

**Ventilation naturelle pour le confort thermique d'été**  
**dans des bâtiments de bureaux « performants »**

Été 2022

Rapport d'étude final, 23 janvier 2023

Robert Célaire, Loïc Frayssinet, Khedidja Mamou, Thierry Rieser et Benoit Ramos

Ce travail a été commandité par l'association EnvirobatBDM

Il a été réalisé par l'équipe pluridisciplinaire suivante :

- Robert Celaire, ingénieur conseil en conception bioclimatique, efficacité énergétique et QEB, ancien maître de conférence ENSAM.
- Loïc Frayssinet, docteur-ingénieur, expert en suivi du comportement thermique et énergétique des bâtiments et en analyse du confort.
- Khedidja Mamou, architecte et sociologue, enseignante chercheuse à l'ENSAM, directrice du laboratoire de recherches LIFAM. Travaille notamment sur des questions de confort dans l'habitat et accompagne des dispositifs participatifs.
- Thierry Rieser, ingénieur, expert en efficacité énergétique, gérant du bureau d'études Enertech Scop, structure référente dans les bâtiments à très faible consommation d'énergie et dans le suivi instrumenté des bâtiments.
- Benoit Ramos, architecte acousticien.

Loïc Frayssinet a assuré la coordination de cette équipe.

Cette étude a bénéficié du suivi et des remarques et amendements de plusieurs membres de l'équipe d'EnvirobatBDM sous la coordination de Carlos Vazquez.

#### Notice de lecture :

*La formalisation de la restitution des résultats suit l'approche utilisée pour l'étude, celle de regarder le monde technique depuis la perspective qu'en ont les usagers, et non l'inverse. Nous avons fait le choix de partir des pratiques et représentations et de regarder les aspects techniques (mesures, spécificités conceptuelles des bâtiments, installations et dispositifs techniques, etc.) depuis leur point de vue.*

*Pour permettre une recherche d'information ciblée, des encadrés spécifiques ont été mis en place. Vous retrouverez :*

*Les **préconisations** dans les encadrés bleus*

*Des **retours théoriques et techniques** dans des encadrés rouges*

*L'**analyse détaillée des mesures** dans les encadrés verts*

# Table des matières

1- Quelques éléments d'introduction .....	5
1.1- Rappel de l'étude : partir des pratiques et des représentations .....	5
1.2- Six cas d'études de bâtiments de bureaux "performants" .....	8
1.3- Méthodologie croisée : enquête sociologique et mesures.....	12
L'enquête sociologique.....	12
... Appuyée par une campagne de mesures .....	13
2- Les divergences entre pratiques réelles et anticipées .....	15
2.1- Des perceptions plurielles du confort et des variétés de normes .....	15
Limites de l'approche normative du confort.....	18
2.2- La part des défauts de conception ou de réalisation .....	18
2.3- "Avoir de l'air" .....	22
Ouvrir !.....	23
2.4- Occupations : taux et modes .....	28
La fréquence d'occupation.....	29
Migrations : « aller travailler là où c'est plus confort ».....	30
Freins à la pratique de migration.....	30
3- Les dispositifs techniques et le rapport à la technique .....	32
3.1- Flou général .....	32
3.2- Une non-maîtrise à 2 niveaux.....	33
Méconnaissance et incompréhension des dispositifs .....	33
Et dépossession.....	34
4- Confort thermique d'été : ouvrir, fermer... (se) rafraîchir .....	37
4.1- Préconisations/principes/consignes.....	37
4.2- Ouvrir la "nuit", ou plus exactement quand il fait encore plus frais dehors que dedans .....	40
Les fenêtres sur l'extérieur .....	40
Les portes intérieures .....	50
4.3- Fermer la journée .....	51
Fenêtres.....	51
Portes.....	51
4.4- Limiter l'échauffement .....	52
Utiliser les protections solaires .....	52
Maîtriser les apports internes .....	53
4.5- (Se) Rafraîchir en journée .....	55
Que faire pour (se) rafraîchir ?.....	55
Se rafraîchir par des installations techniques .....	55

D'autres méthodes ou techniques ?.....	58
Conclusion .....	60
Synthèse de l'esprit de l'étude .....	60
Synthèse du point de vue organisationnel.....	61
Synthèse du point de vue technique .....	61
Annexe : points de vigilance sur l'acoustique .....	63

# 1- Quelques éléments d'introduction

## 1.1- Rappel de l'étude : partir des pratiques et des représentations

Nous sommes, en ce début de 21ème siècle, face à une série de constats :

- Celui du réchauffement climatique : la Planète surchauffe, ce qui occasionne, à l'échelle globale, des crises écologiques et humaines ; et « on a trop chaud », ce qui génère des problématiques d'inconfort parfois aigus.
- Celui d'une augmentation et d'une généralisation de l'usage de la climatisation par compression<sup>1</sup> qui génère des surconsommations d'énergie qui contribuent à ce réchauffement climatique à la fois en raison des émissions de gaz à effet de serre liées à la production d'électricité pour alimenter la consommation d'énergie des climatiseurs. On peut rajouter aussi l'impact lié au réchauffement urbain de la chaleur dégagée par les unités extérieures des climatiseurs.
- Celui de recherche d'alternatives à la climatisation par compression moins consommatrices d'énergie et donc moins impactantes sur le plan écologique dont fait partie la ventilation naturelle architecturale dite « nocturne », c'est à dire la ventilation des bâtiments au moment où, en saison chaude, la température extérieure est suffisamment clémente pour pouvoir les rafraîchir.
- Dernier constat et non le moindre : de nombreux acteurs du bâtiment et experts techniques s'accordent à dire que les usagers ne semblent pas avoir les « bons comportements » pour tirer profit de ce potentiel gratuit de rafraîchissement de leur espace vital. Or, dans la vraie vie du bâtiment (après la conception et le chantier) la réalité est celle-ci : les utilisateurs d'un bâtiment le vivent depuis leur point de vue subjectif, sans forcément connaître l'intention des concepteurs (qui leur demandent rarement leur avis). Même dans des conditions techniques a priori optimales, les usagers peuvent ne pas s'approprier tous les dispositifs prévus à leur attention. Et il y a forcément des raisons à cela. Le choix du plan de cette étude veut aussi insister sur ces raisons, et regarder le monde technique depuis la perspective qu'en ont les usagers.

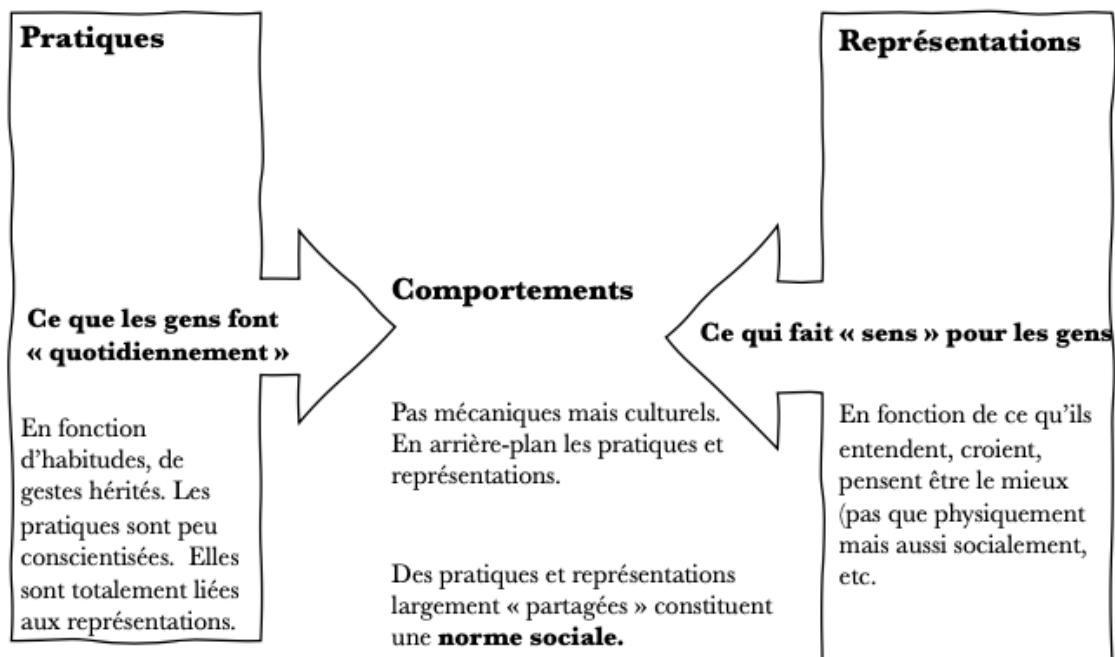
La présente étude a ainsi cherché à cerner un peu mieux de quoi relevaient les comportements des « usagers » en s'attachant à en prendre toute la mesure. Ceux-ci n'auraient pas les « bons comportements » par rapport aux principes de ventilation et par rapport à l'usage des dispositifs techniques qui permettent cette ventilation.

---

<sup>1</sup> La « climatisation par compression » souvent tout simplement appelée « climatisation » est une technologie de climatisation quasi universellement utilisée pour produire du froid et basée sur un cycle thermodynamique d'un fluide frigorigène : évaporation-compression-condensation-détente. Elle représente la très grande majorité des systèmes de climatisation installés pour toutes les échelles de puissance (de l'ordre de l'unité du kW froid jusqu'à des centaines de kW froid) avec des systèmes dits à détente directe (l'évaporation a lieu dans l'espace à refroidir) ou à eau glacée (l'évaporateur refroidit de l'eau qui elle va refroidir l'espace). Une autre technologie de climatisation très largement minoritaire est la « climatisation par absorption » dont le principe est similaire à une climatisation par compression à savoir qu'un fluide frigorigène circule entre un évaporateur et un condenseur mais dans ce cas le compresseur mécanique (alimenté généralement par de l'électricité) est remplacé par un compresseur thermo-chimique. Dans ces climatiseurs l'énergie est fournie au compresseur sous forme thermique et peut provenir de sources renouvelables (capteurs solaires thermiques), non renouvelables (gaz) ou par un système de cogénération.

Or si on connaît finalement peu de quoi relèvent ces comportements usagers, parler de comportement sous-entend dans tous les cas une approche répréhensible qui n'est pas constructive pour accompagner l'adaptation au réchauffement climatique.

En outre, si on remet en question les comportements des « usagers », on remet beaucoup moins en question les dispositifs techniques aussi bien en termes de pertinence, d'ergonomie que de communication aux acteurs qui sont censés y avoir recours. Pour espérer faire bouger des choses en termes de confort thermique d'été et par conséquent de consommation énergétique, il nous paraît utile de changer véritablement de perspective : les comportements relèvent plutôt de la manifestation de quelque chose qui s'inscrit en arrière-plan, à savoir, les pratiques, qui elles, sont culturelles, et constituent en elles la « norme » qu'il faut étudier. Ces pratiques se forment dans la durée, dans l'action et dans les esprits (représentations) : les gens font ce qu'ils pensent utile et pertinent (et c'est une forme de rationalité tout aussi pertinente en réalité que celle qui semble encadrer les dispositifs techniques, ou plus largement « le monde technique »), qui relèverait de l'intuition ou de l'expérience.



Nous nous sommes d'abord attachés à regarder, très simplement et pragmatiquement, comment des personnes vivent (individuellement et collectivement) un lieu, se l'approprient... ce qu'elles font pour avoir moins chaud, se rafraîchir. Nous nous sommes aussi intéressés aux raisons, conscientisées ou non, qui fabriquent telle ou telle pratique, et nous nous sommes également attachés à parler des représentations, qui relèvent parfois de croyances fortes. Il s'agissait aussi de repérer si les pratiques et représentations étaient homogènes ou pas, et si elles étaient spécifiques à certaines conditions/configurations architecturales, techniques, organisationnelles, etc.

Nous avons choisi de regarder les dispositifs techniques principalement à partir de cette focale. Dans la réalité, c'est en effet comme cela que les choses se passent. On peut avoir des conditions techniques a priori optimales mais des usages qui ne le sont pas du tout. Et il y a forcément des raisons à cet écart. Notons aussi que dans ces « usagers » on ne considère que ceux qui utilisent le bâtiment directement, quotidiennement, et pas ceux qui sont amenés à agir régulièrement : les techniciens en charge des dispositifs techniques notamment<sup>2</sup>, les personnes de passage (accueil de public notamment) ainsi que le personnel d'entretien.

