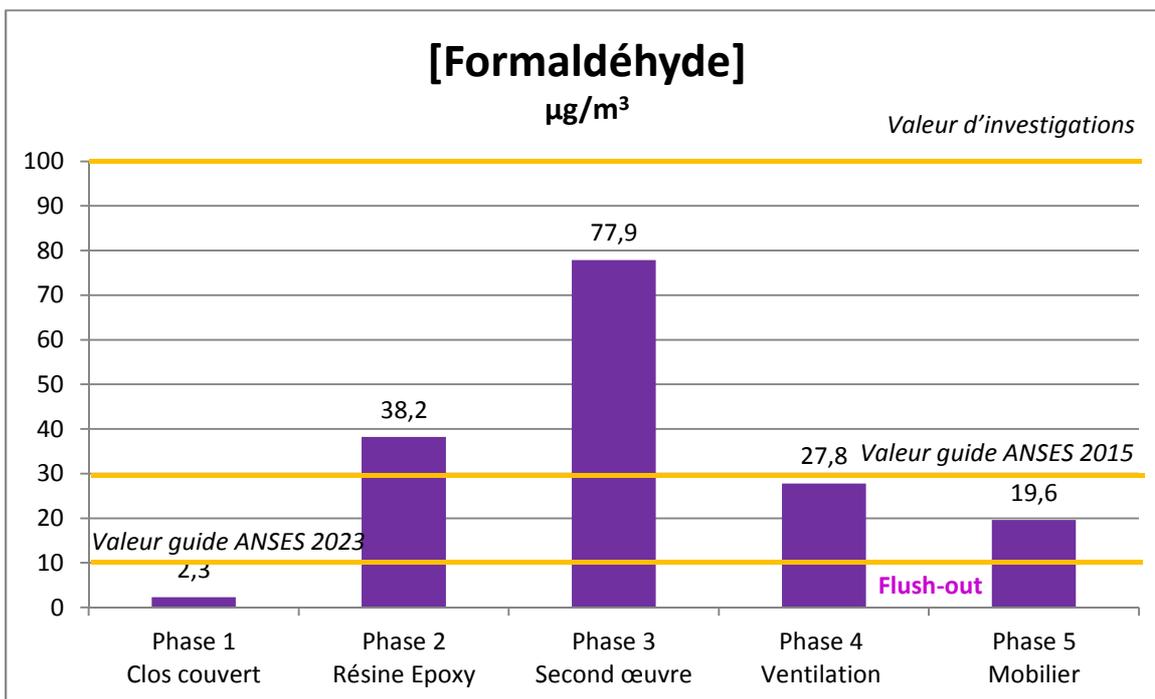
Toutefois, ce graphique met en avant une disparité dans la proportion des polluants selon les phases de mesure. En effet, en phase 2, les polluants majoritairement présents sont le propanal, l'hexanal et en moindre mesure l'acétaldéhyde. Notons que le propanal et l'acétaldéhyde sont des traceurs de la fumée de cigarette. Le propanal et l'hexanal sont également présents dans les peintures à phase solvant et dans les panneaux bois. Dans cette situation, la pose de la résine époxy semblerait à l'origine de ces concentrations, potentiellement couplée à une activité tabagique à proximité (enclos extérieur avec porte ouverte).

Les phases 3, 4 et 5 sont quant à elles particulièrement marquées par la présence de formaldéhyde, d'hexanal et de propanal. La présence de formaldéhyde et d'hexanal semble plutôt liée à la présence de produits bois et dérivés du bois émissifs en formaldéhyde et en moindre mesure en hexanal.

Enfin, la mise en fonctionnement de la ventilation et l'opération de flush-out menée entre les phases 4 et 5 ont permis une baisse significative des niveaux de pollution.

zoom sur le formaldéhyde

Pour le formaldéhyde, polluant réglementé en air intérieur, les concentrations moyennes pour l'ensemble du bâtiment ont suivi l'évolution suivante :



À travers ce graphique, nous pouvons noter que sur l'ensemble de la période, aucune phase ne dépasse la valeur d'investigations fixée à 100 µg/m³. Toutefois, la concentration en formaldéhyde moyenne mesurée sur les phases 2 et 3 dépasse la valeur guide ANSES de 2015. Par ailleurs, depuis le démarrage des travaux, l'ensemble des phases présente des niveaux supérieurs à la valeur guide de 2015.

Les sources de formaldéhyde sont multiples : les produits de construction et de décoration contenant des colles ou des liants à base d'urée-formol (panneaux de bois et dérivés du bois, laines minérales, mobiliers, stratifiés...), les peintures, les vernis ainsi que les sources de combustion, les produits d'entretien, etc. émettent du formaldéhyde. Au stade chantier, il n'est donc pas surprenant de mesurer des concentrations en formaldéhyde de ce niveau, notamment en phase second œuvre où, malgré une sélection drastique, la plupart des matériaux en émettent. Notons également que les émissions de la phase 2 liées à la pose de la résine époxy n'auraient pas dû avoir lieu. Ainsi, celles mesurées en phase 3 sont en partie la somme des émissions de la résine et des matériaux de second œuvre.

Par ailleurs, nous pouvons noter, qu'après mise en marche de la ventilation et après le flush-out, malgré l'apport de pollution par le mobilier, les niveaux ont baissé de plus de 60 %, atteignant un niveau inférieur à la valeur guide ANSES 2015.

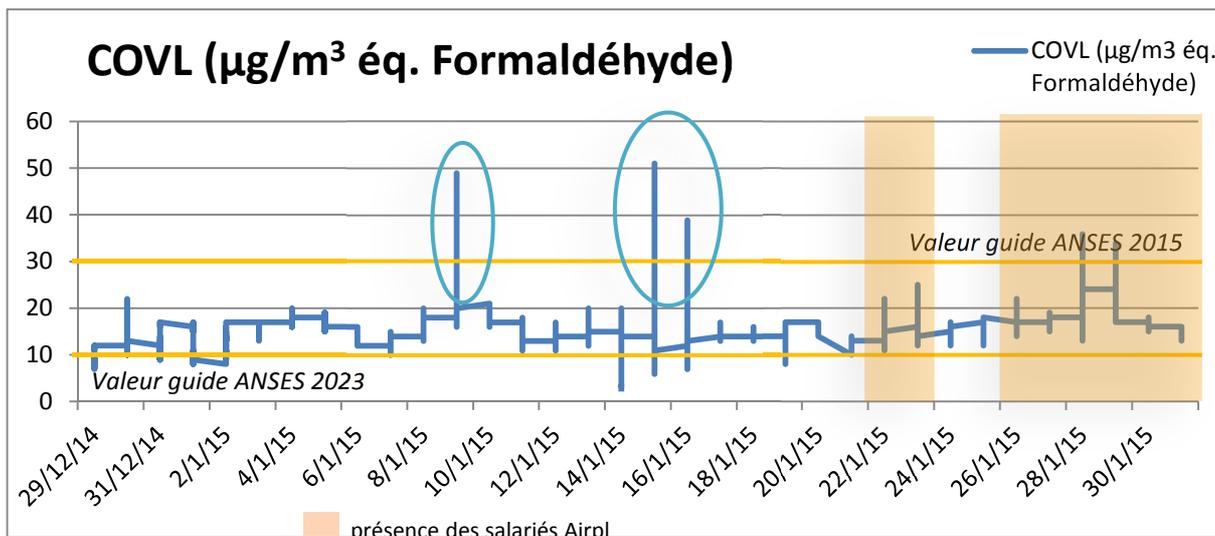
et les autres aldéhydes

En µg/m ³	OP1		Labo	
	P4	P5	P4	P5
Butyraldéhyde	51,9	30,9	57,2	23,2
Valéraldéhyde			3,5	

L'analyse des tubes à diffusion par une méthode dite « complète » a permis sur les phases 4 et 5 d'identifier d'autres aldéhydes, bien qu'ils ne bénéficient pas de valeur guide sanitaire. Le tableau ci-dessus présente ceux pour lesquelles des concentrations significatives (>2 µg/m³) ont été mesurées, hors polluants précisés dans le paragraphe précédent.

Nous pouvons noter la présence importante de butyraldéhyde lors des phases 4 et 5. Ce polluant est principalement utilisé dans les résines et les solvants. L'absence de mesure par cette méthode dite « complète » en phase 2 et 3 ne permet pas d'établir un lien avec la pose de la résine époxy.

suivi en temps réel – Balise Fireflies® - Azimut



Un suivi en continu des concentrations en COV légers par la balise « fireflies® » a été mis en place à partir de fin décembre 2014, couvrant les phases de mesure 4 et 5. Le suivi temporel des concentrations en COV légers indique une moyenne de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le pic du 9 janvier 2015 serait, d'après l'historique, attribué à des travaux de levés de réserve (travaux sur les plafonds et sols).

Les 2 pics observés les 15 et 16 janvier sont en lien avec l'arrivée des premiers mobiliers. Une baisse significative des niveaux devrait avoir lieu dans les 6 prochains mois par la décroissance continue des émissions des panneaux de construction.

préconisations pour réduire les concentrations en COV et aldéhydes

Pour maintenir un air de bonne qualité et limiter la présence de COV et d'aldéhydes, deux stratégies sont à mettre en avant :

- d'une part **limiter les sources de pollution** par le choix de matériaux peu émissifs. En fonction des résultats précédents, nous notons que la résine époxy est une source importante de pollution. Pour s'affranchir de cette résine, une construction sur vide sanitaire ou l'utilisation de revêtement de sol dur (type carrelage) aurait pu être préconisée au détriment du confort acoustique.

Les produits bois et dérivés du bois (panneaux particules, panneaux MDF, panneaux contreplaqués, stratifiés, laine de verre minérale) sont une source non négligeable de formaldéhyde. Pour limiter les sources de pollution, le choix de matériaux massifs en remplacement des contreplaqués ainsi que des cloisons en plaques de plâtre plutôt qu'en MDF pourrait être envisagé.

Par ailleurs, le vernis utilisé ainsi que le mobilier pourraient faire l'objet d'une sélection plus rigoureuse, notamment par le choix d'un vernis polyuréthane, faiblement émissif en COV et par le choix d'un mobilier de type Eo.5 et non peint.

- d'autre part, en phase chantier et à réception, il est essentiel **d'extraire les polluants** éventuellement présents. Pour cela, une aération régulière du chantier est importante. L'opération de flush-out constitue une stratégie efficace permettant leur réduction. Pour extraire les polluants liés à l'apport du mobilier, cette opération aurait pu être prolongée de quelques jours : jusqu'à 3 jours après réception du mobilier. Le flush-out faisant diminuer l'humidité relative et pouvant générer des inconforts, cette action n'a pas été effectuée au sein des bureaux en raison de l'arrivée des salariés.

bilan de la phase chantier et des mesures

L'évaluation de la qualité de l'air intérieur lors de la phase chantier permet de faire un lien entre la performance sanitaire souhaitée des bureaux Air Pays de la Loire et l'ensemble des dispositions prises en phases conception et chantier décrites ci-dessous :

En phase conception :

- choix des matériaux de construction suivant leur impact QAI
- choix du mobilier
- dimensionnement de la ventilation

En phase chantier :

- sensibilisation des compagnons au démarrage de la mission
- management de la QAI (vérification des matériaux préconisés, protection et stockage des matériaux, des équipements de ventilation, zones de transformations des matériaux, flush-out)
- visites de chantier régulières

Pour Air Pays de la Loire, dans les conditions de mesures déterminées précédemment, l'évaluation de la QAI a révélé **une qualité de l'air meilleure en fin de chantier** et perturbée par les travaux liés à la pose de la résine époxy et aux matériaux de second œuvre. Les impacts positifs de la mise en marche de la ventilation et de l'opération de flush-out sont aussi démontrés.

Pour rendre perfectible la qualité de l'air des bureaux en phase chantier, il aurait été préférable de :

- envisager la construction sur vide sanitaire ou mettre en œuvre un revêtement de sol dur ou textile ;
- limiter la mise en œuvre de produits dérivés du bois (contenant des colles) et privilégier les matériaux en bois massifs. Pour limiter la présence de bois tel que les panneaux MDF, la mise en œuvre de plaque de plâtre sur l'ensemble aurait pu être envisagée ;
- prolonger le flush-out jusqu'à 3 jours après la livraison du mobilier ;
- disposer d'affichettes dans plusieurs zones du chantier pour communiquer sur l'enjeu QAI. Par exemple, les affichettes avec les messages suivants auraient pu être réalisées :
 - interdiction de fumer à l'intérieur des locaux,
 - obligation de réaliser les découpes à l'extérieur du bâtiment ou d'utiliser un aspirateur en cas de découpe à l'intérieur, etc.