Il s'est donc agi, dans cette étude, de mieux saisir les pratiques et représentations des habitants de ces espaces tertiaires en lien avec la ventilation « nocturne », en été. Nous nous sommes focalisés non seulement sur le confort thermique mais aussi sur le confort global. En effet, le bien-être (ou le mal-être) ressenti par un habitant est la synthèse multi-paramètre de stimulations diverses de son corps, de son état psychologique, de son vécu et de sa culture.

Dans cette étude, il a aussi été question de proposer aux usagers qui le souhaitaient de tester d'autres pratiques qu'ils jugeaient utiles à améliorer leur confort. Ces tests ont pu être mis en corrélation avec des mesures thermiques réelles.

La présente étude s'est focalisée, à la demande du commanditaire, sur la typologie architecturale d'espaces tertiaires de type « bureaux » pour les raisons suivantes :

- les bureaux représentent un enjeu macro énergétique et donc écologique majeur car ce sont les espaces les plus climatisés en termes de densité par rapport à d'autres typologies bâties (logements, écoles,...) ;
- les difficultés « techniques » à la faisabilité d'un rafraîchissement sans climatisation sont nombreux : standard de conditions de confort attendu par les usagers très exigeantes (24°C de température de consigne voire moins) lié à des pratiques énergivores sans doute héritées de standards internationaux, forts apports thermiques internes liés notamment à l'informatique ou à des éclairages artificiels souvent énergivores, surdimensionnés et sur utilisés, etc. ;
- les difficultés liées à des différences d'appréciation du confort entre personnes partageant un ou plusieurs espaces d'un même bâtiment ;
- les difficultés liées à des différences de capacité à intervenir sur le bâtiment pour améliorer son confort entre personnes partageant un ou plusieurs espaces d'un même bâtiment a fortiori lorsque l'intervention est moins « évidente » que celle consistant à faire du on/off sur une commande de climatisation ;

---

<sup>2</sup> Personnes qu'il serait intéressant d'interroger sur le sujet dans des études futures.

- les difficultés sans doute aussi liées à la distorsion entre usager de la climatisation et « payeur » de la facture induite ;
- Aussi, les modes d'occupation des espaces de travail ont été impactés par la COVID : fréquence d'occupation avec une forme de normalisation du télétravail, gestion des co-présences, réglementations sanitaires impactant fortement la ventilation naturelle (ouverture fenêtres), ...

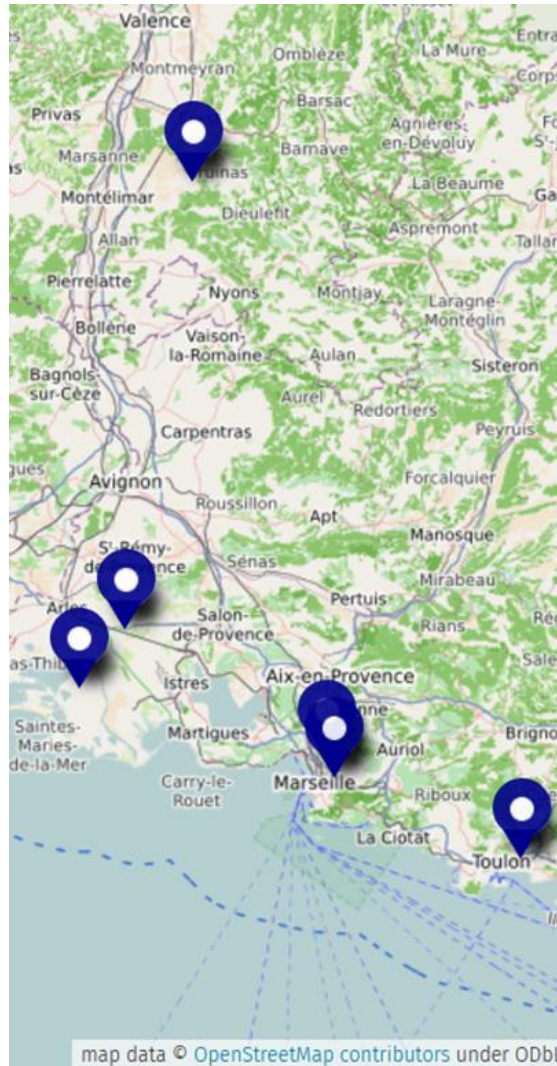
En conséquence, certaines préconisations pourraient être utilisées pour alimenter des réflexions dans d'autres typologies de bâtiments.

## 1.2- Six cas d'études de bâtiments de bureaux "performants"

Par bâtiments performants nous entendons que leur conception, leur réalisation et leur usage s'inscrivent dans une démarche visant à garantir un bien-être global aux usagers, une préservation de leur santé tout en intégrant divers enjeux environnementaux locaux et globaux telles que la maîtrise des consommations d'énergie, de fluides, de matières premières non renouvelables ainsi que la minimisation de l'impact sur les milieux, la préservation de la biodiversité, etc.

Pour 4 des 6 cas d'études cette performance a été reconnue à travers une qualification résultant de la démarche BDM (bâtiments durables méditerranéens), tandis que les deux autres n'ont pas reçu de qualification BDM pour l'un parce qu'il n'a pas déposé de dossier (mais ce bâtiment a été conçu de manière équivalente à un bâtiment du même site qui lui, a été qualifié) et pour l'autre parce qu'il n'est pas dans la zone géographique de la qualification, à savoir la région Sud.





*Localisation géographique des projets étudiés*

Nous tenons à remercier sincèrement les équipes de maîtrise d'œuvre, les maîtres d'ouvrages et les usagers des bâtiments qui ont accepté de nous ouvrir leurs portes et de nous consacrer du temps pour mener à bien cette étude. L'échantillon ainsi obtenu nous permet de couvrir une certaine diversité de typologie comme indiqué synthétiquement sur le tableau ci-dessous : des liens sont fournis pour obtenir plus de détails sur la conception de ces bâtiments.

<i>Bâtiment</i>	<b>Siège de la FBTP 83</b>	<u>Colinéo</u>	<u>Le Manier, les petits frères des Pauvres</u>	<u>Bureaux des services techniques de Saint Martin-de-crau</u>	<u>Bâtiment Luc Hoffman, Tour du Valat</u>	<u>LowCal, siège d'Enertech</u>
<i>Maître d'ouvrage</i>	FBTP83	Association Colinéo	Association des Petits Frères des Pauvres	Commune de Saint Martin de Crau	Fondation Tour du Valat	Enertech SCOP
<i>Architecte</i>	Marcel Roger	S. Brofiga / CRCT Provence	Jérôme Solari	Jean-Charles Franceschi	Atelier Ostraka	Pierre Traversier

<i>Ville</i>	La Valette-du-Var (83)	Marseille (13)	Marseille (13)	Saint Martin-de-crau (13)	Arles (13)	Pont-de-Barret (26)
<i>«Labélisation» ou qualification</i>	BDM Argent - usage (2011)	BDM Or - usage 2020	BDM Or - usage 2023	BDM Or - usage 2018	Equivalent à BDM hors conception	E4C2 ; BBCE Excellence ; BEPOS+
<i>Inertie</i>	Moyenne (dalle béton, ossature métallique)	Légère (ossature bois, chape sur isolant)	Moyenne (ITI brique chanvre, isolation périphérique)	Moyenne (ossature bois/prémurs béton, plancher interm. léger)	Forte (ITE sur mur existants)	Forte (béton + terre crue, structure bois isolation paille)
<i>Protections solaires</i>	Assez bonne Brise-soleil orientables (BSO) et brise-soleil fixes (BSF)	Moyenne Casquettes et stores de type « screen »	Bonne Treilles végétales et volets persiennés	Très bonne Grands platanes et BSO	Très bonne Arbres BSF et BSO	Très bonne BSO et volets bois
<i>Potentiel de ventilation naturelle<sup>3</sup></i>	Moyennement favorable : traversant mais présence de baies fixes	Favorable : traversant, ouvertures hauts	Favorable : traversant	Favorable : traversant	Très favorable : traversant, ouvertures dans chaque bureau, ventelles dans les portes intérieures	Favorable : traversant
<i>Open-space</i>	Non	Oui	Non	Non	Non	Non
<i>Localisation urbaine</i>	Péri-urbain peu dense	Zone agricole	Péri-urbain peu dense	Péri-urbain peu dense	Zone naturelle	Péri-urbain peu dense
<i>Environnement végétal</i>	Très faiblement végétalisé	Faiblement végétalisé	Fortement végétalisé – Présence de treilles végétales le long des abords	Végétalisé : arbres de haute tige caduques (platanes sur la périphérie)	Très végétalisé : arbres de haute tige caduques et arbres persistants, arbustes, strate herbacée	Faiblement végétalisé
<i>Traitement des sols</i>	Majoritairement bitumé	Pleine terre et stabilisé	Pleine terre et stabilisé	Partiellement bitumé et stabilisé	Essentiellement pleine terre	Partiellement stabilisé et pleine terre
<i>Îlot de chaleur local</i>	Moyen	Très faible	Très faible	Faible	Inexistant	Faible
<i>Environnement acoustique</i>	Bruyant	Calme	Calme	Moyennement bruyant	Très calme	Calme
<i>Brasseur d'air</i>	Non	Non	Non	Non	Oui	Non
<i>Climatisation</i>	Oui	Non	Non (rafraîchissement adiabatique)	Oui	Non	Non

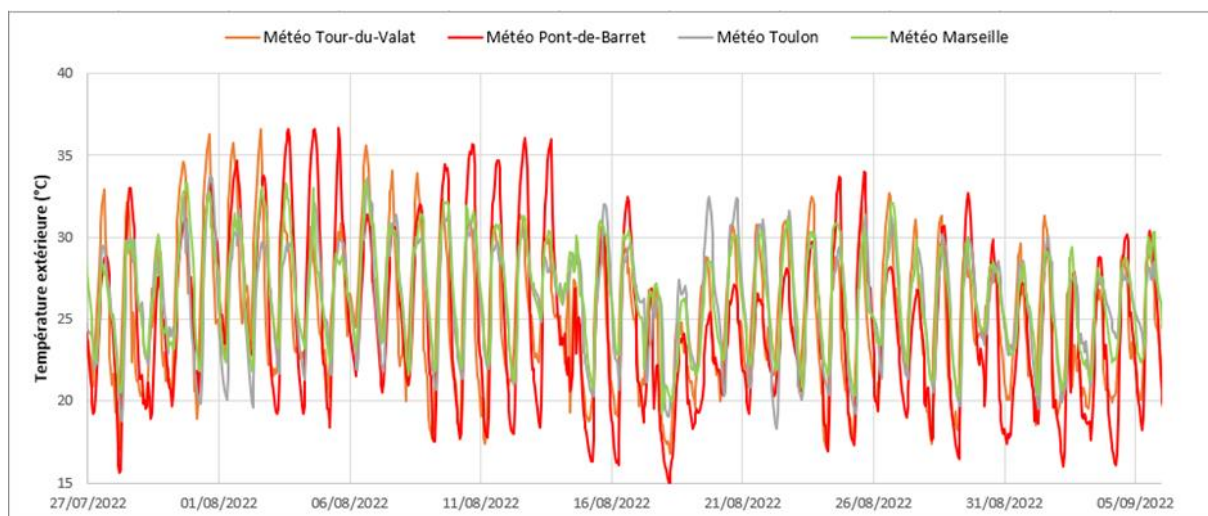
### *Description synthétique des cas d'études*

<sup>3</sup> Cela n'engage que l'avis des experts qui ont mené cette étude



*Aperçu des cas d'études*

D'un point de vue climatique, tous les projets sont soumis à un climat méditerranéen littoral relativement similaire sauf le projet situé dans la Drôme soumis à un climat un peu plus continental, se traduisant notamment, sur la période de mesure estivale, par des nuits sensiblement plus fraîches (entre 15°C et 20°C contre 20°C à 22°C), mais avec des pics de températures diurnes ponctuels plus marqués (35°C-36°C contre 33°C-34°C).



Comparaisons des données météorologiques issues des stations météorologiques les plus proches (sauf Pont-de-Barret, pour le LowCal, où les enregistrements sont réalisés sur site)

### 1.3- Méthodologie croisée : enquête sociologique et mesures

#### *L'enquête sociologique...*

Notre travail a fait l'objet pour chaque bâtiment d'enquête sociologique menée par un tandem architecte/sociologue et ingénieur. Cette enquête s'est déroulée entre fin juin et début octobre autour de 3 grands temps.

#### **(1) Entretiens individuels semi-directifs sur place + instrumentation.**

Ce premier temps de l'enquête nous a permis de réaliser un état des lieux en faisant un relevé et en échangeant avec les usagers présents sur le mode de l'entretien semi-directif, avec très peu de questions en tête, sinon l'envie de saisir simplement comment ceux-ci vivent le bâtiment.

Il s'agissait principalement de tenter de comprendre ce que les usagers font pour avoir moins chaud, pour se rafraîchir, etc. sans orienter nullement les types de réponses. Ces entretiens nous ont permis d'avoir un aperçu global des pratiques et représentations individuelles et de repérer des premiers freins et/ou pistes d'amélioration des conditions de confort. Ils ont aussi donné à voir des niveaux d'inconfort variés en fonction du cadre matériel de travail, mais aussi de la façon (individuelle et collective) de gérer la ventilation naturelle. *Nous avons réalisé ainsi entre 6 et 10 entretiens par bâtiment, pour la plupart entre fin juin et fin juillet.*

**(2) Réunion collective** (focus group) sur place et en visio, complétant collectivement le premier état des lieux et amenant le groupe à réfléchir à ce qu'il pourrait modifier pour améliorer le confort thermique d'été, et plus précisément mettre en place une meilleure ventilation naturelle « nocturne ». Ce temps nous a notamment permis de mesurer dans certains cas des écarts de perception importants entre usagers d'un même bâtiment. Il a permis à certains de prendre conscience de l'importance de la ventilation naturelle nocturne sur le confort thermique en été. *Chaque réunion a rassemblé entre 4 et 8 participants. Elles se sont déroulées entre fin juillet et mi-septembre, en fonction des cas étudiés.*

**(3) Réunion collective bilan + désinstrumentation** : ce dernier temps a permis de compléter, en y revenant, des éléments posés à l'occasion de la réunion précédente, de voir ce que les usagers avaient pu, ou non, mettre en place, de tenter de saisir ce qui faisait blocage, levier, etc. Ce temps bilan a permis de cerner l'importance d'une gestion collective de la ventilation naturelle nocturne afin d'améliorer le confort thermique d'été. *Chaque réunion bilan a rassemblé également entre 4 et 8 participants. Ces temps se sont déroulés entre fin septembre et début octobre.*



Temps 1	Temps 2	Temps 3
COMPRENDRE	PROPOSER de TESTER COLLECTIVEMENT	BILAN COLLECTIF
Comment chacun gère-t-il son confort au niveau individuel et collectif?	Retour sur le résultat du temps 1 et discussion autour de choses à tester à court terme au niveau des changements de pratiques	Retour sur les changements de pratiques : réussites, obstacles, ...
Entretiens individuels semi-directifs + Instrumentation	Entretien collectif/focus group	Entretien collectif/focus group + Désinstrumentation

*Synthèse des 3 temps de l'enquête sociologique*

*... Appuyée par une campagne de mesures*

La campagne de mesure mise en place avait pour objet d'appuyer l'étude sociologique (qualitative) en mettant celle-ci en regard de données quantitatives mesurables.

La période d'instrumentation est allée de fin juillet à fin septembre. Les données ont été enregistrées sur un pas de temps horaire.

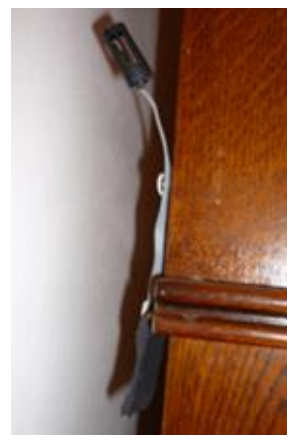


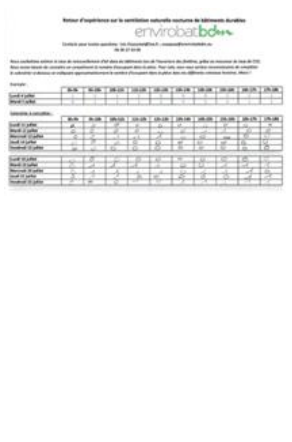
Plusieurs bureaux par bâtiment (selon les configurations et les possibilités) ont été instrumentés en température et hygrométrie.

Des feuilures-mètres ont également été installés sur certaines fenêtres pour connaître l'état d'ouverture et de fermeture dans le temps de celles-ci et donc pour connaître l'usage effectif de cette ventilation naturelle.

Enfin des sondes CO<sub>2</sub> ont été également installées dans les bureaux instrumentés avec pour objectif d'estimer le taux de renouvellement d'air lié à cette gestion des ouvrants.

L'occupation de certains bureaux a également été relevée à l'aide de « frises chronologiques horaires » fournies aux usagers.

Notons qu'il avait été prévu initialement d'aborder spécifiquement les problématiques d'acoustique, mais celles-ci n'étant pas ressorties lors de l'enquête, ce sujet n'apparaît pas spécifiquement dans le corps du rapport, mais a fait l'objet d'une note spécifique, jointe **en annexe**, présentant **les points de vigilance et les recommandations pour concilier acoustique et ventilation naturelle « matinale »**.

			 <p> <small>           Retour d'expérience sur la ventilation naturelle contrôlée de bâtiments durables            envirobat            Centre pour l'écologie, l'énergie et l'habitat            16-01-2016         </small> </p> <p> <small>           Cette fiche résume les données de mesure de la ventilation naturelle contrôlée de bâtiments durables, publiées en novembre 2015. Elle est destinée à être utilisée en complément de l'étude de cas de la ventilation naturelle contrôlée de bâtiments durables, publiée en novembre 2015. Elle est destinée à être utilisée en complément de l'étude de cas de la ventilation naturelle contrôlée de bâtiments durables, publiée en novembre 2015.         </small> </p> <p> <small>           Auteur :         </small> </p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Local</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> <th>12</th> <th>13</th> <th>14</th> <th>15</th> <th>16</th> <th>17</th> <th>18</th> <th>19</th> <th>20</th> <th>21</th> <th>22</th> <th>23</th> <th>24</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Local 1</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 2</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 3</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 4</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 5</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 6</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 7</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 8</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 9</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 10</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 11</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 12</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 13</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 14</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 15</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 16</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 17</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 18</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 19</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 20</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 21</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 22</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 23</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>Local 24</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>	Local	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Local 1																										Local 2																										Local 3																										Local 4																										Local 5																										Local 6																										Local 7																										Local 8																										Local 9																										Local 10																										Local 11																										Local 12																										Local 13																										Local 14																										Local 15																										Local 16																										Local 17																										Local 18																										Local 19																										Local 20																										Local 21																										Local 22																										Local 23																										Local 24																									
Local	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Local 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Local 24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
<p>Thermo-hygromètres</p>	<p>Feuillures-mètres</p>	<p>Sondes CO<sub>2</sub></p>	<p>Frise chronologique d'occupation</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									

*Aperçus des outils utilisés pour la campagne de mesure*

## 2- Les divergences entre pratiques réelles et anticipées

Le constat d'un écart entre les pratiques des usagers vis-à-vis du confort (d'été) et ce qui a été prévu en conception peut provenir de plusieurs biais :

- D'une part à cause de la réalité plurielle du confort et la variété de normes ;
- Et d'autre part à cause de « défauts » du bâtiment.

### 2.1- Des perceptions plurielles du confort et des variétés de normes

Les usagers sont loin d'être homogènes dans leurs perceptions physiologiques et psychologiques du confort et notamment du confort thermique ... les experts aussi. Toutefois de façon générale, il y a une corrélation entre les températures extérieures relevées en été et les ressentis des usagers. Il nous semble qu'il est important de repérer ce qui relèverait d'une sorte de "norme sociale ou culturelle" pour se sentir thermiquement confortable ou pour réduire les inconforts, d'autant que même les normes techniques sont diverses et variées, traduisant bien la complexité de la prise en compte du confort (voir encadré ci-après).

#### Point technique : Les normes de confort

Exemples de normes décrivant le confort d'été, utilisables en conception :

Approches par la température :

- Le Code du travail, s'il exige une température "convenable" en hiver ([Article R4223-13](#)), est muet sur le confort d'été... pour l'instant ?
- Le Code de l'énergie ([Article R241-30](#)) indique qu'on n'a pas le droit de climatiser les bâtiments en-dessous de 26°C.
- Pour calculer le confort d'été, notamment par simulation thermique dynamique, plusieurs référentiels s'appuient sur un cumul d'heures au-dessus d'un seuil. Par exemple, "il ne faut pas dépasser **40 heures cumulées au-dessus de 28°C** (en présence d'usagers)".
- Cette valeur fixe a des limites : en effet le corps s'habitue à la chaleur, et perçoit différemment la température selon la température qu'il fait dehors ou l'historique de température des jours précédents. On parle alors de **confort adaptatif**.
- Par exemple pour les bâtiments neufs, la RE2020 introduit l'indicateur "degré-heure" (DH) d'inconfort, qui est le cumul pour chaque heure d'inconfort de l'écart au seuil de température, ce seuil étant dépendant de la température extérieure. Cet indicateur est bien meilleur que la Tic utilisée dans la RT2012. Plus d'informations sur cet [article du CEREMA](#).
- Autre exemple, la NF EN 15251 établit un seuil de température de confort dépendant de la température moyenne extérieure sur 24h glissantes, avec 3 niveaux de confort.

Approches multicritères :

- La température n'étant pas le seul critère de confort physiologique, des normes intègrent d'autres paramètres : les "**polygones de confort**" définissent une zone de

confort prenant en compte la température et l'hygrométrie (par exemple ASHRAE Standard 55 et COSTIC, voir les graphiques de la page suivante).

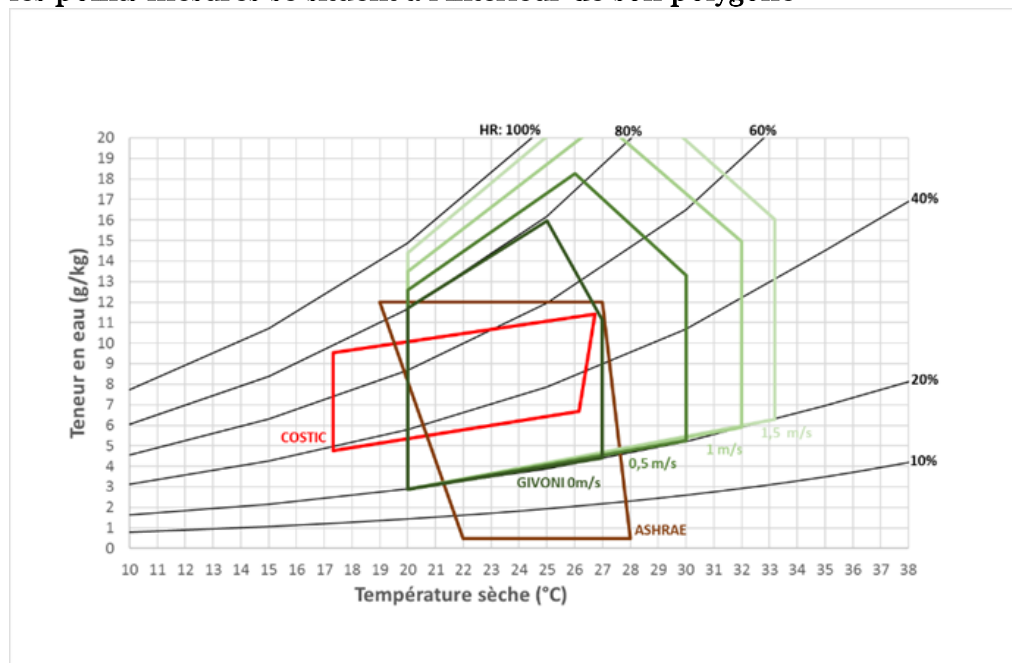
- Ces polygones peuvent être déclinés selon la vitesse d'air et les normes vestimentaires. Dans cette lignée, la norme ISO 7730, ou méthode **PMV-PPD**, permet de "prédire" des pourcentages de satisfaction des usagers selon le métabolisme, les vêtements et les données de température, humidité de l'air, température de rayonnement des parois et la vitesse d'écoulement de l'air. Cette norme, très complexe, aboutit toujours à des satisfactions partielles (100% de satisfaits n'existe pas), et souvent à des conclusions du type "si on est en chemisette c'est confortable, mais si on est en costume-cravate, non"...