La suite des mesures, en phase exploitation est décrite dans le chapitre suivant.

la phase exploitation : les ajustements et enseignements

La phase exploitation se caractérise par l'arrivée des salariés dans les locaux. A partir de ce moment, l'usage du bâtiment peut devenir une source de pollution majeure. L'objectif est ici l'optimisation du fonctionnement du bâtiment afin de maintenir sa performance, tout en veillant à évoluer dans un environnement confortable et propice aux bonnes conditions de travail.

Ainsi, la phase exploitation est marquée par la réalisation de mesures ponctuelles de la qualité de l'air intérieur (phase 6) et permanentes avec un suivi en continu de certains paramètres de la QAI. L'ensemble de ces résultats ainsi que le ressenti des salariés permettent d'optimiser l'usage du bâtiment et des équipements, notamment les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation.

Enfin, un suivi des mesures 1 an après l'emménagement permettra de rendre compte de la décroissance des émissions des matériaux et du bon usage du bâtiment au regard de la maintenance et de l'entretien.

le suivi des performances par les mesures

évolution des paramètres de confort hygrothermique et de confinement

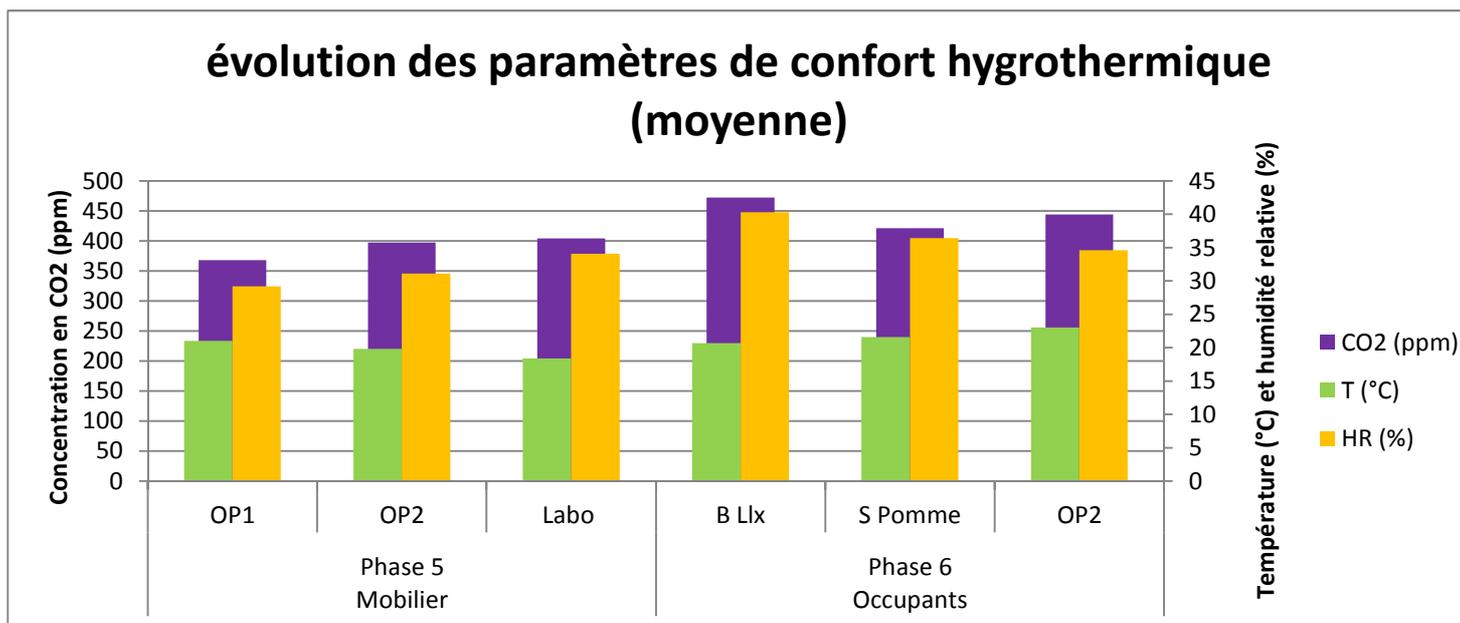
valeurs de référence

Les valeurs de référence pour la température, l'humidité relative et le CO2 sont définies au chapitre précédent (page 22).

En période d'occupation, la concentration en CO2 est traduite par un calcul appelé indice ICON, notamment repris dans le décret de surveillance de la qualité de l'air pour les établissements accueillant des enfants (décret du 05/01/12). Cet indice tenant compte des temps d'exposition à différentes gammes de concentration en CO2 varie de 0 à 5 ; 0 étant un confinement nul et 5 un confinement extrême.

résultats

		Moyenne		
		CO2 (ppm)	T (°C)	HR (%)
Phase 6 Occupants	B Llx	472	20,7	40,3
	S Pomme	421	21,6	36,4
	OP2	444	23	34,6



D'après les résultats, en phase 6, les paramètres hygrothermiques et de confinement mettent en avant un air de bonne qualité.

En comparaison avec la phase 5, la phase 6 est marquée par :

- une légère augmentation de l'humidité relative (14 %) en moyenne pour l'ensemble des lieux. Nous pouvons noter une humidité relative plus importante dans le bureau « Llx », situé au nord du bâtiment.
- une légère augmentation de la température (+2°C en moyenne sur l'ensemble des lieux). La température mesurée dans le bureau Llx est également la plus importante.
- une légère augmentation de la concentration en CO2 (14,3 %). Cette augmentation témoigne de l'occupation des locaux et ainsi de l'arrivée des salariés.

En phase 6, la **température** moyenne mesurée est de 21,7°C, avec un maximum observé dans l'open space n°2. Notons que la température de consigne pour le chauffage était fixée à 23°C pour l'ensemble des espaces bureaux. Ces mesures mettent en évidence une bonne réponse à la température de consigne, les écarts de 2°C étant considérés par le fabricant comme acceptables.

L'humidité relative, quant à elle est toujours inférieure à 40 %. Il en résulte un air légèrement sec pouvant provoquer des sécheresses oculaires et cutanées.

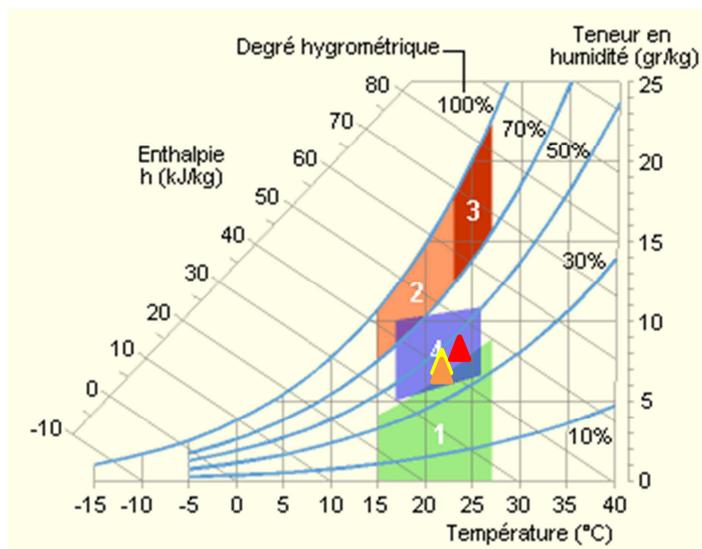
Le **confort hygrothermique**, résultant du couple température/humidité relative est traduit à travers le diagramme psychrométrique suivant. Les zones 1,2,3 et 4 correspondent aux légendes suivantes :

1 : zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.

2 et 3 : zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microorganismes dont les moisissures.

3 : zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.

4 : polygone de confort hygrothermique



En phase 6, chaque espace (bureau llx : jaune, salle pomme : orange, OP2 : rouge) se situe dans la plage de confort hygrothermique, malgré une humidité légèrement faible.

Le **confinement** se traduit par la concentration en dioxyde de carbone (CO₂). Celle-ci varie en fonction de l'occupation, augmente la journée lors de la présence des salariés et diminue la nuit lors de l'inoccupation revenant à une concentration faible et comparable au niveau extérieur (450 ppm).

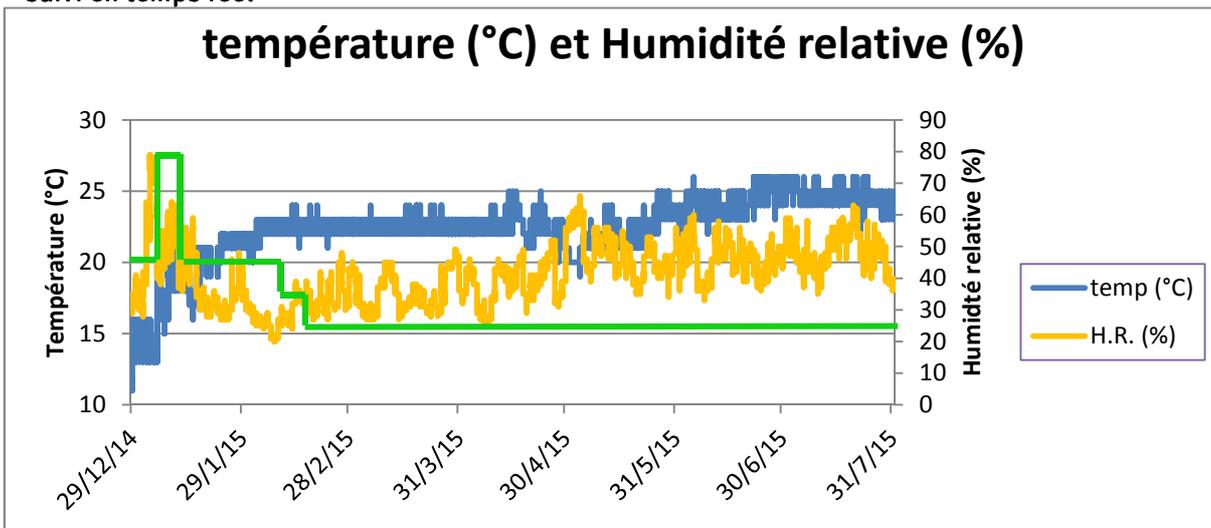
Les concentrations mesurées dans le bureau LLx sont faibles, avec une concentration moyenne de 700 ppm lors des périodes d'occupation et pouvant atteindre 1200 ppm lors de réunion où le nombre d'occupants est de 4 personnes. L'indice ICONE calculé, tenant compte des périodes d'occupation est de 0, témoignant d'un confinement nul.

Pour la salle de réunion pomme, la concentration moyenne est de 668 ppm lors de l'occupation. Celle-ci est montée jusqu'à 1500 ppm à l'occasion de l'inauguration. Notons que lors de cet évènement plus de 40 personnes étaient présentes dans la salle. Par ailleurs, la concentration est revenue à un niveau < 1000 ppm 20 minutes après l'évènement. Ceci indique donc le bon fonctionnement de l'asservissement de la ventilation en fonction de la concentration en CO₂. En effet, au-delà de 1300 ppm, les débits de ventilation sont augmentés, faisant ainsi rapidement diminuer les niveaux de CO₂ dans la salle. Le calcul de l'indice ICONE tenant compte du temps passé par niveau de concentration en CO₂ indique un confinement nul pour cet espace.

Enfin, pour l'open space 2, pouvant accueillir 20 personnes, le maximum mesuré est de 820 ppm. La moyenne mesurée est de 610 ppm lors des périodes d'occupation. L'indice icone calculé est de 0. L'ensemble de ces résultats témoigne d'un confinement nul et donc d'une qualité de l'air très satisfaisante.