Cette liste non exhaustive illustre en tout cas une grande diversité de normes décrivant le confort d'été, ce qui reflète la complexité du sujet, mais aussi... la subjectivité du ressenti de chacun.

### Retour mesures : confort normé et ressenti

Les graphiques ci-après positionnent pour chaque heure la température (abscisse) et l'hygrométrie (ordonnée) mesurées dans un des locaux (chaque point représente le couple température-hygrométrie mesuré une heure donnée).

Sur ces graphiques sont représentés des polygones dit "de confort" basés sur différentes "théories" (voir ci-dessous). **Le local est supposé "confortable" au sens d'une théorie si les points mesurés se situent à l'intérieur de son polygone.**



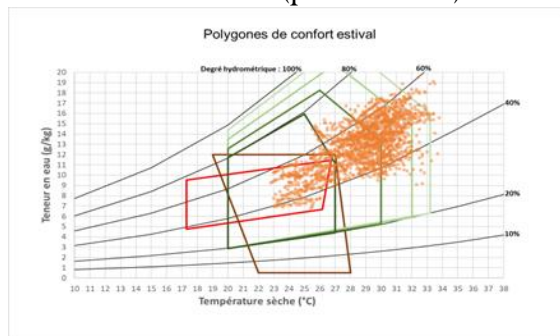
Les polygones dits « de Givoni », appuyés par divers travaux de recherche expérimentale (mesure avec des « vrais personnes ») définissent des limites de confort sans vitesse d'air (pentagone noir le plus à gauche) ou avec diverses vitesses d'air (pentagones verts en dégradé les plus à droite, avec vitesse indiquée de 0,5 à 1,5m/s). Une vitesse d'air (un courant d'air) permet d'agrandir la zone de confort, de tolérer des couples température-hygrométrie plus élevées.



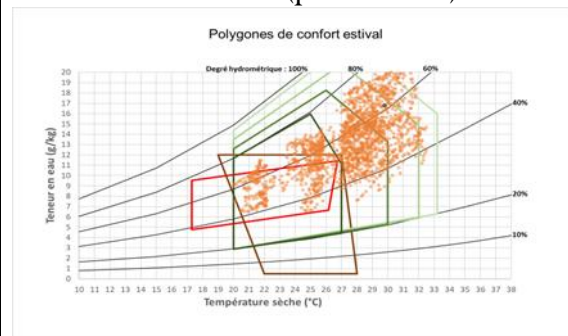
Les quadrilatères rouge et marron correspondent à d'autres méthodes de caractérisation du confort par air calme (ASHRAE Standard 55 et COSTIC).

A titre d'illustration de la variation de perception, il est intéressant de voir que dans les deux bureaux ci-dessous (situés dans deux bâtiments différents), le niveau d'inconfort mesuré, au sens des normes de confort, en se basant sur les diagrammes, est très similaire et indique une période importante d'inconfort, si on n'a pas vitesse d'air (majorité de points hors des polygones de confort par air calme).

Bureau bâtiment C (points bleus)

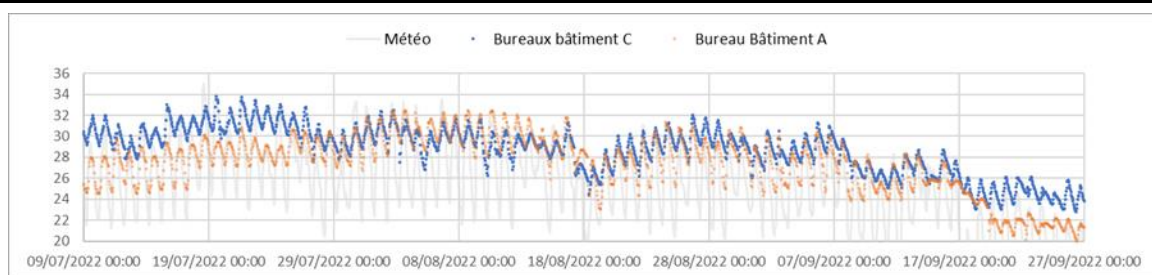


Bureau bâtiment A (points verts)



Points hors polygones par air calme  
=> inconfort

Points hors polygones par air calme  
=> inconfort



Températures notablement au-dessus de 28°C et pouvant aller jusqu'à 33°C

Retour usagers : « non-inconfort »

Retours usagers : « inconfort »

Dans l'un des cas, les usagers ne se plaignent pas de l'inconfort et supportent les conditions comme quelque chose de "normal" (sans toutefois les caractériser comme confortables), alors que dans l'autre cas ces conditions sont vécues comme insupportables. Parmi les facteurs pouvant expliquer cet écart de perception, nous identifions :

- le profil sociologique des usagers qui travaillent sur place : profils "jeunes militants écologiques" engagés sur des questions environnementales qui affichent, pour certains, une posture "anti-climatisation" et une posture du "il fait chaud, on fait avec".
- mode d'occupation : permanent versus ponctuel. Dans un cas, la plupart des usagers travaillant dans le bâtiment occupent les bureaux de façon assez permanente, effectuant un travail principalement sur ordinateur. Dans l'autre, les salariés oscillent entre travail de bureautique et travail en extérieur. Peu sont présents de façon prolongée à leur poste de bureau.

### *Limites de l'approche normative du confort*

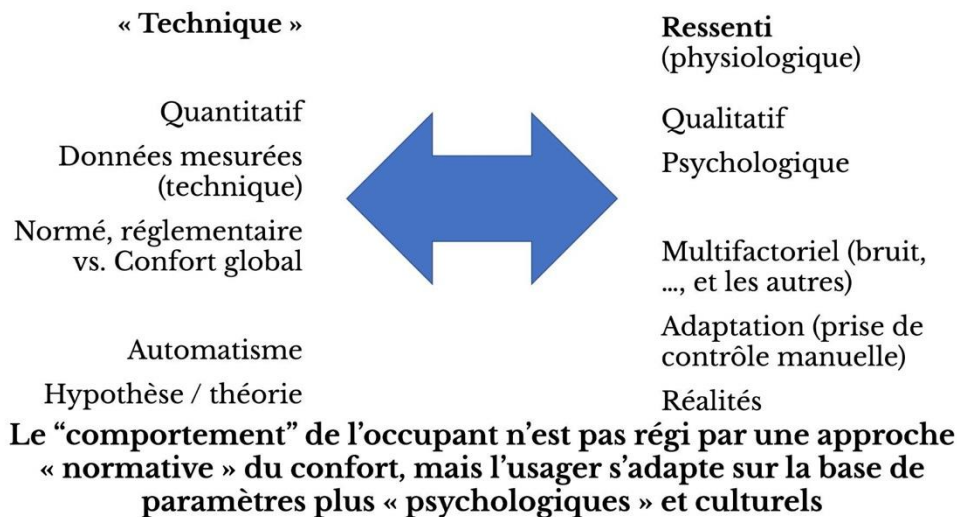
Le modeste schéma ci-après tente de représenter les différences, voire les antagonismes, entre une approche « classique » très « top-down » à la fois normative, séquentielle et analytique des confort et une approche plus « bottom-up » du confort et qui, partant de l'utilisateur, est manifestement multifactorielle et globale (il s'agit de bien-être c'est à dire d'« être bien »), résulte au moins autant de paramètres psychologiques et même ethnologiques que physiologiques. En outre, il peut être variable dans le temps et selon son contexte social, bref il est caractérisable par un contour flou de ses limites paramétriques physiques....

Le confort vu depuis des dimensions techniques semble pouvoir trouver des réponses du côté de l'automatisation. Lorsqu'il est considéré d'un point de vue plus psychosociologique, il doit s'adapter aux usagers qui sont pluriels.

Ce schéma montre sur quels types de données on s'appuie pour appréhender les confort :

- données mesurées qui quantifient les choses du côté de la technique ;
- données relatives à des ressentis et qui tentent davantage de qualifier ces derniers.

### **CONFORT(S)**



*Comparaison des différentes manières d'appréhender le confort*

## 2.2- La part des défauts de conception ou de réalisation

L'inconfort dans un bâtiment peut être généré par un défaut de conception ou de réalisation, et est alors indépendant, du moins initialement d'un potentiel « mésusage ».

Les écarts entre conception et réception : ça c'est la norme !

Il y a souvent des écarts, parfois significatifs :

- entre ce qui a été pensé, en phase conception, et ce qui a été effectivement réalisé (en raison de l'imperfection de la phase travaux mais aussi, le plus souvent, en l'absence de certains éléments techniques enlevés parfois pour des raisons de coût) ;
- entre ce qui a été mis en œuvre et l'appropriation qui en est faite par les usagers (avec notamment des transformations).

On parle d'un usage optimal du bâtiment, mais on démarre avec des défauts.

Cette situation pose donc la question de ce qui fait « référence » pour évaluer le bon fonctionnement du bâtiment :

- performance énergétique (faible valeur du nombre de kWh/m<sup>2</sup>/an consommés annuellement sur le plan global et pour assurer le confort thermique d'été ?
- confort thermique ?
- confort global ?

Nous avons ainsi lors de notre étude rencontré divers écarts entre conception et réalisation et entre réalisation et appropriation (liste non exhaustive) pouvant dégrader le confort d'été :

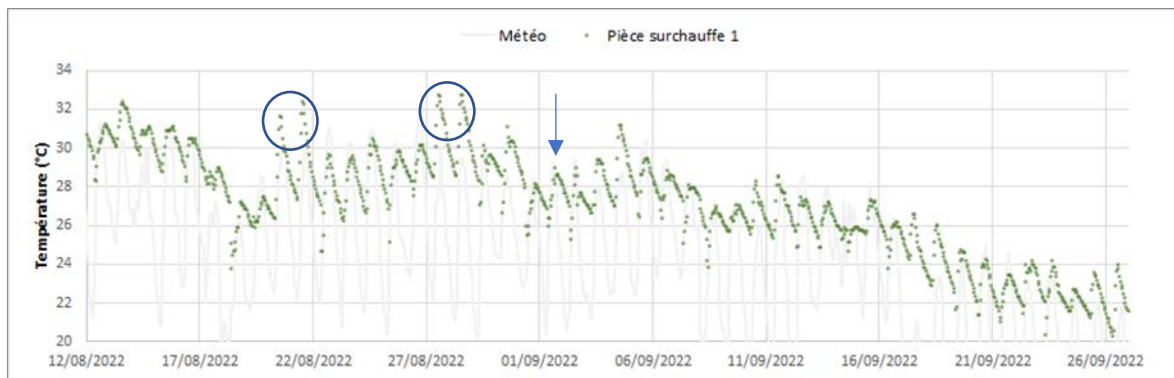
- moteur actionnant les registres d'une tour à vent non installé ;
- protections solaires performantes de type BSO mais non utilisées et non entretenues / difficiles à maintenir ;
- trappes de ventilation intérieure (entre bureaux et couloirs) non connues et donc non utilisées ;
- poignée d'ouverture de fenêtres oscillo-battantes non accessibles ;
- affichettes d'information sur le comportement à avoir pour améliorer le confort et réduire les consommations (notamment sur les principes de la ventilation naturelle), non lues ;
- etc...

Nous avons aussi identifié certains défauts, a priori, de conception, occasionnant une source d'inconfort, non-liée aux usagers :

- absence de protections solaires diverses (par rapport à des problèmes de surchauffe mais aussi parfois d'éblouissement) ;
- surface vitrée trop importante au Sud dans un bureau ;

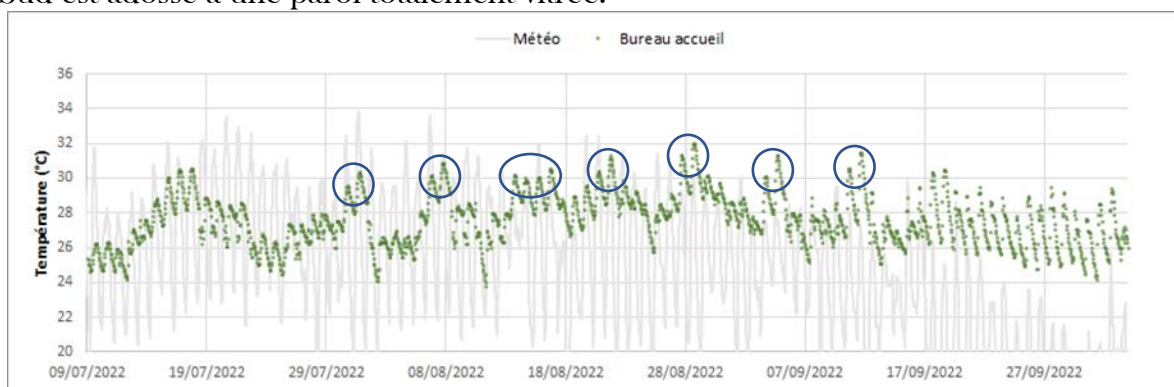
### **Retour mesures : impact des défauts de conception**

Les usagers d'un bâtiment nous ont désigné une pièce comme étant particulièrement chaude l'été en raison d'une carence manifeste en termes de protection solaire.



On y observe en effet des surchauffes importantes en milieu de journée (+2°C à 3°C), notamment le weekend (périodes entourées) lorsque les fenêtres ne peuvent pas être ouvertes pour évacuer la surchauffe. Le maintien manifeste des fenêtres ouvertes la nuit ne suffit pas à faire suffisamment redescendre la température. L'ajout d'un rideau extérieur (indiqué approximativement par la flèche sur le graphique) semble avoir permis de limiter les surchauffes en fin d'été.

On retrouve une situation similaire dans un des bâtiments climatisés. Un bureau situé au Sud est adossé à une paroi totalement vitrée.



Les mesures montrent un important échauffement les week-ends ou lors des congés (2ème quinzaine d'août - périodes entourées), lorsque la climatisation est coupée (la température se maintient alors entre 28 et 30°C, contre 26 et 28°C lors de l'occupation). On observe d'ailleurs qu'en dehors de la saison chaude, lorsque le bâtiment ne semble plus climatisé et que la température extérieure ne dépasse plus les 20°C-24°C (à partir de mi-septembre) la température de cette pièce augmente de 3 à 4 °C en journée dépassant souvent 28°C en journée.

Ainsi, la surface vitrée, malgré une protection partielle par un brise-soleil fixe, occasionne un apport solaire important (part du rayonnement diffus, faible niveau d'isolation, protection du rayonnement direct seulement partielle).

Rappelons par ailleurs que **l'inconfort thermique** peut être généré aussi bien par des défauts de conception, de réalisation, de gestions que d'utilisation différente de ce qui était prévue en phase conception. Et notons qu'il **peut** considérablement **dégrader l'ambiance et la qualité de travail**. Dans un cas, l'inconfort perçu était tel que les usagers appréhendaient d'aller au bureau et pratiquaient autant que possible (et à défaut) du

télétravail. Dans un autre cas, des usagers souffrant considérablement de la chaleur une grande partie de l'été, ouvrant régulièrement les fenêtres en journée pour « respirer », « avoir de l'air », et persuadés que le dispositif central de rafraîchissement ne fonctionnait pas<sup>4</sup>, ont exprimé un mal-être au travail, amplifié par :

- le fait qu'elles soient montrées du doigt par les collègues comme ayant des mauvais comportements ;
- le fait qu'elles soient cataloguées par les collègues comme étant trop « fragiles » et toujours dans la plainte<sup>5</sup> ;
- l'étiquetage « bâtiment modèle ». Elles ont insisté sur l'amplification du mal-être liée à des passages très réguliers de « touristes » venant visiter le bâtiment, alors qu'elles-mêmes constatent de nombreux dysfonctionnements dont elles souffrent.

---

<sup>4</sup> Ce que nous avons en effet découvert vers la fin de l'étude.

<sup>5</sup> Notons qu'à l'occasion des entretiens individuels, nous avons relevé dans un des bureaux une température à 36°C.

### 2.3- “Avoir de l’air”

Pour les acteurs qui interviennent dans le champ de la conception technique (architectes, thermiciens, ...), le renouvellement d’air se mesure et se contrôle notamment à l’aide d’un indicateur privilégié : le taux de renouvellement d’air horaire, noté conventionnellement ACH, qui exprime le nombre de fois où le volume d’air total d’un local est renouvelé chaque heure.

#### **Point technique : le renouvellement d’air**

La conception des solutions de gestion de l’air dans un bâtiment répond à 3 finalités :

- Hygiénique : Évacuer le CO<sub>2</sub> et les polluants de l’air intérieur ;
- Confort : Évacuer la chaleur excédentaire en été (apports solaires et apports internes) ; Créer une vitesse d’air sur l’occupant.
- Énergétique : Limiter les consommations d’énergie associées à la ventilation mécanique, au chauffage et au rafraîchissement le cas échéant.

Ces enjeux prennent une dimension différente en été et en hiver :

- En hiver, il faut essentiellement assurer la qualité d’air, en limitant le besoin de chauffage. Les débits de renouvellement d’air sont alors définis par le cadre réglementaire (notamment l’Arrêté de 1982 pour les logements, le Code du travail pour les bureaux et le RSDT pour les bâtiments d’enseignement). En tertiaire le renouvellement d’air est alors généralement entre 0,5 et 1 vol/h en bureaux et jusqu’à 3 vol/h en enseignement. Pour réduire les besoins de chauffage on peut soit réduire les débits au détriment de la qualité d’air (ventilation hygroréglable) soit récupérer la chaleur de l’air extrait (ventilation double flux).
- En été, l’enjeu prioritaire est le confort. Il s’agit d’évacuer la chaleur et de procurer un courant d’air rafraîchissant. Pour le premier enjeu, il faut maximiser le renouvellement d’air lorsqu’il fait plus frais dehors que dedans (on peut viser de 3 à 20 vol/h). Pour le second il faut soit un grand débit d’air neuf (par exemple ouverture des fenêtres, avec l’inconvénient de faire entrer de l’air chaud en journée) soit “brasser” l’air intérieur (par exemple avec des brasseurs d’air).

L’enquête de terrain a montré que pour les usagers cet indicateur n’a pas de signification. En effet, si les concepteurs utilisent volontiers cette grandeur (voir encadré ci-dessus sur le renouvellement d’air), elle n’est pas tangible ni parlante pour l’usager.

Notre constat de terrain est que les usagers préfèrent avoir plus chaud en ouvrant la fenêtre mais ressentir l’arrivée d’air extérieur. Cet état de fait répond donc en premier lieu à un besoin de confort psychologique lié à une recherche de « non-enfermement » même si le courant d’air potentiellement généré (si l’espace de bureau est traversant) peut aussi avoir un effet physiologiquement rafraîchissant. De façon générale, en période de forte chaleur, et quels que soient les types de bâtiments, on peut entendre : on a l’impression d’« étouffer », on a besoin d’« avoir de l’air », de « respirer ».

## *Ouvrir !*

La plupart des témoignages recueillis au cours de l'enquête convergent vers un besoin d'ouvrir absolument, insistant sur une forme de normalité. Aussi a-t-on pu entendre des phrases comme : « C'est normal d'ouvrir quand on n'en peut plus ». « C'est normal d'ouvrir quand on a le sentiment de plus respirer... de mourir ». Le terme "normal" souvent emprunté, laissant supposer ici une norme sociale, culturelle.

A noter que cette stratégie d'ouverture des fenêtres en journée peut répondre à deux situations de confort distinctes :

- Dans certains cas, l'ouverture en journée est le mode souhaité d'aération, répondant à la fois au besoin d'évacuer les odeurs et de créer un courant d'air rafraîchissant. Le confort est alors jugé bon.
- Dans d'autres cas, le confort d'été est jugé mauvais, et l'ouverture des fenêtres en journée est alors une solution palliative pour limiter l'inconfort en créant un courant d'air, mais en réchauffant encore le bâtiment (voir l'encadré ci-après sur l'ouverture en journée).
- Dans d'autres cas encore, l'ouverture matinale est pratiquée, ce qui procure une vitesse d'air et rafraîchit le bâtiment. Mais la difficulté rencontrée est de savoir à quel moment il est pertinent de refermer les fenêtres. La température monte progressivement, sans s'en apercevoir, et on ne veut pas perdre le courant d'air. L'ouverture journalière est alors un "non-choix" lié à l'absence de consigne claire et simple sur le bon moment pour refermer.

Du point de vue du ressenti des usagers, pour le confort d'été, les notions de courant d'air, donc de vitesse d'air (air neuf ou air brassé) ou encore de sensation d'enfermement seront plus significatives que le "renouvellement d'air".

Ce constat d'usage nous amène à penser différemment les problématiques de ventilation de confort d'été par ouverture d'ouvrants.

### **Point technique : l'ouverture en journée**

Le fait d'ouvrir la fenêtre pour créer un courant d'air engendre de fait un potentiel « cercle vicieux » :

- le confort ressenti peut s'améliorer sur l'instant (ressenti de confort de l'ordre de moins 2°C à moins 4°C selon la vitesse d'air, du fait de l'évaporation plus facile de l'humidité à la surface de la peau) a fortiori si la pièce est traversante et qu'un courant d'air peut s'établir ;
- mais la pièce peut alors se réchauffer assez rapidement si l'air extérieur est, comme souvent au cœur de la journée et l'après-midi en été, bien plus chaud que l'air de la pièce et bien au-delà de la zone de confort.
- la sensation de courant d'air ne suffit alors plus pour apporter du confort lorsque la température dépasse sensiblement les 33°C ou 34°C mais refermer serait alors pire (perte du courant d'air) ;



Les jours suivants, a fortiori si une ventilation nocturne par ouverture de fenêtre n'a pas été réalisée pour évacuer cette chaleur, la pièce reste chaude et l'utilisateur n'a alors plus que le choix que d'ouvrir la fenêtre pour rechercher le courant d'air qui ne suffit alors plus lors des journées les plus chaudes pour assurer son confort.

Pour bénéficier de cette sensation rafraîchissante du courant d'air sans risque de réchauffer le bâtiment avec l'air extérieur en milieu de journée et l'après-midi, une solution est de privilégier le brassage d'air intérieur (brasseur d'air plafonnier ou ventilateur).

### Retour mesures : taux de renouvellement d'air

Le paramètre primordial pour estimer ou modéliser la contribution thermique de la ventilation naturelle (nocturne) est le taux de renouvellement d'air engendré par l'ouverture des fenêtres selon la configuration.

Force est de constater que son estimation est assez approximative et repose généralement sur des ordres de grandeur admis (autour d'un vol/h pour une ouverture mono-orientée, quelques vol/h pour une ouverture et quelques dizaine de vol/h pour une ouverture des fenêtres en grand traversante) ou sur des codes de calcul spécifiques présents dans les logiciels de simulation thermique dynamique (mais dont la précision des résultats peut questionner étant donné les nombreuses incertitudes et simplifications de modélisation).

Dans le cadre de cette étude, nous avons souhaité essayer une méthode, qui s'avère donc exploratoire à ce stade, pour estimer cette grandeur à l'aide de la campagne de mesure.

*Note : A ce stade, les résultats présentés ici n'ont pas pour vocation de fournir des résultats robustes et généralisables, mais d'illustrer le principe de la méthode proposée avec ses limites et ses pistes d'amélioration, de sorte à alimenter d'autres futures études qui souhaiteraient s'en emparer.*

Le principe est de déduire le débit de renouvellement d'air de la pièce ( $Q$  [m<sup>3</sup>/h]) à partir de la différence de taux de CO<sub>2</sub> d'équilibre mesuré en intérieur et en extérieur ( $c_{int} - c_{ext}$  [kgCO<sub>2</sub>/kgair]), en connaissant le nombre d'occupant ( $n$  - via la frise chronologique) et leur individuelle émission de CO<sub>2</sub> ( $e = 0,03$  [kgCO<sub>2</sub>/h]<sup>6</sup>) :

$$Q = n \cdot \frac{e}{\rho_{air} (c_{int} - c_{ext})}$$

<sup>6</sup> Valeur dépendant de l'activité physique de la personne. Il s'agit ici d'une valeur au repos pour une adulte : de 14 à 20 l/h de CO<sub>2</sub> selon les sources. Nous avons retenu la valeur de 16 l/h ramené ici en masse de CO<sub>2</sub>.



avec  $\rho_{air}$  la densité de l'air (supposée égale à  $1,2 \text{ kg/m}^3$  pour une température autour de 20 à  $30^\circ\text{C}$ ).