Remarque : le taux de renouvellement d'air initialement fixé à 2600 m³/h avait été diminué à 2200 m³/h le 9 janvier, puis 1600 m³/h depuis le 12 janvier. Ces manipulations ont été effectuées en raison de plaintes des salariés mentionnant un air trop sec et une sensation de froid, responsables de sécheresses et d'inconforts. Le dimensionnement de la ventilation avait effectivement été effectué en tenant compte du nombre de personnes maximal dans les open spaces. Toutefois, à l'usage, les open spaces accueillent rarement la totalité des effectifs simultanément, notamment avec les techniciens souvent sur le terrain. Une baisse du renouvellement d'air a donc pu être envisagée.

suivi en temps réel

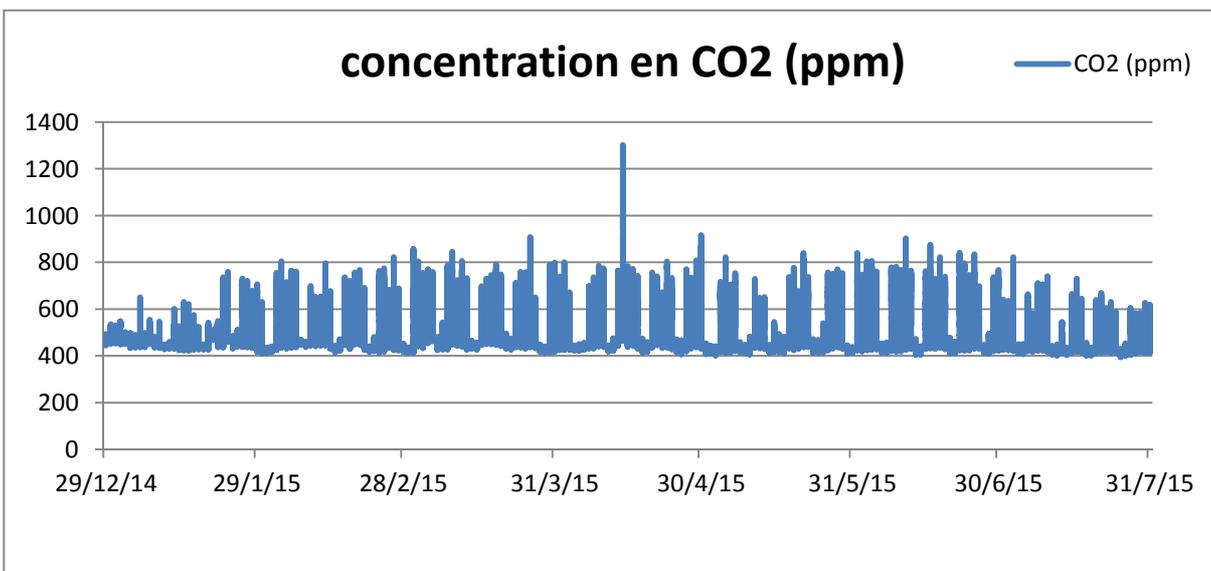


— Taux de renouvellement d'air (m3/h) : 2600/3500 / 2600 / 2200 /1600

Le graphique ci-dessus montre une bonne réponse à la température de consigne fixée à 23°C en janvier. Courant avril, la variabilité des résultats est en lien avec l'arrêt du chauffage dans les locaux. Elle est notamment liée aux actions manuelles opérées sur les demandes de consignes pour la climatisation. Par ailleurs, lors de cette période, nous pouvons également identifier les variations de température nocturnes / diurnes. Depuis mai, l'ajustement des paramètres de climatisation s'étant précisé avec une température de consigne fixée à 26°C, la régularité s'est de nouveau installée.

Juin marqué par son ensoleillement et ses températures clémentes a nécessité le fonctionnement continu de la climatisation dont le paramétrage a été optimisé. Ainsi, depuis début juin, les températures sont maintenues à 26°C ou 27°C en moyenne (température de consigne).

Nous pouvons noter sur le graphique une légère hausse de l'humidité relative depuis la baisse du taux de renouvellement d'air effectué en février. Depuis le 15 avril, nous notons que l'humidité relative est maintenue à un taux supérieur à 40 % en journée, ce qui est satisfaisant.



Sur ce graphique, nous percevons une forte régularité de la concentration en CO2. Nous observons également les pics qui correspondent aux moments d'occupation des locaux, soit 2 pics par jour : matin et après-midi. La concentration nocturne en CO2 redescend à une concentration de fond d'environ 420 ppm. Le pic observé le 16 avril 2015 serait lié à une expiration proche du capteur.

De manière globale, ce suivi en temps réel confirme les résultats de la campagne de mesures réalisée en mars 2015 et témoigne d'une qualité de l'air très satisfaisante en termes de paramètres de confort (humidité relative comprise entre 40 et 60 %, confinement nul, température réelle adéquate à la consigne).

préconisations pour le confort hygrothermique et le confinement

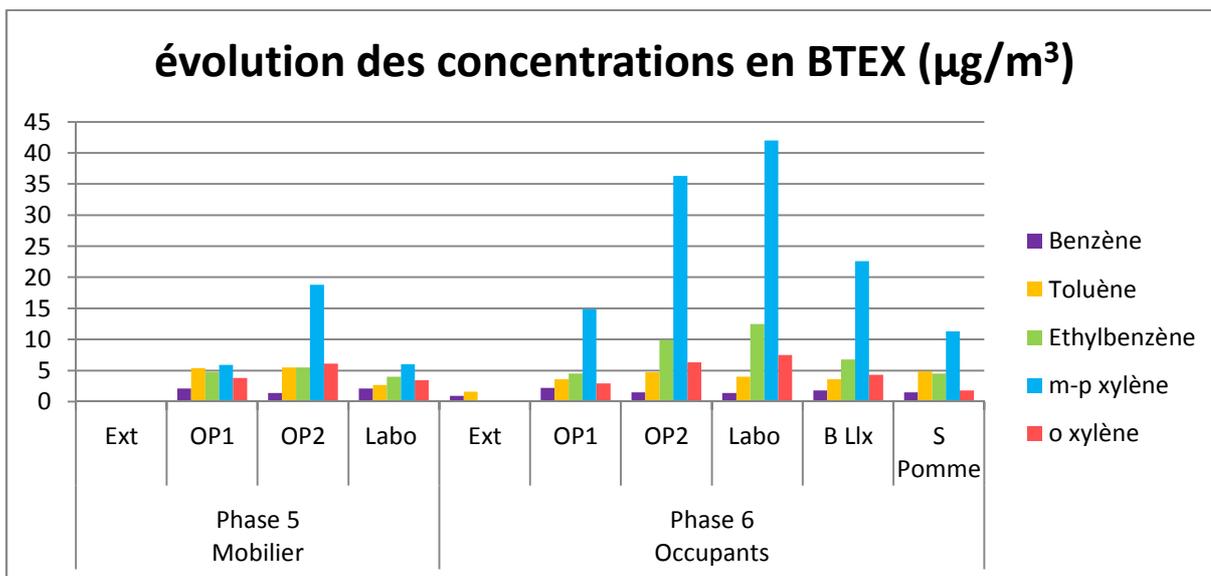
Les paramètres température et confinement ne nécessitent pas d'ajustement particulier, à la différence de l'humidité relative dont les valeurs mesurées restent en partie inférieures à 40 %. Les concentrations en CO₂ étant très satisfaisantes (confinement nul), il est envisageable de diminuer le renouvellement d'air permettant d'augmenter légèrement le taux d'humidité relative. Les répercussions sur la concentration en CO₂ seront faibles. Il sera toutefois important de considérer l'impact sur les concentrations en COV et aldéhydes.

évolution des concentrations en composés organiques volatils

valeurs de référence

Les valeurs de référence pour ces polluants sont définies au chapitre précédent (page24).

résultats



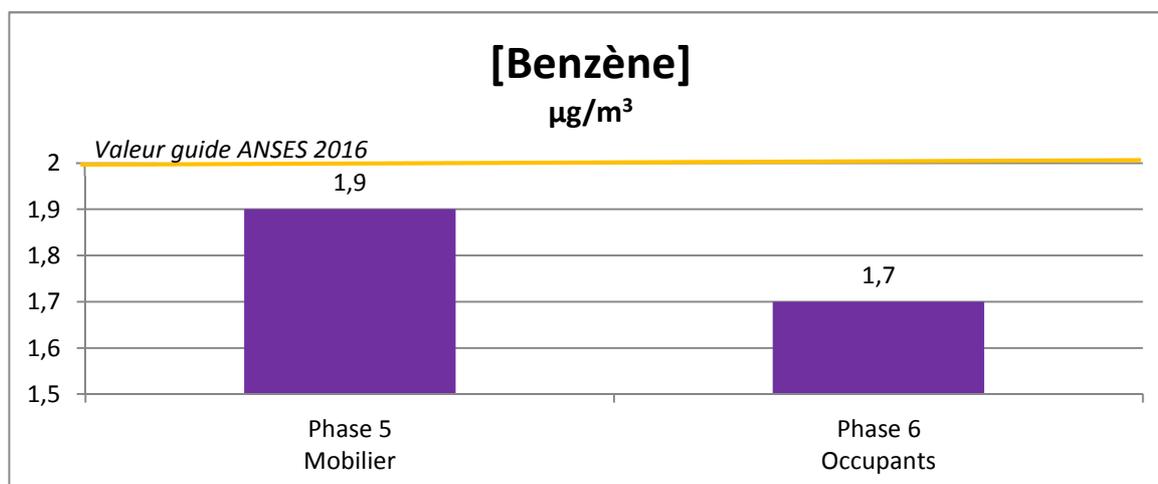
Sur la période 6, les concentrations en BTEX ont augmenté par rapport à la phase 5, notamment pour l'éthylbenzène et le m,p xylène. Les occupants et l'usage du bâtiment étant des sources avérées de pollution, la situation n'est pas surprenante. Nous pouvons observer une pollution marquée essentiellement au niveau du laboratoire de maintenance et de l'open space 2, notamment au niveau du m-p xylène (50 % de plus que dans l'open space 1).

Les sources d'éthylbenzène et de xylènes seraient issues de l'intérieur du bâtiment (niveau négligeable à l'extérieur) et sont habituellement associées à la présence de vernis, peinture. Toutefois, d'après l'historique des travaux, aucune action n'aurait été effectuée sur la semaine d'instrumentation, ni même les semaines précédentes. Par ailleurs, la composition des produits d'entretien exclut la présence de xylènes. La pollution pourrait donc provenir des salariés eux-mêmes et de leurs usages. Notons par ailleurs que le taux d'occupation dans l'open space 2 est plus important que dans l'open space 1.

Pour les 3 polluants qui disposent de valeurs guides sanitaires en vigueur (toluène, xylène, benzène), aucun ne fait l'objet d'un dépassement. Notons toutefois que la concentration en benzène dans l'open space 1 dépasse la valeur guide 2016.

zoom sur le benzène

Pour le benzène, polluant règlementé en air intérieur, les concentrations moyennes pour l'ensemble du bâtiment ont suivi l'évolution suivante :



À travers ce graphique, nous observons une légère diminution (12 %) de la concentration en benzène. La concentration mesurée à l'extérieur du bâtiment est de 0,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui indique l'existence d'une source de pollution complémentaire à l'intérieur du bâtiment.