Grâce à cette méthode, on obtient les équivalences suivantes entre taux de  $\text{CO}_2$  d'équilibre pour une personne et débit de renouvellement d'air déduit en  $\text{m}^3/\text{h}$  (le taux de renouvellement d'air en  $\text{vol/h}$  dépendra du volume du local considéré) :

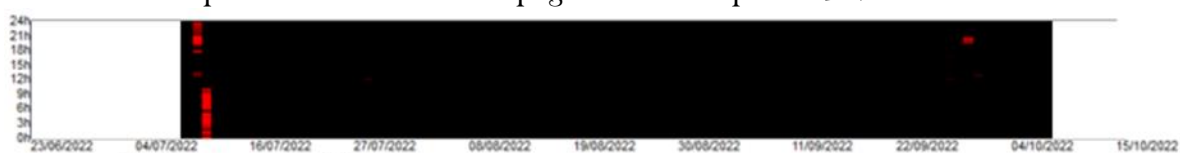
Taux de $\text{CO}_2$ [ppm = mg/kg]	débit [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
2000	16
1300	28
800	65
500	293

Dans le cadre concret de la présente campagne de mesures, nous avons deux cas où l'occupation est assez bien connue et les mesures de  $\text{CO}_2$  et des feuillure-mètres sont exploitables.

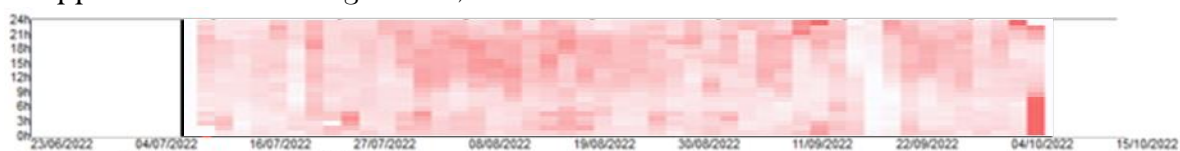
*Aide pour la lecture des résultats sous forme de "heat-maps" :*

*Les données horaires sont représentées par nuance de couleurs selon leurs valeurs (pour les feuillure-mètres : noir = fenêtre ouverte ; rouge = fenêtre fermée) par tranche journalière. Autrement dit, chaque colonne représente une journée, en allant, de bas en haut, du matin au soir.*

Dans le premier cas, les fenêtres de ce bureau sont ouvertes en permanence en grand avec les volets persiennés fermés à l'espagnolette et la porte du bureau ouverte.

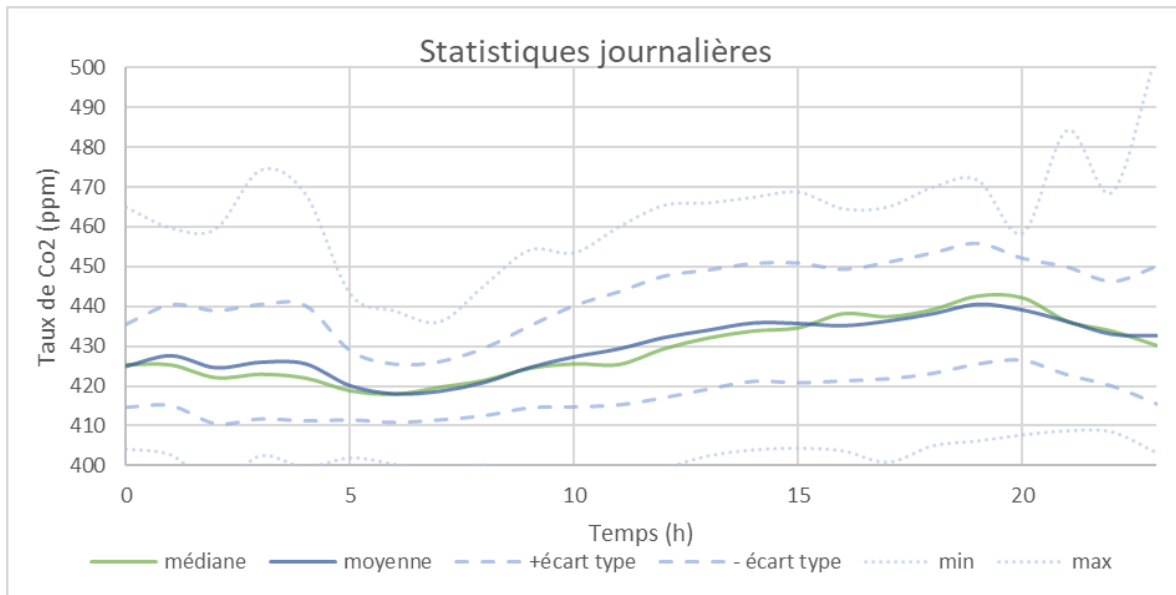


L'allure de la mesure du taux de  $\text{CO}_2$  est la suivante (les valeurs oscillent entre 400 et 500ppm du blanc au rouge foncé).



Nous observons que le taux de  $\text{CO}_2$  est minimal la nuit entre 4h et 8h du matin (air totalement renouvelé : le taux de  $\text{CO}_2$  intérieur est égal au taux de  $\text{CO}_2$  extérieur). Celui-ci augmente ensuite en journée lors de l'occupation dû à la présence de l'utilisateur.

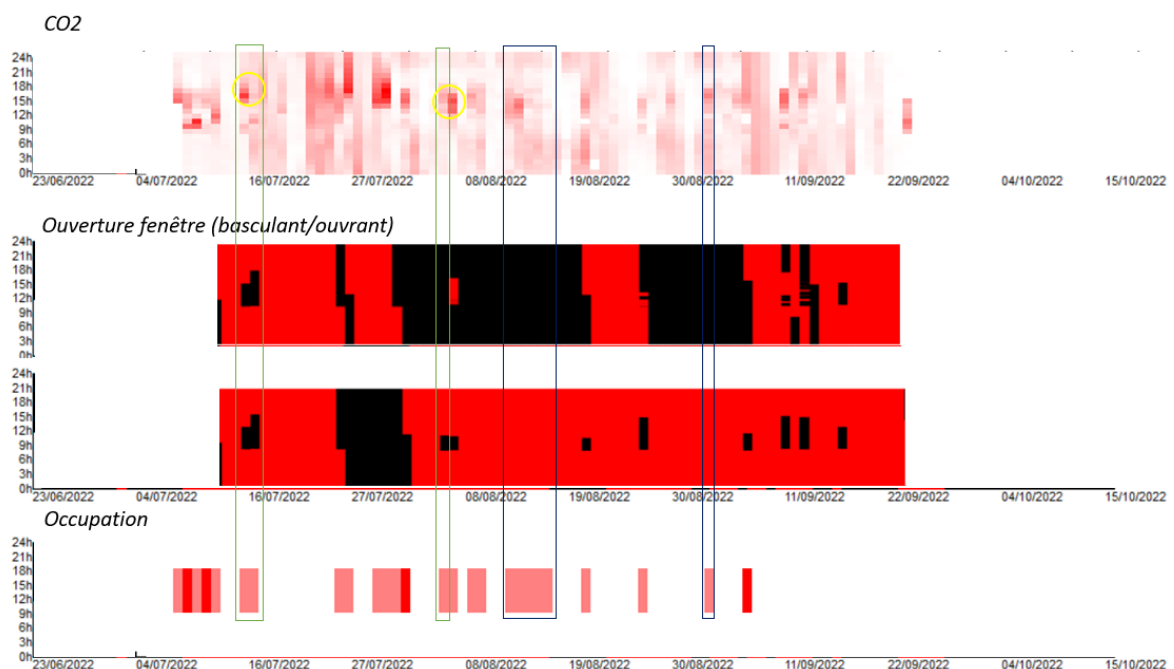
Statistiquement les variations quotidiennes évoluent de la sorte :



Si l'on se base sur le taux maximum de 470 ppm, cela traduit un renouvellement d'air de 450 m<sup>3</sup>/h (soit environ 10 vol/h pour un bureau de 20m<sup>2</sup> et 2,25m de hauteur sous plafond ; hypothèse retenue dans la suite).

Avec le taux moyen atteint en fin de journée (440ppm), on obtient 970 m<sup>3</sup>/h (soit environ 20 vol/h).

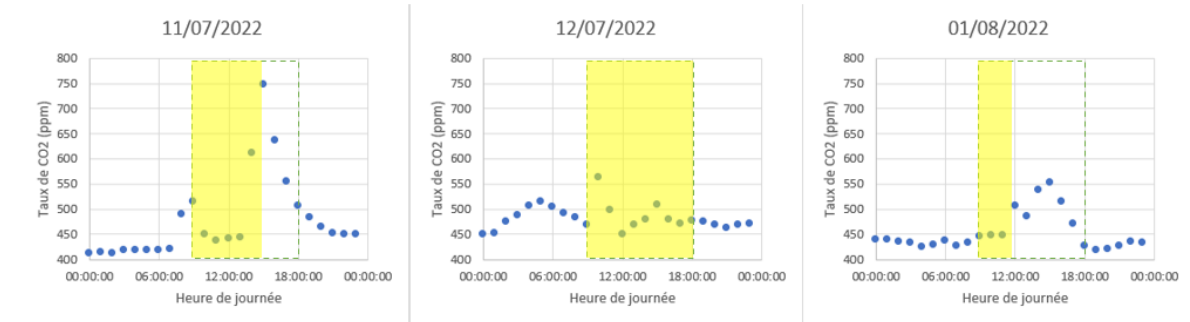
Dans le second cas, qui concerne un bureau d'un autre bâtiment, la mise en parallèle des différentes données permet d'établir les graphiques suivants :



Ici les fenêtres sont majoritairement fermées, avec des ouvertures ponctuelles en journée en grand (ouvrant) et deux périodes d'ouverture continue (jour et nuit) en oscillo (basculant) la première quinzaine d'août et fin août-début septembre).

Les tendances d'évolution du taux de CO<sub>2</sub> sont moins évidentes. Notons toutefois qu'on observe des pics corrélés à la fermeture des fenêtres (ronds jaunes ci-dessus) qui indique logiquement une diminution nette du débit de renouvellement d'air.

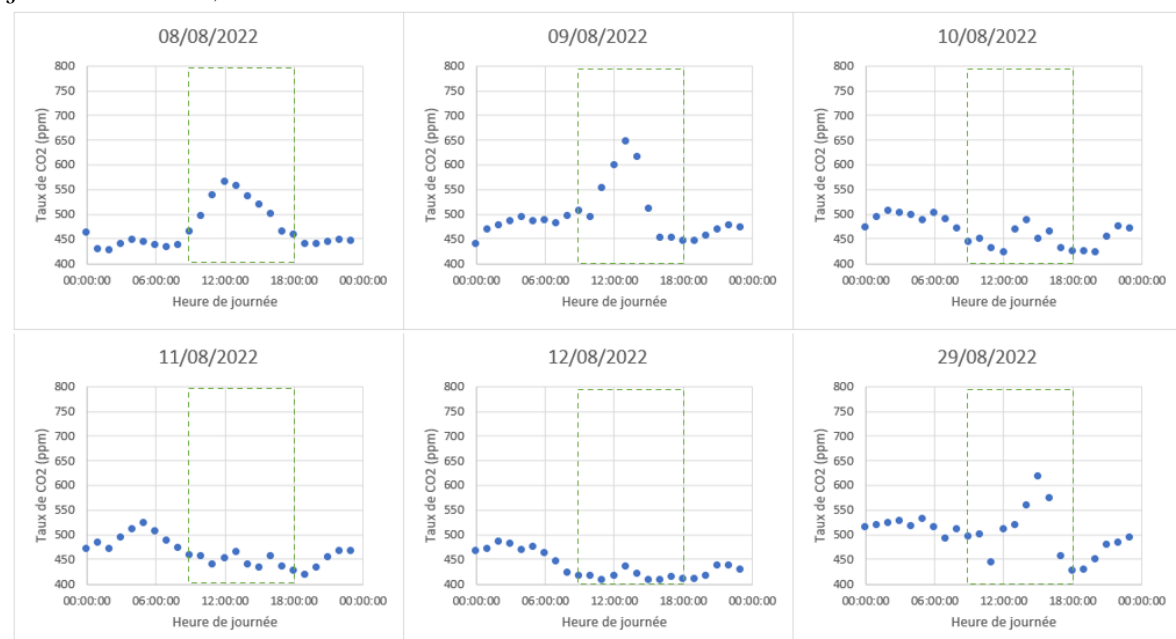
Si l'on s'intéresse dans un premier temps aux périodes où les **fenêtres sont ouvertes en grand** en journée (battant - zones encadrées en vert correspondant à 3 jours différents), cela donne :



Le taux de CO<sub>2</sub>, en période d'occupation indiquée par l'utilisateur (encadré pointillé, relativement imprécis) et d'ouverture des fenêtre (zone jaune, obtenue grâce aux feuillures-mètres) s'équilibre entre 440 et 480 ppm, ce qui traduirait un débit de renouvellement d'air de 970 à 380 m<sup>3</sup>/h (soit environ 10 à 20 vol/h).

En période d'occupation, lorsque la fenêtre est fermée, le taux varie entre 750 et 500 ppm soit 75 à 295 m<sup>3</sup>/h (1,5 à 6 vol/h) ce qui peut correspondre au débit de renouvellement hygiénique (géré de façon naturelle dans ce bâtiment), bien que relativement élevé (la réglementation requiert 25 m<sup>3</sup>/h au minimum dans un bureau).

Intéressons-nous maintenant aux périodes où les **fenêtres sont ouvertes uniquement en oscillo** en continu jour et nuit (basculant - zones encadrées en bleu correspondant à 6 jours différents).



Le taux de CO<sub>2</sub>, en période d'occupation indiquée par l'utilisateur avec fenêtre ouverte en oscillo s'équilibre entre 550 et 450 ppm, avec toutefois des variations assez marquées et une tendance moins nette, ce qui traduirait un débit de renouvellement d'air de 185 à 700 m<sup>3</sup>/h (soit environ 4 à 15 vol/h).

Cette variabilité peut s'expliquer :

- méthodologiquement par la forte sensibilité du calcul lorsque les teneurs sont proches de la teneur extérieure (fonction inverse) ;
- physiquement par des conditions extérieures (météorologiques) intérieures et variables (courant d'air traversant ou pas selon ouvertures du reste du bâtiment, portes et fenêtres).

--

**Ces premiers résultats semblent ainsi confirmer les ordres de grandeurs couramment admis** indiqués plus haut dans l'encadré.

Toutefois, les limites de cette méthode sont les suivantes :

- imprécision et incertitude de l'occupation (nombre et période) ;
- non prise en compte des renouvellements d'air "parasites" (renouvellement d'air mécanique, inter-pièces, etc.) ;
- hypothèse de régime permanent établi<sup>7</sup> (valable au moins en fin de période ?)

La fiabilisation des résultats nécessiterait :

- une connaissance plus fine de l'occupation ;
- une connaissance de l'état d'ouverture de tous les ouvrants de la pièce (portes comprises) et autant que possible des autres pièces (notamment celle en vis-à-vis pouvant générer un courant d'air traversant) ;
- le taux de CO<sub>2</sub> du couloir ou des pièces immédiatement adjacentes ;
- une corrélation avec les conditions aérauliques extérieures (vitesse et direction du vent, éléments environnant pouvant causer des perturbations, etc.) modifiant les conditions de pression et de donc du potentiel de renouvellement d'air.

La recherche de précision alourdit rapidement la campagne de mesure. Toutefois, l'utilisation d'un autre gaz "traceur" non émis naturellement dans le bâtiment pourrait simplifier la procédure.

## 2.4- Occupations : taux et modes

Dans les études on pose principalement la question du taux d'occupation, beaucoup moins celle des modes d'occupation, qui, selon nous, doit tout autant, et de façon

---

<sup>7</sup> C'est-à-dire que le taux de CO<sub>2</sub> s'équilibre immédiatement après une perturbation (passage de l'état inoccupé à l'état occupé par exemple) et qu'il n'y pas d'effet dynamique transitoire.

complémentaire, être appréhendée pour mesurer au mieux les corrélations entre occupations et confort thermique d'été.

Le taux d'occupation renvoie à une mesure a priori beaucoup plus objective (des données chiffrées, et surtout une réglementation relative aux taux d'occupation - taux de CO2 et plus globalement qualité d'air) que celles des modes d'occupations qui sont plus difficiles à mesurer, en plus d'être pluriels et non directement réglementés. Il peut y avoir un écart important, et difficile à anticiper, entre ce qui a été pensé en phase conception, ce qui est préconisé et la façon dont le bâtiment est réellement occupé.

### *La fréquence d'occupation*

Elle a un impact important par rapport aux pratiques et ressentis en matière de confort thermique d'été. Ainsi il y a une corrélation entre la durée d'occupation et la perception du confort thermique : les personnes qui restent longtemps dans leur bureau (c'est principalement le cas de tous les usages qui relèvent de l'accueil et du secrétariat) expriment davantage des inconforts thermiques que les personnes qui, dans leur journée de travail sont plus mobiles entre intérieur et intérieur. En outre, ces postes et bureaux de « salariés les plus fixes » étaient souvent localisés dans les parties « les plus chaudes » du bâtiment (orientation la moins favorable notamment, conception en façade, etc.) ou encore souvent près de l'entrée principale du bâtiment. Des portes régulièrement ouvertes occasionnent des entrées d'air chaud conséquentes.

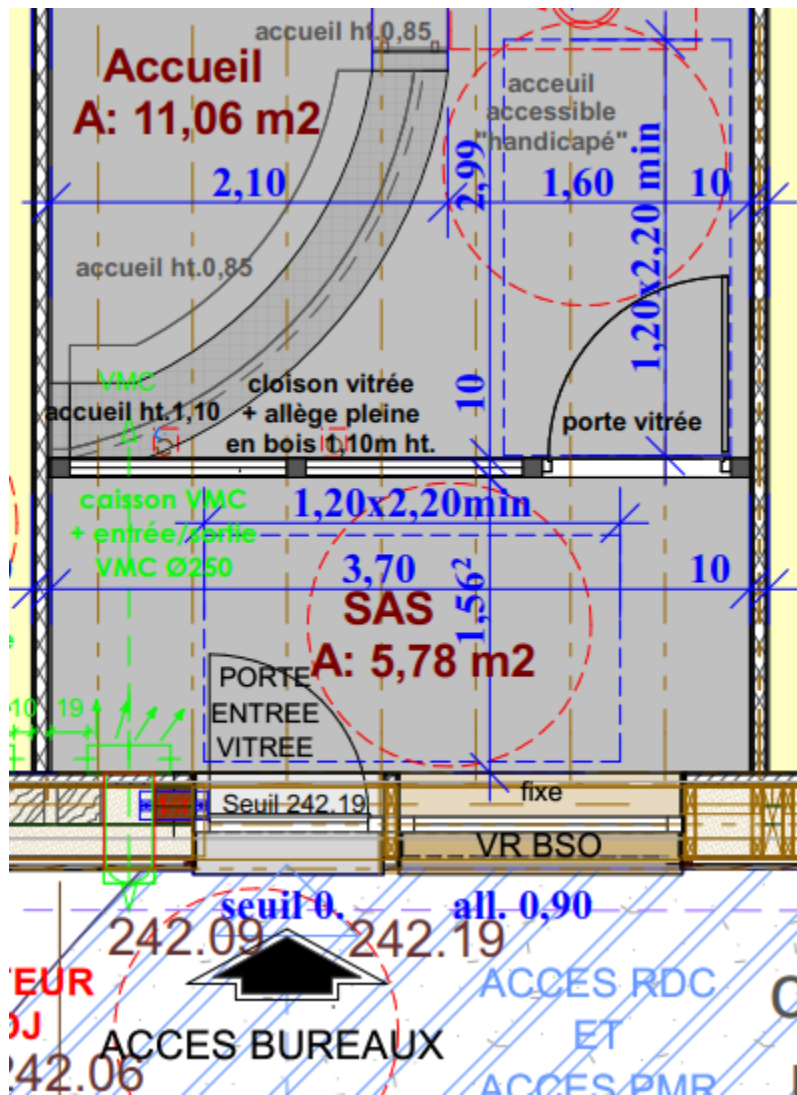
Dans certains bâtiments on constate beaucoup de « va et vient », « on rentre, on sort ». Dans un cas d'étude, nous avons pu comptabiliser une dizaine de personnes par heure qui entrent dans le bâtiment pour récupérer auprès de l'accueil des « poubelles jaunes ». Dans un autre bâtiment, la porte principale reste tout le temps, ou une grande partie de la journée, ouverte pour gérer l'accueil du public. Dans ce cas, les salariés ont besoin de voir qui arrive car il n'y a pas de système permettant de s'annoncer.

### **Préconisation: positionnement ou protection des entrées**

Il est préconisé que les entrées soient localisées dans des endroits frais et protégés du soleil en été et du vent en toutes saisons . La protection par rapport au vent permettra de minimiser le débit d'air entrant lors des entrées et sorties du bâtiment, ce débit pénalisant le confort thermique aussi bien en été qu'en hiver

### **Retour technique : gestion des entrées**

Des solutions architecturales et techniques existent pour limiter l'impact sur le confort d'été des ouvertures fréquentes ou permanentes des portes : création d'un sas, local tampon de transition, porte à tambour, rideau d'air etc..



*Exemple de sas vitré, avec portes en décalé pour limiter le courant d'air à l'entrée d'un bâtiment*

La proposition technique doit toutefois rester adaptée à l'usage, sans quoi elle sera probablement détournée de son intention...

*Migrations : « aller travailler là où c'est plus confort »*

On a pu constater, dans au moins deux bâtiments, que certains usagers qui se sont trouvés en grand inconfort dans leur bureau en période de forte chaleur, ont pratiqué certaines formes de migration : il se sont déplacés vers l'extérieur ou dans d'autres parties du bâtiment.

Par ailleurs, si globalement on constate une augmentation manifeste de la pratique du télétravail qui est essentiellement liée à la période Covid nous avons rencontré un cas où des personnes télé-travaillaient pour moins souffrir de la chaleur.

*Freins à la pratique de migration*

Un certain nombre de freins à l'évolution de ces pratiques de migration sont constatés :

- Le « ça a été conçu comme ça à l'origine » est perçu comme une fatalité incontournable.
- La présence d'ordinateurs fixes.
- Le traitement de dossiers confidentiels ou la tenue d'entretiens confidentiels empêchant le recours à la ventilation naturelle.
- Les conflits d'usage notamment par rapport à l'acoustique : bruit lié à l'ouverture des ouvrants intérieurs ou extérieurs alors qu'on a besoin de calme.

### **Préconisations pour limiter les divergences entre pratiques réelles et anticipées**

- Accepter les écarts entre conception et réalisation car ce sont les aléas de tous les projets.
- Se donner les moyens de prendre véritablement en considération ces écarts. Dès la phase conception, associer davantage les futurs usagers pour penser l'adaptabilité, la flexibilité et l'ergonomie des locaux<sup>8</sup>.
- Prendre en considération ce qui peut faire obstacle au changement d'attribution des salles. Ainsi une grande salle d'un des bâtiments étudiés qui accueille le public (et qui peut être bien ventilée naturellement la nuit) n'est quasiment pas utilisée en été. Elle pourrait ainsi accueillir les bureaux des salariés pendant les périodes chaudes.

En ce sens :

- Envisager des ordinateurs portables.
- Privilégier des postes de bureau déplaçables
- Anticiper le déplacement du mobilier pour gérer le confort (éblouissement, accès aux ouvrants,...)
- S'intéresser sérieusement aux usages de chaque zone en lien avec les usagers, à la flexibilité et aux détails de l'appropriabilité (ces notions restent en effet souvent de l'ordre du concept sans être confrontées à la réalité des pratiques).

Spécifiquement en lien avec la ventilation naturelle « nocturne » :

- Identifier des opérateurs de fermeture et des opérateurs d'ouverture des fenêtres qui peuvent être différents selon les locaux et les périodes, là encore dans l'échange, en affrontant les difficultés potentielles exprimées.