Par ailleurs, les concentrations mesurées sur l'ensemble des points de mesure sont inférieures à la valeur guide sanitaire de l'ANSES 2013, soit 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Notons toutefois que la concentration mesurée dans l'open space 1 est de 2,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur guide 2016 : 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Pour les autres points de mesure, les concentrations mesurées sont inférieures à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

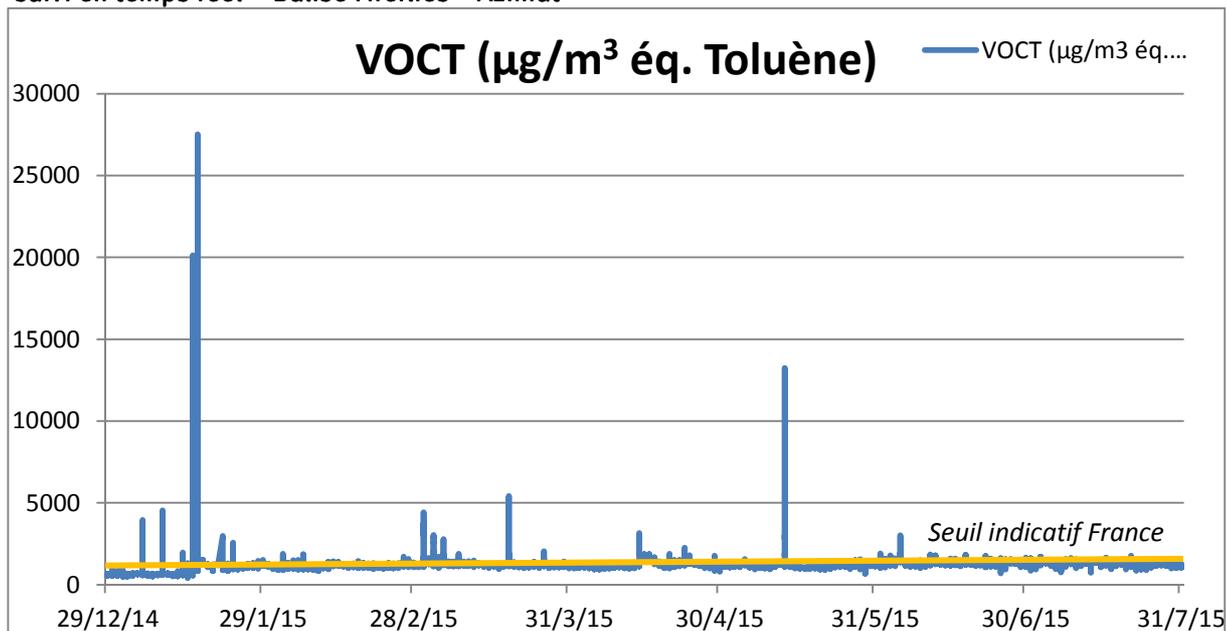
et les autres types de COV

En $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OP1		Labo MOP	
	P5	P6	P5	P6
N-butylacétate	14,85		5,71	9,74
Cyclohexane	8,27	5,20	6,04	6,25
2-Ethyl-1-hexanol				3,54
undécane	3,61	2,10	6,99	3,16
Alpha-pinène	41,79	3,32	10,76	23,98
décane	4,64		3,41	
limonène	3,38			
1-méthoxy-2-propanol	13,95		5,27	5,18
nonane	14,46		8,26	5,95
heptane			3,31	3,31

L'analyse de ces COV par une méthode dite « complète » a permis d'identifier d'autres COV émis, bien qu'ils ne bénéficient pas de valeurs guides sanitaires. Le tableau ci-dessous présente ceux pour lesquelles des concentrations significatives ($>2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ont été mesurées, hors BTEX.

Sur les COV identifiés, nous pouvons noter une baisse significative des niveaux de pollution entre les phases P5 et P6, hormis pour le n-butylacétate et l'alpha-pinène dans le laboratoire. La concentration d'acétate dans le laboratoire pourrait être liée à la présence de l'armoire à solvants utilisés pour la maintenance des appareils. Celle d'alpha-pinène mesurée dans le laboratoire serait plutôt liée aux produits d'entretien parfumés utilisés pour nettoyer le local et les paillasse (odeur pin).

suivi en temps réel – Balise Fireflies® - Azimut



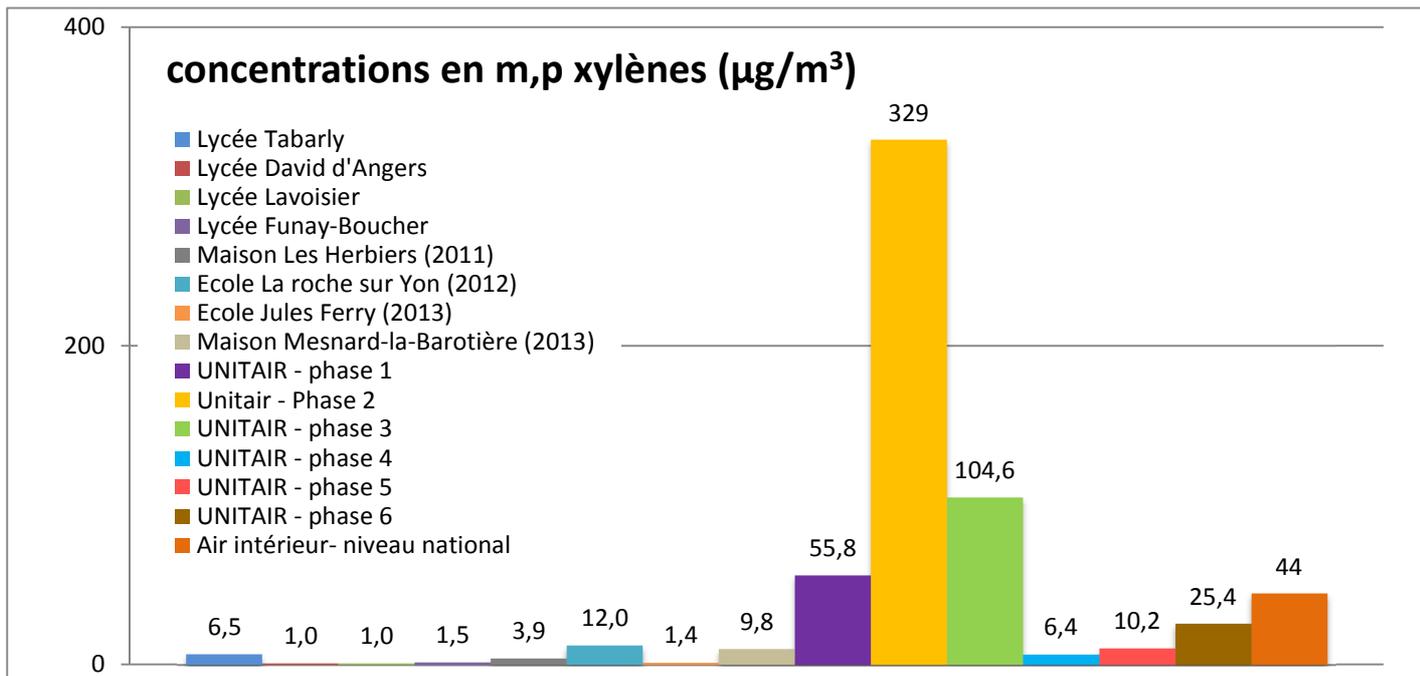
Par le suivi en continu des concentrations en COV totaux par la balise « fireflies® » mis en place depuis décembre 2014, nous observons moins de pics de pollution. Le niveau de fond quant à lieu reste identique, avec une concentration moyenne d'environ 1000 µg/m³ sur les mois de juin et juillet. En effet, les matériaux et le mobilier continuent d'émettre quelques mois après leur mise en œuvre. Une décroissance devrait avoir lieu dans les prochains mois.

Les principaux pics enregistrés en décembre et janvier correspondent à la fin des travaux et à l'arrivée du mobilier. Les autres pics observés début mars correspondent à l'ouverture des armoires jusqu'alors assez émissives. Enfin, nous pouvons noter quelques autres pics de concentration en avril pouvant correspondre aux activités de ménage et à l'ouverture des armoires la journée. Aucun évènement particulier n'explique le pic du mois de mai.

Il est par ailleurs nécessaire de rappeler que les mesures effectuées avec la balise ne permettent pas une comparaison stricto-sensu avec les seuils, les méthodes de mesure étant différentes.

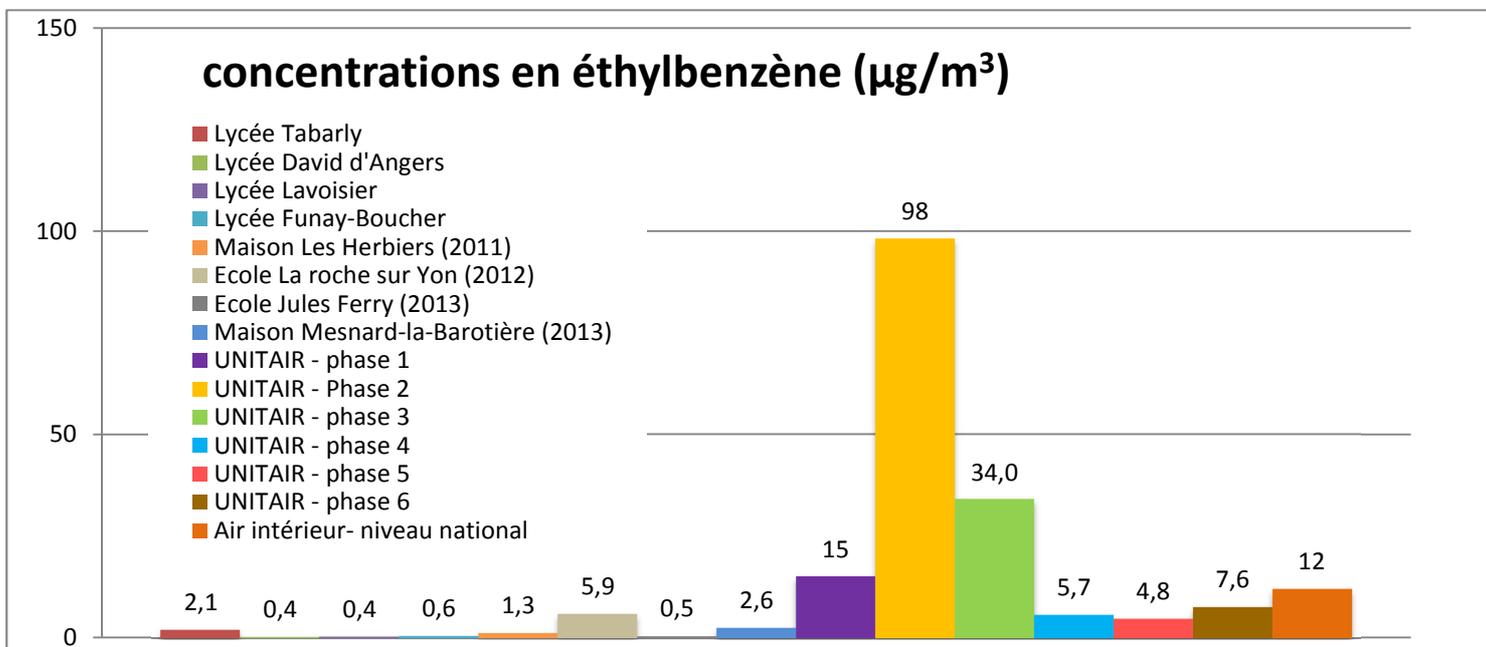
comparaison avec données régionales, nationales et européennes

Les résultats précédents ont mis en avant la présence importante de m,p xylène et d'éthylbenzène au sein des bureaux. Une comparaison avec des données régionales (études antérieures Air Pays de la Loire) ainsi qu'une étude européenne (Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Italie, Pays-Bas et Portugal) réalisée entre 2010 et 2014, spécifique aux bureaux neufs ou réhabilités depuis moins de 10 ans, nommée OFFICAIR permet de situer les résultats obtenus.



Le graphique ci-dessus met en avant la forte proportion de m,p xylènes en phase chantier et notamment en phases P1, P2 et P3 vis-à-vis des autres études réalisées par Air Pays de la Loire. Néanmoins, les études antérieures réalisées concernent des bâtiments scolaires et des logements. En phase 6, la concentration mesurée ($25.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) reste supérieure à celle mesurée dans d'autres études régionales, mais est inférieure au niveau national compris entre 17 et $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (données INERIS 2004).

La médiane en xylènes mesurée en période hivernale lors de la campagne européenne OFFICAIR, spécifique aux bureaux est de $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'ensemble des bureaux (35 bureaux), français compris (9 bureaux).



Pour l'éthylbenzène, nous remarquons les mêmes variations, avec de fortes concentrations mesurées lors de la phase chantier (P1 à P3), puis une décroissance atteignant des résultats observés dans l'école de La Roche-sur-Yon. Depuis la mise en marche de la ventilation, les niveaux ont fortement diminué, atteignant des concentrations inférieures à celles rencontrées au niveau national (données INERIS 2004).

Notons que la médiane mesurée en période hivernale lors de la campagne européenne OFFICAIR, spécifique aux bureaux est de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'ensemble des bureaux (35 bureaux) et de $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les bureaux en France (9 bureaux).

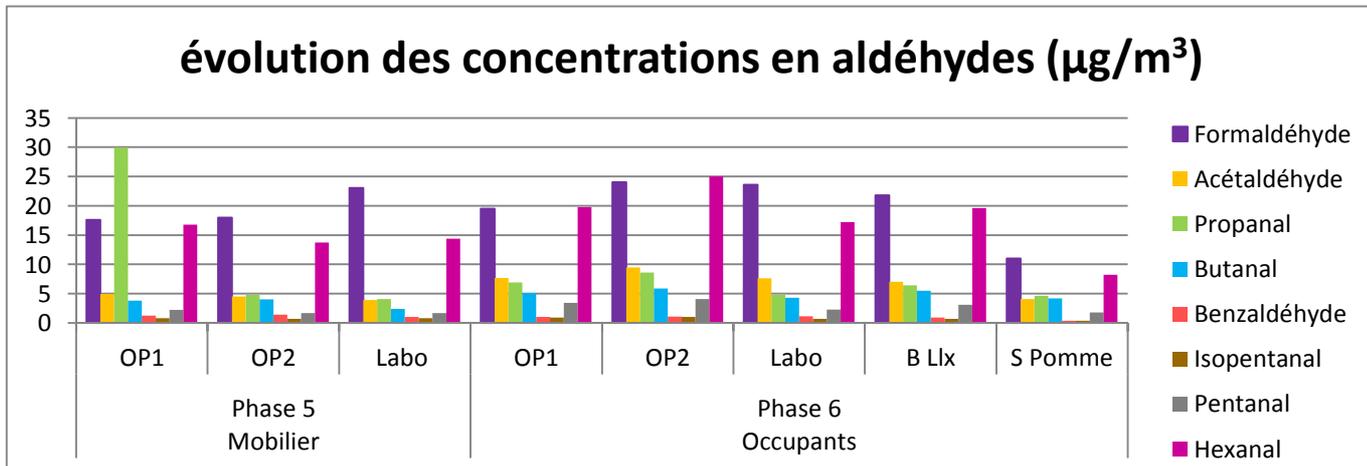
évolution des concentrations en aldéhydes

valeurs de référence

Les valeurs de référence pour ces polluants sont définies au chapitre précédent (page26).

L'acroléine, irritant des voies respiratoires, dispose également d'une valeur guide ANSES fixée à 0.8 µg/m³ pour une exposition long terme et 6.9 µg/m³ pour une exposition d'une heure.

résultats

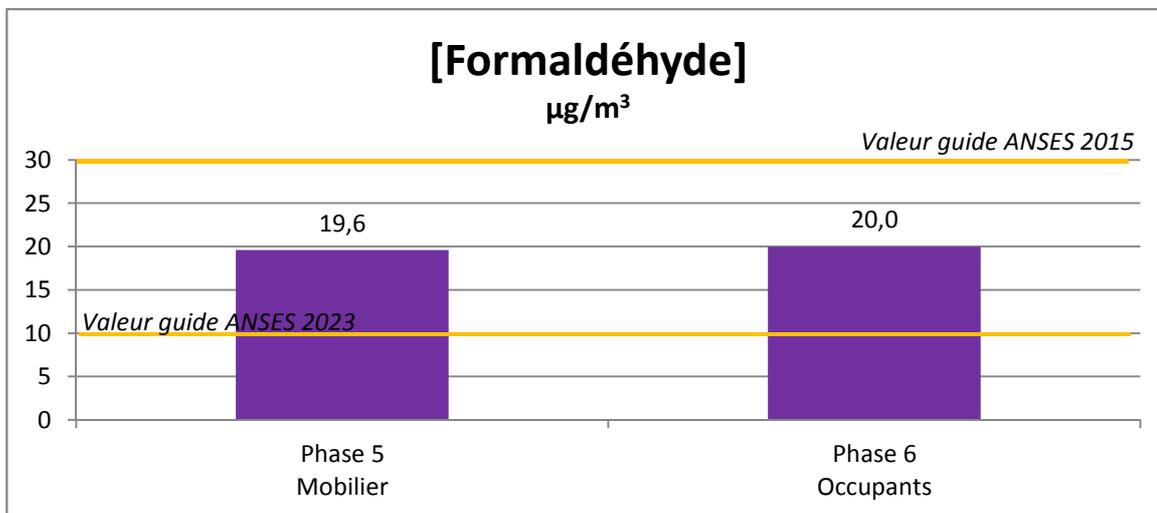


Sur la période 6, les concentrations en aldéhydes ont augmenté par rapport à la période 5. On note notamment une augmentation des concentrations en formaldéhyde de 10 % pour l'OP1, 25 % pour l'OP2 et 2.5 % pour le laboratoire. Seule la concentration du propanal diminue de 76.6 % (OP1). Cette observation conforte l'hypothèse d'une activité tabagique lors du chantier, inexistante depuis l'arrivée des salariés.

La présence couplée de formaldéhyde et d'hexanal dans chaque espace du bâtiment laisse présager une pollution liée aux matériaux de construction, provenant notamment des produits bois et dérivés du bois et non d'une pollution spécifique.

zoom sur le formaldéhyde

Pour le formaldéhyde, polluant réglementé en air intérieur, les concentrations moyennes pour l'ensemble du bâtiment ont suivi l'évolution suivante :



Pour l'ensemble du bâtiment, la concentration en formaldéhyde est en légère augmentation par rapport à la phase 5. Le graphique précédent met en évidence une concentration plus faible dans la salle de réunion pomme, faisant ainsi diminuer la concentration globale en phase 6.

Les sources de pollution peuvent être notamment liées aux matériaux de construction (produits bois moins présents et absence des buzzispaces en salle de réunion), mais également aux produits d'entretien et à la présence des occupants. En effet, chaque salarié est potentiellement vecteur d'une pollution en formaldéhyde (parfum, tabac notamment). La faible occupation de la salle de réunion et son ménage moins fréquent pourraient ainsi être à l'origine de cet écart observé.

Les concentrations mesurées sont pour chaque espace supérieures à la valeur sanitaire ANSES de 2023, mais inférieures à celle de 2015.

Les émissions des matériaux devront décroître dans le temps. Il sera possible d'évaluer l'impact de l'entretien et des occupants lors des prochaines campagnes de mesure.

et les autres aldéhydes

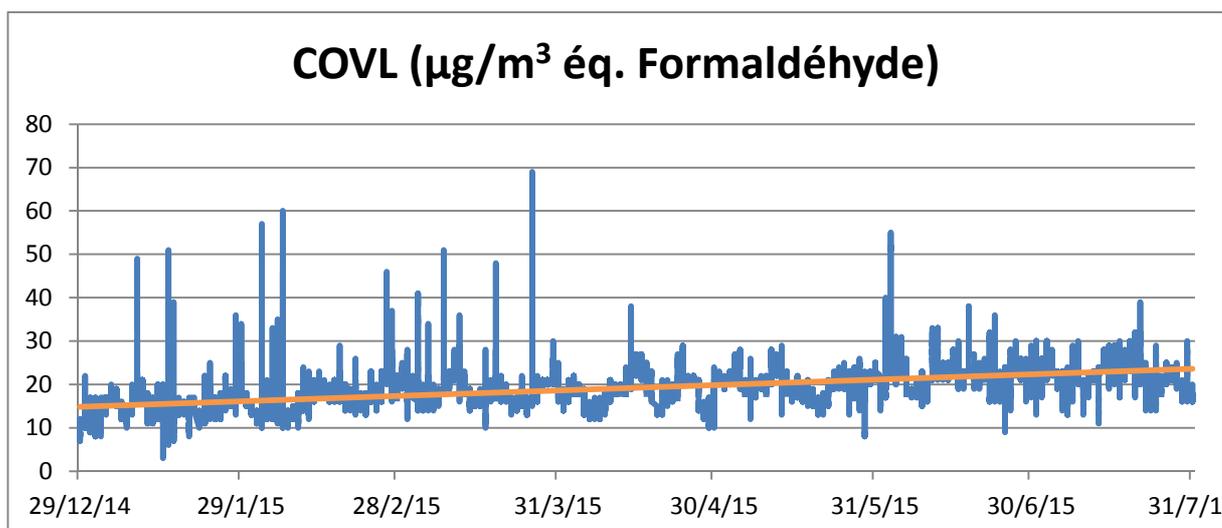
En µg/m³	OP1		Labo	
	P5	P6	P5	P6
Butyraldéhyde	30.9	46.6	23.2	29.8
Valéraldéhyde		3		4.9
Acroléine		4.9		5

L'analyse des tubes à diffusion passive par une méthode dite « complète » a permis d'identifier d'autres aldéhydes, bien qu'ils ne bénéficient pas de valeur guide sanitaire. Le tableau ci-dessus présente ceux pour lesquelles des concentrations significatives (>2 µg/m³) ont été mesurées, hors polluants précisés dans le paragraphe précédent.

Nous pouvons noter la présence importante de butyraldéhyde depuis la phase 4, avec une légère augmentation entre les phases 5 et 6 (+ 50.8 % dans OP1 et 28.4 % pour le labo). Ce polluant est principalement utilisé dans les résines et les solvants. L'absence de mesure par cette méthode dite « complète » en phase 2 et 3 ne permet pas d'établir un lien avec la pose de la résine époxy. L'augmentation constatée en phase 6 pourrait être liée à l'activité dans les bureaux.

Par ailleurs, la présence d'acroléine en forte concentration par rapport à la valeur guide long terme indique une pollution caractéristique de l'exploitation du bâtiment. En effet, l'acroléine est un irritant présent dans la fumée de cigarette (dont les cigarettes électroniques), les parfums et que l'on retrouve comme produit lors de la décomposition de graisses (barbecue, friture, etc.). La concentration mesurée ne dépasse pas la valeur guide pour une exposition d'une heure, mais celle à long terme (1 an). La réalisation d'une prochaine campagne de mesures permettra de mesurer ce polluant et d'évaluer sa persistance dans les bureaux.

suivi en temps réel – Balise Fireflies® - Azimut



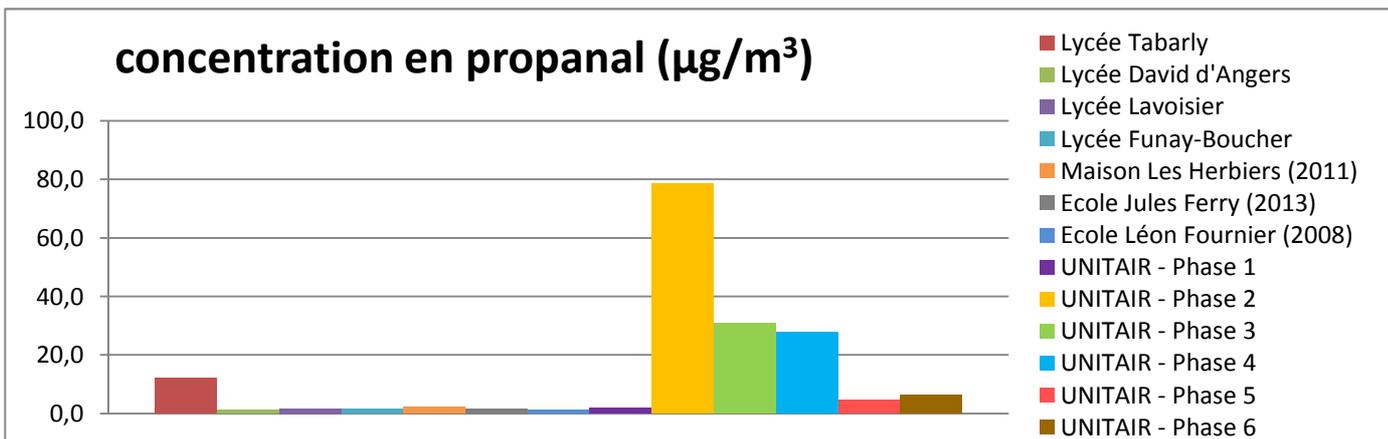
Par le suivi en continu des concentrations en COV légers avec la balise fireflies®, nous observons moins de pics de pollution depuis avril 2015. Le niveau de fond quant à lui a augmenté, passant de $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur les mois de février, mars et avril malgré quelques pics ponctuels, à $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les mois de juin et juillet. Les émissions des matériaux et du mobilier, ainsi que la présence des salariés participent à l'augmentation des concentrations mesurées. Notons que l'augmentation de la température intérieure des bureaux participe également à l'augmentation des émissions des matériaux.

Les principaux pics enregistrés en décembre et janvier correspondent à ceux observés pour les COVT et sont en lien avec la fin des travaux et l'arrivée du mobilier. Les autres pics observés début mars correspondent à l'ouverture des armoires jusqu'alors assez émissives et situées à proximité de la balise. Enfin, nous pouvons noter quelques autres pics de concentration en avril pouvant correspondre aux activités de ménage et à l'ouverture des armoires la journée. Enfin, le pic du mois de mai pourrait être lié à la proximité avec un salarié parfumé.

Il est par ailleurs nécessaire de rappeler que les mesures effectuées avec la balise ne permettent pas une comparaison stricto-sensu avec les seuils, les méthodes de mesure étant différentes. Notons que sur la période 6, la concentration en formaldéhyde obtenue par la méthode de référence (tubes à diffusion passive) est de $19.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quand sur la même période, celle obtenue avec la balise est de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

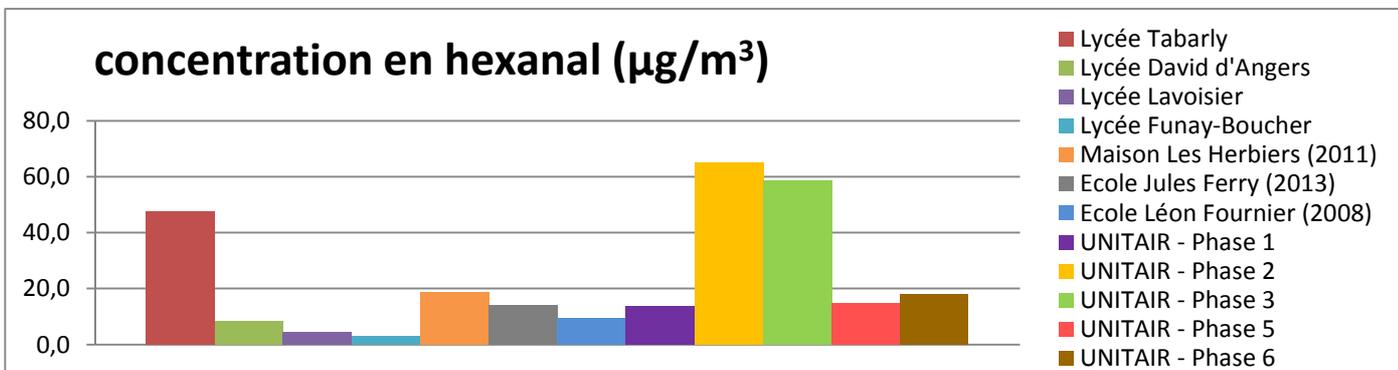
comparaison avec données régionales, nationales et européennes

Les résultats précédents ont mis en avant la présence importante de formaldéhyde, propanal et hexanal au sein des bureaux. Une comparaison avec des données régionales (études antérieures Air Pays de la Loire) ainsi qu'une étude européenne (Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Italie, Pays-Bas et Portugal) réalisée entre 2010 et 2014, spécifique aux bureaux neufs ou réhabilités depuis moins de 10 ans, nommée OFFICAIR permet de situer les résultats obtenus. Notons toutefois que la plupart des bâtiments investigués dans l'étude OFFICAIR ne sont pas neufs et que les émissions des matériaux sont par conséquent moins importantes que celles des bureaux d'Air Pays de la Loire.



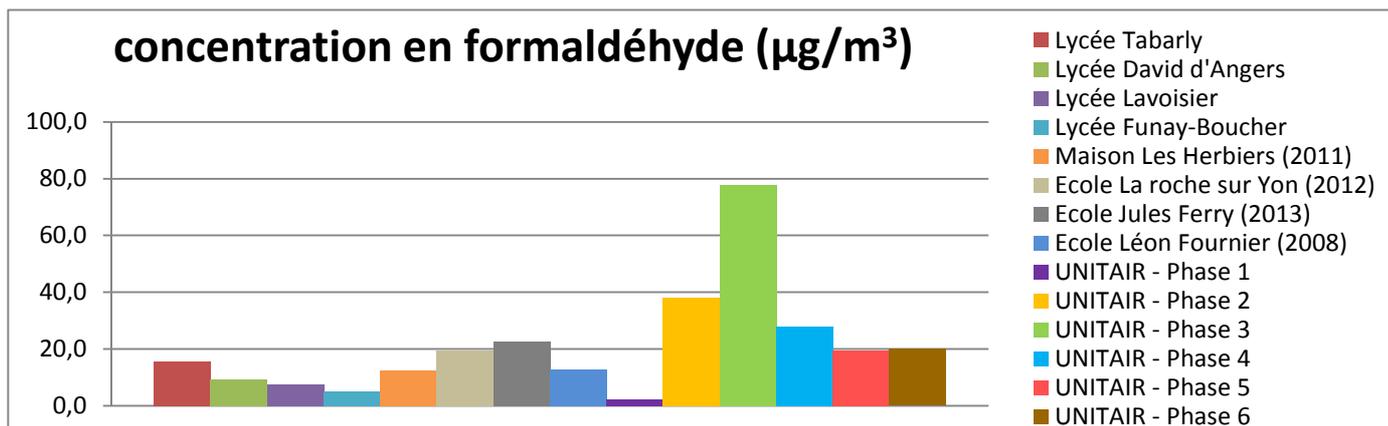
Le graphique ci-dessus met en avant la forte proportion de propanal en phase chantier et notamment en phases P2, P3 et P4 (faible en P1) vis-à-vis des autres études réalisées par Air Pays de la Loire.

Notons que la médiane mesurée en période hivernale lors de la campagne européenne OFFICAIR, spécifique aux bureaux est de 1.2 µg/m³ pour l'ensemble des bureaux (35 bureaux) et de 0.9 µg/m³ pour les bureaux en France (9 bureaux).



Concernant l'hexanal, le graphique ci-dessus met en évidence une élévation d'hexanal lors des phases 2 et 3 (chantier). Toutefois, celles mesurées en phase 5 et 6 sont du même ordre de grandeur que celle de la Maison des herbiers et de l'école Jules Ferry, et inférieure à celle mesurée au Lycée Tabarly.

La médiane mesurée en période hivernale lors de la campagne européenne OFFICAIR, spécifique aux bureaux est de 4.4 µg/m³ pour l'ensemble des bureaux (35 bureaux) et de 4.6 µg/m³ pour les bureaux en France (9 bureaux).



Les concentrations en formaldéhyde mesurées sur l'ensemble des campagnes sont plus importantes sur les phases 2,3 et 4. Les niveaux mesurés sur les phases 5 et 6 sont comparables à ceux des écoles de la Roche-sur-Yon et de Mayenne (Jules Ferry).

La médiane mesurée en période hivernale lors de la campagne européenne OFFICAIR, spécifique aux bureaux est de $7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'ensemble des bureaux (35 bureaux) et de $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les bureaux en France (9 bureaux).

Cette comparaison permet de mettre en perspective les concentrations en aldéhydes mesurées au sein des bureaux. L'hexanal et le formaldéhyde sont effectivement présents sur l'ensemble des phases, néanmoins la proportion reste comparable aux niveaux rencontrés dans d'autres études ligériennes et devrait encore diminuer les prochains mois par la décroissance des émissions des matériaux.

préconisations pour réduire les concentrations en COV et aldéhydes

Au regard des résultats, la présence de COV et d'aldéhydes à réception du bâtiment et quelques mois après n'est pas surprenante. Les émissions des matériaux neufs mis en œuvre continuent d'émettre quelques mois, et l'occupation du bâtiment est une source de pollution supplémentaire.

Plusieurs actions pourraient être menées pour améliorer la qualité de l'air intérieur :

- augmenter les débits de ventilation à $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ sans atteindre un taux d'humidité relative inférieur à 40 %. La sur-ventilation nocturne à des débits de $2600 \text{ m}^3/\text{h}$ est également une solution intéressante.
- au sein du cahier des charges spécifiques aux produits d'entretien, proposer l'utilisation de produits à faibles émissions.
- stocker les produits solvants utilisés dans le laboratoire de maintenance dans un local spécifique ou dans une armoire étanche. L'installation d'une hotte avec extraction d'air pourrait également être envisagée pour réduire les émissions lors de l'utilisation des produits.

La réalisation d'une prochaine campagne de mesures des 30 COV ainsi que la mesure des émissions en COV par une technique innovante utilisant la cellule Flec® permettra de quantifier l'impact de la décroissance des matériaux et de mieux comprendre l'influence de l'occupation des bureaux. Par ailleurs, la persistance de l'acroléine sera évaluée.

l'entretien des locaux et la maintenance des systèmes

Pour réduire la source de pollution liée au nettoyage des bureaux et à la maintenance des systèmes, un cahier des charges spécifique a été rédigé. Les exigences prises en compte concernent notamment :

- le stockage du matériel et des produits,
- la qualité des produits utilisés,
- les conseils d'exécution des travaux,
- la fréquence et la nature des travaux.

Ces vigilances dans le choix des produits et des techniques participent au respect de la santé des personnels de ménage et limiteront notamment les risques d'allergies et de rhinites. La mise en place de ces bonnes pratiques n'est à ce jour pas effective. Elle devrait l'être à partir du 15 octobre 2015.

le stockage du matériel et des produits

Pour réduire le risque d'émissions des produits d'entretien, Air pays de la Loire met à la disposition du titulaire du contrat d'entretien une armoire spécifique au stockage des produits. Par ailleurs, il est demandé que les contenants ouverts soient refermés après usage. Le stockage en vrac de produits pulvérulents est également interdit.

la qualité des produits utilisés

Les produits d'entretien utilisés pour le nettoyage des mobiliers et du sol par autolaveuse doivent respecter les exigences suivantes :

- absence de composés Cancérogènes, Mutagènes et Reprotoxiques (CMR) et de métaux lourds,
- absence de substances classées T et/ou T+ et irritantes,
- absence de parfum si possible,
- absence de parabènes,
- teneur en COV faible : < 1 g/L,
- biodégradabilité élevée et limitant l'eutrophisation des eaux,
- emballage réutilisable ou rechargeable constitué de matériaux recyclables.

Il est également recommandé d'utiliser des produits multi usages afin de limiter le nombre de produits. Enfin, ils doivent répondre à minima aux exigences de l'Ecolabel européen.

Pour les **produits désinfectants** à destination des sanitaires uniquement, l'usage de substances chlorées est prohibé. L'utilisation de produits à base d'acide paracétique ou de peroxyde d'hydrogène est privilégiée.

Pour les **surfaces vitrées**, l'usage de produits labellisées « Ecolabel européen » est privilégié. La présence d'éther de glycol est prohibée.

Enfin, le dépoussiérage des surfaces est assuré par l'utilisation de lingettes microfibres.

les conseils d'exécution des travaux

Lors d'activités de ménage, pour améliorer le confort des salariés, l'aération des locaux est souhaitée, dans la limite des conditions climatiques extérieures. Le titulaire du marché doit ainsi mettre en œuvre des moyens pour supprimer les odeurs (toilettes, poubelles...) en n'utilisant pas de désodorisants.

Par ailleurs, l'usage d'un balai vapeur pour le sol est exigé pour réduire les sources de pollution chimique. L'utilisation d'un aspirateur à filtre HEPA est également demandé pour limiter la remise en suspension des poussières, contrairement à un balai.

En cas de moisissures visibles, le titulaire doit également prévenir Air Pays de la Loire pour valider le protocole de traitement.

la fréquence et la nature des travaux

Pour limiter l'utilisation de produits chimiques au quotidien, un planning des opérations de nettoyage a été mis en œuvre.

Ainsi, les opérations à effectuer s'inscrivent dans une périodicité limitant l'usage de produit chimique.

La fréquence des travaux d'entretien suit les exigences suivantes :

Travaux journaliers	Travaux réguliers, selon nécessité	Travaux mensuels	Travaux semestriels	Travaux annuels
<p>Bureaux, accueil et circulation</p> <ul style="list-style-type: none"> - vidage des corbeilles ; - remplacement des sacs poubelles biodégradables aussi souvent que nécessaire - dépoussiérage du mobilier jusqu'à hauteur d'homme, des objets meublants - dépoussiérage des appareils téléphoniques et micro-ordinateur - aspiration des sols ou nettoyage avec l'utilisation d'un balai vapeur - fermeture des stores, des portes et fenêtres ; <p>Salles de réunion et box</p> <ul style="list-style-type: none"> - vidage des corbeilles ; - remplacement des sacs poubelles biodégradables aussi souvent que nécessaire - s'assurer de l'état de propreté des locaux : les tables devront être dépoussiérées, le mobilier en place. - le nettoyage des sols sera assuré selon la nécessité, au moins après utilisation de la salle (aspiration des sols ou nettoyage à l'utilisation d'un balai vapeur) <p>Au minimum un nettoyage hebdomadaire sera exigé</p> <p>Locaux techniques et laboratoires</p> <ul style="list-style-type: none"> - vidage des corbeilles ; - remplacement des sacs poubelles biodégradables aussi souvent que nécessaire - dépoussiérage du mobilier jusqu'à hauteur d'homme (uniquement lorsque les paillasses son vides) - aspiration des sols ou nettoyage avec l'utilisation d'un balai vapeur - fermeture des stores, des portes et fenêtres ; <p>Sanitaires</p> <ul style="list-style-type: none"> - vidage des réceptacles et enlèvement des déchets ; - nettoyage des traces sur les portes, les poignées, les murs, la faïence ; - nettoyage et désinfection des appareils sanitaires et lavabos y compris les robinetteries, miroirs, tablettes ; - mise en place et renouvellement des fournitures sanitaires ; - aspiration des sols ou nettoyage avec l'utilisation d'un balai vapeur <p>Local de convivialité</p> <ul style="list-style-type: none"> - vidage des poubelles - aspiration des sols ou nettoyage avec l'utilisation d'un balai vapeur - nettoyage des tables, plan de travail et chaises - nettoyage quotidien de la zone cuisine (hors vaisselles) 	<ul style="list-style-type: none"> - lavage des corbeilles ; - enlèvement des fils de poussière ou toiles d'araignée ; - détachage des sièges, fauteuils... - nettoyage des traces sur portes, etc. ; - nettoyage des appareils lumineux ; - nettoyage des miroirs ; - dépoussiérage des extincteurs ; - nettoyage des murs et des plafonds à l'aide d'une éponge blanche (éponge « magique »). 	<p>Bureaux, accueil et circulation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - monobrosse (autolaveuse) pour les sols <p>Local de convivialité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - nettoyage et désinfection du frigo - nettoyage et désinfection du micro-onde <p>Sanitaires</p> <ul style="list-style-type: none"> - entretien des réceptacles hygiéniques - récurage et détartrage des éléments sanitaires - nettoyage des bouches d'aération 	<ul style="list-style-type: none"> - nettoyage des vitrages intérieurs et extérieurs - nettoyage des portes - nettoyage approfondi des claustras et bibliothèque - nettoyage au-dessus des armoires hautes supérieures à 2,20 m 	<ul style="list-style-type: none"> - aspiration des traitements acoustiques « Buzzispace » (bureaux, dos d'armoires et panneaux muraux) - aspiration des dessus des plafonds acoustiques - balayage et nettoyage haute pression de la cours privative

la maintenance du système de ventilation

Pour garantir le bon fonctionnement et la performance du système de ventilation pour la qualité de l'air intérieur, le changement semestriel des filtres est nécessaire.

Pour le maintien d'un renouvellement d'air optimal et d'une qualité de l'air satisfaisante, les filtres seront remplacés tous les 6 mois et les gaines nettoyées tous les 5 ans.

Le chauffage et la ventilation suivent le protocole de maintenance spécifique au décret 2010-349 relatif à l'inspection des systèmes de climatisation et des pompes à chaleur réversibles.

l'adaptation des comportements

La performance des bureaux d'un point de vue thermique, acoustique, mais également au niveau de la qualité de l'air intérieur occasionne différentes interrogations de la part des salariés :

- devons-nous ouvrir les fenêtres ?
- est-il encore possible d'ouvrir les fenêtres ?
- sommes-nous source de pollution ?
- peut-on modifier le fonctionnement de la ventilation si l'air est trop sec ?
- pouvons-nous modifier les températures de consigne ?
- les bureaux sont-ils garants d'une bonne qualité de l'air intérieur ?
- et si j'ai froid, que ce passe-t-il ?

En effet, les performances environnementales et sanitaires des nouveaux locaux doivent être en adéquation avec les futurs usages.

De ce fait, quelques conseils ont été transmis aux salariés. Ils sont notamment les suivants :

Ventilation, chauffage, humidité et CO₂ :

→ n'hésitez pas à aérer. Le bâtiment dispose d'une ventilation double flux qui extrait les polluants, mais il n'est pas interdit d'ouvrir les fenêtres. Par ailleurs, l'aération est importante, vous pouvez continuer d'aérer environ 10 min par jour.

→ si vous avez trop chaud, trop froid, les boîtiers de commande sont accessibles. Vous pouvez modifier les températures de consigne pour la journée. Elles sont remises à l'état initial chaque nuit.

COV et aldéhydes

→ il n'est pas interdit de vous parfumer, vous pouvez conserver vos habitudes de vie.

→ les produits solvants doivent de préférence être stockés dans des armoires dédiées et étanches.

→ l'utilisation de bougies, diffuseurs d'ambiance, encens sont interdits. Ces utilisations sont sources d'émissions de COV et aldéhydes.

bilan de la phase exploitation

L'évaluation de la qualité de l'air intérieur en phase exploitation à travers la réalisation des mesures permet de :

- mettre en perspective l'ensemble des dispositions prises en phases conception et chantier,
- comprendre et qualifier l'impact de l'activité courante des locaux, notamment liée à la présence des salariés,
- comprendre et qualifier l'impact des activités de nettoyage et de maintenance des bureaux.

Pour Air Pays de la Loire, dans les conditions de mesures déterminées précédemment, l'évaluation de la QAI a révélé **une qualité de l'air satisfaisante** au regard de l'activité des bureaux et des émissions des matériaux encore importantes après la livraison du bâtiment.

On note notamment, un air intérieur très peu confiné et dont les paramètres de confort hygrothermiques sont satisfaisants. Par ailleurs, les concentrations en COV et aldéhydes mesurées ne mettent en avant aucun dépassement des valeurs guides en vigueur, malgré une concentration en benzène mesurée dans l'open space 1 supérieure à la valeur guide de 2016.

Pour rendre perfectible la qualité de l'air intérieur des bureaux, il est maintenant nécessaire de :

- mettre en place le nouveau protocole de nettoyage des bureaux, à partir du 15 octobre 2015
- être rigoureux dans les opérations de maintenance des bureaux, notamment le changement régulier des filtres
- en journée, augmenter les débits de ventilation à 2000 m³/h sans atteindre un taux d'humidité relative inférieur à 40 %. La surventilation nocturne à des débits de 2600 m³/h est également une solution intéressante.

La phase de mesures spécifiques aux émissions de surface des matériaux de construction, permettra, à l'aide de la cellule Flec®, de quantifier la décroissance des émissions des matériaux, notamment ceux à base de bois qui seraient responsables d'une partie des émissions en aldéhydes. Notons que cette phase de mesure a démarré fin juillet et devrait se terminer en octobre 2015.

conclusions et perspectives

La prise en compte de la qualité de l'air intérieur dans l'aménagement des bureaux d'Air Pays de la Loire depuis la conception du bâtiment jusqu'à son exploitation met en avant l'importance de 3 étapes pour la bonne prise en compte de la QAI dans des projets de construction :

- la phase conception, et notamment l'élaboration des CCTP qui nécessite la description précise des matériaux à utiliser dans des documents de marché.
- la phase chantier et le besoin d'échanges réguliers avec les compagnons et le contrôle en permanence, notamment lors de la mise en œuvre des matériaux. La réalisation de mesures régulières est également importante et a permis de suivre l'impact des travaux selon l'avancement du projet et d'en dégager des actions correctives. A travers la réalisation des mesures, un ensemble de conseils et recommandations ont été identifiés, pouvant servir de référence pour la conception et la réalisation de nouveaux projets.
- l'usage des locaux et l'ajustement en continu des équipements pour le confort du personnel et la pérennité de la performance du bâtiment.

À réception du bâtiment, les mesures réalisées ont mis en avant une qualité de l'air satisfaisante au regard de l'activité des bureaux et des émissions des matériaux encore importantes après la livraison du bâtiment.

Pour rendre perfectible la qualité de l'air des bureaux, dès à présent, des actions d'amélioration pourront être prévues, telles que la mise en place du protocole de nettoyage, la régularité dans les actions de maintenance des équipements de ventilation, etc.

Une campagne de mesures 6 mois puis 1 an après la réception ainsi qu'une campagne spécifique aux émissions des matériaux de construction seront réalisées pour l'ensemble des polluants et permettront d'évaluer la décroissance des émissions au fil du temps.

La performance énergétique du bâtiment fera également l'objet d'un suivi et sera couplée à la performance QAI.

À l'issue de cette expérience, Air Pays de la Loire retient 4 enseignements essentiels à la réalisation de projets où la qualité de l'air intérieur est une des priorités.

- de nombreux efforts sont à fournir dès l'étape de conception, puis en chantier et également en phase exploitation. Il s'agit d'un investissement permanent.
- l'accompagnement des acteurs de la construction (architectes, entreprises) est indispensable à la réalisation de ce type de projet novateur. La thématique est en développement et nécessite une expertise spécifique, tant sur le choix des matériaux, le fonctionnement des équipements, les usages, les impacts sur les mesures ou encore sur les solutions de remédiations.
- malgré une considération forte de la qualité de l'air intérieur à chaque phase d'un projet de construction, le « zéro émission » n'existe pas. Un bâtiment neuf est source de pollutions, l'objectif consiste à les réduire au maximum.
- pour vouloir atteindre une performance, il faut avant tout fixer des objectifs et considérer les compromis à réaliser. La qualité de l'air intérieur n'est qu'un critère de l'approche holistique d'un projet de construction ou de rénovation.

Au-delà des mesures, le conseil et le suivi sont des éléments clés pour la réussite des projets air intérieur, pour lesquels Air Pays de la Loire, fort de son expérience, peut apporter son expertise.

annexes

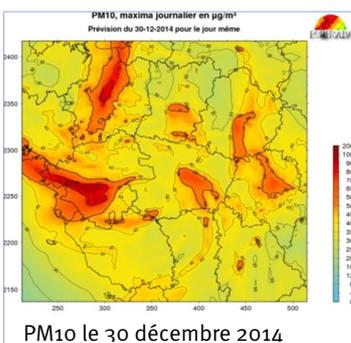
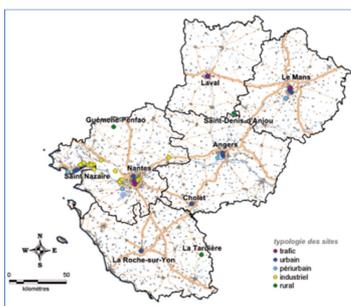
- annexe 1 : Air Pays de la Loire
- annexe 2 : caractéristiques complémentaires de la ventilation
- annexe 3 : résultats paramètres hygrothermiques
- annexe 4 : résultats concentrations en COV
- annexe 5 : résultats concentrations en aldéhydes
- annexe 6 : résultats OFFICAIR

annexe 1 : Air Pays de la Loire

Dotée d'une solide expertise riche de trente ans d'expérience, Air Pays de la Loire est agréée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie pour surveiller la qualité de l'air de la région des Pays de la Loire. Air Pays de la Loire regroupe de manière équilibrée l'ensemble des acteurs de la qualité de l'air : services de l'État et établissements publics, collectivités territoriales, industriels et associations et personnalités qualifiées.

Air Pays de la Loire mène deux missions d'intérêt général : surveiller et informer.

surveiller pour savoir et comprendre



l'air de la région sous haute surveillance

Fonctionnant 24 heures sur 24, le dispositif permanent de surveillance est constitué d'une trentaine de sites de mesure, déployés sur l'ensemble de la région : principales agglomérations, zones industrielles et zones rurales.

mesurer où et quand c'est nécessaire

Air Pays de la Loire s'est doté de systèmes mobiles de mesure (laboratoires mobiles, préleveurs...). Ces appareils permettent d'établir un diagnostic complet de la qualité de l'air dans des secteurs non couverts par le réseau permanent. Des campagnes de mesure temporaires et ciblées sont ainsi menées régulièrement sur l'ensemble de la région.

la fiabilité des mesures garantie

Les mesures de qualité de l'air consistent le plus souvent à détecter de très faibles traces de polluants. Elles nécessitent donc le respect de protocoles très précis. Pour assurer la qualité de ces mesures, Air Pays de la Loire dispose d'un laboratoire d'étalonnage, airpl.lab accrédité par le Cofrac et raccordé au Laboratoire National d'Essais.

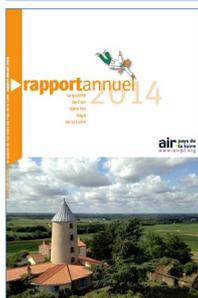
simuler et cartographier la pollution

Pour évaluer la pollution dans les secteurs non mesurés, Air Pays de la Loire utilise des logiciels de modélisation. Ces logiciels simulent la répartition de la pollution dans le temps et l'espace et permettent d'obtenir une cartographie de la qualité de l'air. La modélisation permet par ailleurs d'estimer l'impact de la réduction, permanente ou ponctuelle, des rejets polluants. Elle constitue un outil d'aide à la décision pour les autorités publiques compétentes et les acteurs privés.

prévoir la qualité de l'air

Si le public souhaite connaître la pollution prévue pour le lendemain afin de pouvoir adapter ses activités, les autorités politiques ont, elles, besoin d'anticiper les pics de pollution pour pouvoir prendre les mesures adaptées. En réponse à cette attente, Air Pays de la Loire réalise des prévisions de la pollution atmosphérique grâce à la plateforme interrégionale ESERALDA.

informer pour prévenir



pics de pollution : une vigilance permanente

En cas d'épisode de pollution, une information spécifique est adressée aux autorités publiques, aux médias et à tous les internautes inscrits gratuitement. Suivant les concentrations de pollution atteintes, le préfet de département prend, si nécessaire, des mesures visant à réduire les émissions de polluants (limitations de vitesse, diminution d'activités industrielles...)

sur Internet : tous les résultats, tous les dossiers

Le site Internet www.airpl.org donne accès à de très nombreuses informations sur la qualité de l'air des Pays de la Loire. Elles sont actualisées toutes les heures. On y trouve les cartes de pollution et de vigilance, les communiqués d'alerte, les indices de la qualité de l'air, les mesures de pollution heure par heure, les actualités, toutes les publications d'Air Pays de la Loire...

annexe 2 : caractéristiques complémentaires de la ventilation

le confort acoustique du système

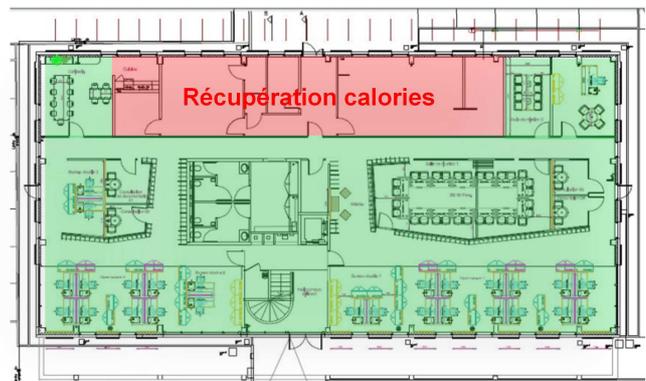
Pour optimiser un système de ventilation, la présence de silencieux est recommandée. En effet, même si la qualité acoustique de l'enveloppe d'un bâtiment est très satisfaisante, les performances acoustiques des bureaux peuvent diminuer dans le cas où les entrées et sorties d'air ne sont pas munies de silencieux. Elles deviennent ainsi des passages du bruit extérieur vers le bâtiment.

Le travail des salariés étant par ailleurs effectué en open space où le confort acoustique est un paramètre important, il était important de ne pas détériorer les conditions de travail par le fonctionnement des appareils. Ainsi, le bruit du système mis en œuvre n'excède pas 36 dB en journée, dans un fonctionnement nominal (sans surventilation).

la récupération de calories

Le système de ventilation double flux permet une récupération des calories de l'air vicié pour préchauffer ou refroidir l'air neuf entrant dans le bâtiment.

Par ailleurs, afin d'optimiser la performance énergétique, les bureaux d'Air Pays de la Loire disposent d'une climatisation dite DRV – Débit Réfrigérant Variable, permettant de chauffer et de rafraîchir simultanément différents locaux d'un bâtiment par récupération de calories (zone rouge). En effet, les calories nécessaires pour chauffer les locaux l'hiver sont produites sans surcoût par la récupération des calories produites pour refroidir les laboratoires et le local serveur (zone rouge).



annexe 3 : paramètres hygrothermiques

		Moyenne			MIN			MAX		
		CO2 (ppm)	T (°C)	HR (%)	CO2 (ppm)	T (°C)	HR (%)	CO2 (ppm)	T (°C)	HR (%)
Phase 1 Clos couvert	OP1	273	20	80	248	19	74	314	22	82
	OP2	270	20	78	250	19	72	299	22	81
	Labo	324	20	80	286	19	76	355	21	81
Phase 2 Résine Epoxy	OP1	378	25	49,8	341	23,9	35,4	425	26,6	58,4
	OP2	377	25	49,3	347	23,6	31,8	411	28,1	57,9
	Labo	365	24,5	50,4	332	23,6	35,2	401	25,5	58
Phase 3 Second œuvre	OP1	Pas de mesure			Pas de mesure			Pas de mesure		
	OP2	Pas de mesure			Pas de mesure			Pas de mesure		
	Labo	Pas de mesure			Pas de mesure			Pas de mesure		
Phase 4 Ventilation	OP1	372	20,3	47,5	350	18,7	28,1	459	24	63,1
	OP2	390	19,4	51	367	18,3	30,4	478	23,9	64,7
	Labo	388	18,3	53,2	378	16,7	38,2	483	20,2	67
Phase 5 Mobilier	OP1	368	21	29,2	354	19	23,6	442	22,3	34,4
	OP2	397	19,8	31,1	381	18,8	25,5	531	20,9	37,3
	Labo	404	18,4	34,1	388	17,5	26,6	473	19,5	40,8
Phase 6 Occupants	B Llx	472	20,7	40,3	370	19,6	25,6	1223	23,5	53,7
	S Pomme	421	21,6	36,4	378	20,7	18,1	1520	24,6	51,3
	OP2	444	23	34,6	342	21,4	20,7	820	25,8	47,5

L'indice de confinement ICONNE est alors calculé suivant la formule :

$$ICONNE = \left(\frac{2,5}{\log_{10}(2)} \right) \log_{10}(1 + f_1 + 3f_2)$$

$$f_1 : \text{proportion de valeurs comprises entre 1000 et 1700 ppm} \left(f_1 = \frac{n_1}{n_0 + n_1 + n_2} \right)$$

$$f_2 : \text{proportion de valeurs supérieures à 1700 ppm} \left(f_2 = \frac{n_2}{n_0 + n_1 + n_2} \right)$$

annexe 4 : concentrations en COV

		Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m-p xylène	o xylène
Phase 1 Clos couvert	Ext	0,7	0,8	0,2	0,6	0,3
	OP1	1,1	4,4	14	52,2	23,4
	OP2	1,1	5,1	15,9	59,2	26,4
	Labo	1	4,7	15,1	55,9	24,8
Phase 2 Résine Epoxy	Ext	1,3	1,4	0,4	0,9	0,3
	OP1	1,6	31,6	87,5	329	73,6
	OP2	1	22,8	106,4	329	89,2
	Labo	1	24,5	100,7	329	87,1
Phase 3 Second œuvre	Ext	0,7	1,1	0,2	0,5	0,3
	OP1	1,9	14,4	32,8	100,5	20
	OP2	1,7	10,5	36,3	111,2	22,3
	Labo	1,2	8,6	33	102,1	21
Phase 4 Ventilation	Ext					
	OP1	1,06	2,33	5,68	6,46	4,62
	OP2					
	Labo	1,33	1,45	5,77	6,31	5,03
Phase 5 Mobilier	Ext					
	OP1	2,11	5,4	4,77	5,89	3,82
	OP2	1,4	5,5	5,5	18,8	6,1
	Labo	2,08	2,69	4,01	6,01	3,45
Phase 6 Occupants	Ext	0,9	1,6	0,1	0,2	0,1
	OP1	2,2	3,6	4,5	14,9	2,9
	OP2	1,5	4,7	9,9	36,3	6,3
	Labo	1,4	4	12,5	42	7,5
	B Llx	1,8	3,6	6,8	22,6	4,3
	S Pomme	1,5	4,9	4,5	11,3	1,8

annexe 5 : concentrations en aldéhydes

		Formaldéhyde	Acéaldéhyde	Propanal	Butanal	Benzaldéhyde	Isopentana l	Pentanal	Hexanal
Phase 1 Clos couvert	OP1	2,2	7,8	1,8	17,9	0,4	2,1	2,3	13,3
	OP2	2,5	8,7	2,1	19,1	0,4	2,7	3,3	15
	Labo	2,2	7,9	1,8	18,1	0,4	2,1	2,5	12,6
Phase 2 Résine Epoxy	OP1	37,3	49,8	75,9	18,2	17,2	10,1		63,4
	OP2	39,7	55,1	84,9	19,6	19,1	10,6		69,2
	Labo	37,8	49,4	75,1	18,8	17,1	10,2		62,7
Phase 3 Second œuvre	OP1	68,7	19,2	31,9	10,6	6,2	9,7	9,6	58
	OP2	74,5	19,1	32,2	10,7	6	9,6	10,9	58,7
	Labo	90,5	17,2	28	9,8	5,1	8,4	9,8	59
Phase 4 Ventilation	OP1	23,4	4,6	24,9		1,2			
	OP2								
	Labo	32,2	2,8	30,9		1,9			
Phase 5 Mobilier	OP1	17,6	4,95	29,9	3,8	1,25	0,8	2,2	16,8
	OP2	18	4,5	4,8	4	1,4	0,7	1,7	13,7
	Labo	23,05	3,9	4,1	2,4	1	0,8	1,7	14,4
Phase 6 Occu pants	OP1	19,5	7,7	6,9	5,1	1,05	0,9	3,4	19,8
	OP2	24	9,5	8,6	5,9	1,1	1	4,1	25
	Labo	23,6	7,6	4,8	4,3	1,15	0,7	2,3	17,2
	B Llx	21,8	7	6,4	5,5	0,9	0,7	3,1	19,6
	S Pomme	11	4,1	4,6	4,2	0,4	0,4	1,8	8,2

annexe 6 : résultats OFFICAIR

Tableau 2. Concentrations intérieures ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesurées dans les immeubles de bureaux du projet OFFICAIR en fonction des saisons (sélection de quelques polluants)

	ÉTÉ		HIVER	
	Médiane tous immeubles (n=37)	Médiane immeubles français (n=9)	Médiane tous immeubles (n=35)	Médiane immeubles français (n=9)
Benzène *	0,95	2,2	1,8	1,5
Toluène	4,7	15	3,3	2,8
Ethylbenzène	1,1	2,7	1,0	0,9
Xylènes	2,5	3,5	2,2	2,2
n-hexane	1,4	3,0	1,2	1,1
α -pinène	3,0	3,5	4,3	3,7
Limonène	3,9	4,5	16	16
Formaldéhyde *	14	16	7,5	6,4
Acétaldéhyde	6,1	6,3	4,5	3,5
Propionaldéhyde	2,4	2,4	1,2	0,9
Hexanal	10	12	4,4	4,6
Dioxyde d'azote	16	13	18	19
Ozone	5,6	1,8	< 0,8	1,9
PM _{2,5} **	9,2	/	16	/

* : Valeurs guides pour une exposition de longue durée égales à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le benzène à compter du 1er janvier 2013 et à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le formaldéhyde à compter du 1^{er} janvier 2015 (Décret no 2011-1727 du 2 décembre 2011)

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

bibliographie

- [1] Guide d'application pour la surveillance du confinement de l'air dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de loisirs, CSTB, (2012)
- [2] Campagne pilote : 90 logements et 9 écoles, rapport final, OQAI (2004)
- [3] Bâtir pour la santé des enfants, Suzanne DEOUX, (2010)
- [4] Construire sain, guide à l'usage des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre pour la construction et la rénovation, Ministère du Développement Durable et du Logement, (2013)
- [5] Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur - Document cadre et éléments méthodologiques, ANSES, (2014)
- [6] Exposition par inhalation au benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes (BTEX) dans l'air, INERIS (2004)
- [7] Tableau de synthèse des Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur publiées, ANSES (2013)
- [8] Guide de gestion de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public. Guide pratique, Ministère de la santé, INVS, (2010)
- [9] Réalisation d'un outil d'évaluation santé-environnement d'un projet de maison individuelle au stade conception, Diplôme de Recherche Technologique, Karine PIERRE, (2012)
- [10] Résultats de la campagne OFFICAIR, OQAI, 2014
- [11] Rapports des campagnes de mesure air intérieur d'Air Pays de la Loire, disponibles sur www.airpl.org



air pays de la loire

5 rue Édouard-Nignon – CS 70709 – 44307 Nantes cedex 3

Tél + 33 (0)2 28 22 02 02

Fax + 33 (0)2 40 68 95 29

contact@airpl.org

air | pays de
la loire
www.airpl.org