### **Des bonnes pratiques observées à consolider et généraliser pour favoriser les migrations :**

<sup>8</sup> Il s'agit notamment de proposer un groupe de travail ad hoc qui devrait perdurer dans la vie en œuvre du bâtiment après sa livraison. Ce groupe devrait évidemment être représentatif de l'ensemble des usagers et le thème du confort global dans une optique d'usage devrait faire explicitement l'objet de ses ordres du jour.



- utilisation d'une grande salle plus fraîche que les bureaux par exemple en raison de son orientation, de son inertie, de la faiblesse de ses apports internes ( y compris en termes de fréquence d'usage) , de son potentiel de ventilation ou encore de sa plus grande hauteur sous plafond ...
- installation à l'extérieur sous un arbre ou une treille à fort ombrage permettant de rajouter à l'impact de la protection solaire sur le confort, celui de l'évapotranspiration des masses végétales (en d'autres termes, à facteur solaire égal on est toujours plus confortable sous un arbre que sous une toile,...)
- installation à l'extérieur dans un abri bien ventilé et ombragé qui, s'il est conçu en matériau bio-sourcé et / ou s'il est support de vie (végétale ou animale) apportera toujours un meilleur confort global, au delà du confort thermique stricto sensu

### 3- Les dispositifs techniques et le rapport à la technique

La technique et les dispositifs techniques englobent, selon nous, des aspects liés à la conception générale du bâtiment, aux installations techniques spécifiques liées au confort thermique, allant d'éléments fixes à mobile (liste non exhaustive) :

- protections solaires mobiles à mettre en place en été, par exemple brise soleil orientables (BSO) ou stores, avec des réglages parfois pluriquotidiens afin de ne pas impacter le confort visuel, parfois en lien avec l'éblouissement des usagers ;
- manipulation des ouvrants extérieurs avec les bonnes heures d'ouverture et de fermeture en fonction des conditions extérieures, les préconisations par temps de vent ou de pluie, etc... ;
- manipulation des ouvrants intérieurs avec les bonnes heures d'ouverture et de fermeture en fonction des conditions acoustique et des besoins de confidentialité ;
- la maîtrise des apports de chaleur interne : éclairage, ordinateurs etc... ;
- le bon usage des brasseurs d'air ;
- le bon usage de la climatisation éventuelle ;

#### 3.1- Flou général

Lors des entretiens individuels et échanges collectifs nous avons pu constater un flou général encadrant la dimension technique liée au confort thermique de façon générale. De nombreuses formules laissent à penser que la plupart des occupants sont loin des aspects techniques du confort. Ainsi nous avons entendu des : « on nous a dit que ... », des « je crois que... », des « on pense que ...».

Si cela peut sembler évident au premier abord, en réalité nous avons constaté que ça ne l'est pas sur le terrain et dans la pratique. Ce flou occasionne une certaine incapacité individuelle et collective à gérer les problèmes/dysfonctionnements techniques. Personne ne sait de quoi « on parle », parfois même les experts entre eux.



Aussi, dans un même bâtiment, les usagers vus individuellement nous disent des choses parfois « contradictoires » avec les aspects techniques, sachant rarement (dans un seul cas en fait) vers qui se tourner pour avoir des informations claires.

### Préconisations pour une meilleure appropriation des techniques

Il nous semble nécessaire et même indispensable que les acteurs engagés autour des questions de confort thermique et de ventilation naturelle « nocturne » puissent être capables d'expliquer ce qui relève d'aspects techniques et ce aussi bien en termes de « comment ? » que de « pourquoi ? ».

- faire une /des fiche(s) qui serve(ent) de base commune de langage à tous (usagers, gestionnaires, prestataires, etc)
- inscrire dans l'agenda collectif des réunions techniques collectives
- organiser des temps de formations si cela est possible

### 3.2- Une non-maîtrise à 2 niveaux

Il nous semble important d'évoquer le rapport que les usagers peuvent avoir aux dispositifs techniques. Si l'on entend assez couramment que les usagers ne comprennent pas, ne connaissent pas, ou encore ne s'intéressent pas aux aspects techniques des espaces qu'ils occupent, on regarde moins quelles en seraient les raisons. Certes, certains usagers ne s'intéressent pas à ces aspects. Mais ils sont une rare minorité, et beaucoup regrettent ou se plaignent de ne pas savoir/pouvoir avoir la main, ou la maîtrise, sur les dispositifs techniques.

Aussi, si l'enquête de terrain a certes montré un niveau de non-maîtrise de la technique liée à une **méconnaissance ou une incompréhension**, nous avons aussi pu comprendre que des formes de **dépossessions** s'opèrent, qui empêchent les usagers d'avoir la main sur les dispositifs techniques, et ainsi avoir des pratiques vertueuses en termes de confort thermique, de ventilation naturelle et d'économie d'énergie.

#### *Méconnaissance et incompréhension des dispositifs*

Quelques exemples de témoignages illustrant le propos :

- à propos d'une trappe de ventilation intérieure « je ne sais pas à quoi ça sert ....»,
- BSO : deux personnes qui en ont dans leur bureau ne les utilisent pas du tout. Quel confort sont-ils censés apporter ? Ces usagers en ont une méconnaissance totale,
- « la ventilation mécanique je l'utilise pas, et je ne sais pas trop quelle est son utilité »,
- le système adiabatique : on ne sait pas comment ça fonctionne et même si ça fonctionne !

### Préconisations pour les BSO, la surventilation mécanique et la climatisation éventuelle :

- avoir un petit manuel ou affiche collé au mur à côté de la télécommande (qui elle-même est posée sur un boîtier fixe à côté et avec une chaînette) ou encore un QR Code avec mini vidéo pour le BSO.
- former d'un référent confort et système.

Mais nous avons aussi constaté des croyances qui amènent à des formes d'auto-censure :

- « c'est hyper pointu, je vous avoue qu'avec l'équipe on est un peu dépassés »
- « c'est pas à nous de... »
- « on laisse faire les experts ».

### *Et dépossession*

Nous avons pu constater que les usagers ont rarement la maîtrise des lancements/réglages généraux des systèmes « technologiques » de rafraîchissement : « puits » de ventilation, système adiabatique, climatisation... et que cela impacte fortement leur possibilité de mettre en place une ventilation naturelle plus optimale.

Nous avons souvent entendu ce type de formulation : « c'est le technicien qui doit lancer ». Dans un cas on a même un système qui ne fonctionne pas alors que la plupart des usagers pensent qu'il fonctionne. Et dans ce cas, les usagers ne savent plus à quel moment ouvrir ou fermer portes et fenêtres pour ventiler ou non.

Rares sont les cas où nous avons assisté à une prise en main par les usagers.

### **Des bonnes pratiques existantes à consolider et généraliser**

Cas d'un bâtiment où une secrétaire s'est formée avec l'installateur pour être en mesure de basculer la pompe à chaleur en mode chaud ou froid (pour ne plus avoir besoin d'attendre le professionnel qui ne peut pas toujours intervenir au moment souhaité). Elle l'a fait car elle, et ses collègues, se « plaignaient » du décalage entre le moment de la demande et l'intervention du technicien. Pour le collectif, cela a permis d'être « autonome » et de décider du moment opportun pour « lancer le système ».

Dans un autre bâtiment, le fonctionnement des brasseurs d'air est bien maîtrisé (marche/arrêt, adaptation de la vitesse...) par les usagers grâce à la présence d'une personne qu'on pourrait qualifier de « Monsieur Confort et Energie » qui de manière régulière et pédagogique est à l'écoute des remarques des un-e-s et des autres et est force de propositions sur l'appropriation par les habitants des dispositifs architecturaux (BSO, ouvertures externes, ouvrants de ventilation internes,..) ou techniques (brasseurs d'air).

Ces constats renvoient à la question des réglages possibles par les usagers eux-mêmes, à une adaptation au quotidien et à la maintenance :

- maîtriser la technique : la gestion et l'entretien /maintenance est une grosse question
- qui assure le démarrage et l'arrêt ?

- qui assure la vérification que ça fonctionne effectivement bien (cf. un système adiabatique qui dysfonctionne) ?

L'idée de la part des experts (et des usagers intermédiaires) est souvent que « ça fonctionne ». Le sentiment de la part des usagers, notamment ceux qui souffrent le plus d'inconfort liée à la chaleur est que « ça ne fonctionne pas ».

On parle souvent de sensibilisation aux bonnes pratiques, mais on s'assure peu du bon fonctionnement des dispositifs techniques. Or la question de la gestion, du suivi, de la maintenance est centrale. Des systèmes sont parfois mal posés (le puits de ventilation ou "tour à vent" ?) ou dysfonctionnent (un système adiabatique).

Par ailleurs, peu de retours sont disponibles pour les usagers sur le fonctionnement thermique global du bâtiment : est-ce que ça fonctionne ? qu'est-ce que ça apporte ? etc.

### **Préconisations pour s'approprier le fonctionnement des systèmes**

Mettre en place :

- des voyants indiquant si tel système fonctionne ou pas ;
- des afficheurs qualité de l'air, températures intérieure/extérieure, communication interne...

### **Des bonnes pratiques existantes à consolider et généraliser**

La salle de réunion d'un bâtiment est équipée d'un afficheur de température et de taux de CO<sub>2</sub> avec un seuil d'alerte pour permettre aux usagers de savoir quand ouvrir les fenêtres et éventuellement quand activer la climatisation (le but restant de l'éviter par une meilleure gestion de la ventilation naturelle).

Si l'entretien/maintenance relève d'un niveau plus organisationnel qui pourrait être inscrit dans un contrat avec un tiers, il nous semble que la gestion des équipements puisse davantage être dévouée aux usagers.

Cette gestion doit être quotidienne. Il s'agit de réduire le flou général autour du "qui est en charge de quoi?" autour des installations techniques en remettant les usagers au cœur de ce qui pourrait être une gestion quotidienne des équipements de confort d'été.

Cette prise en charge par un ou des usagers pourrait-elle figurer dans leur fiche de poste ou faire l'objet d'une mission spécifique ?

### **Préconisations pour la gestion des systèmes**

- Former les usagers ou des référents
- Définir des rôles (qui est en charge de quoi)
- Mettre en place des voyants (ou des alertes calendaires) indiquant quand intervenir

### **Des bonnes pratiques existantes à consolider et généraliser**

Dans un des bâtiments la ventilation est assurée par des ventilations double flux décentralisées. Un voyant s'allume pour signaler les filtres à changer. Tout le monde est au courant, une réserve de mini-filtres est à disposition, et chacun change les filtres de "sa" double flux.



*Changement de filtre d'une ventilation double flux décentralisée*

## 4- Confort thermique d'été : ouvrir, fermer... (se) rafraîchir

### 4.1- Préconisations/principes/consignes

Ces 3 mots ont un sens distinct :

- Préconisations : terme utilisé en conception, le “sachant” (maître d'œuvre, mais aussi entreprise etc.) exprime un choix technique sur lequel il engage sa responsabilité.
- Principes : c'est un ensemble de “bonnes” pratiques et de représentations qui semble partagé et accepté.
- Consignes : ce que l'on retrouve sur les documents affichés ou transmis en interne dans une structure. Elles sont plus formalisées, elles peuvent (doivent) s'adapter au contexte et elles peuvent aussi être « sanctionnées » en cas de non-respect...

Les préconisations sont explicites en phase de conception. Les hypothèses d'usage qui les sous-tendent peuvent (devraient) l'être aussi. Pour autant l'intention initiale des concepteurs est rarement retranscrite auprès des usagers finaux du bâtiment.

Si les principes semblent à priori connus et partagés, en réalité ce n'est pas toujours le cas. Les entretiens ont montré des hésitations, des nuances dans l'appréciation de ces principes pouvant renvoyer à des pratiques parfois éloignées. Notons que même les experts hésitent où s'y trompent !

Quand les principes sont “à priori” connus par les usagers, ils ne sont pas toujours appliqués. Nous avons croisé dans nos visites et entretiens les profils comportementaux suivants :

- des convaincus qui mettent tout en œuvre pour appliquer les principes de ventilation naturelle ;
- des sympathisants à l'idée mais qui ont du mal (individuellement et/ou collectivement) à passer à l'acte ;
- des sceptiques qui ne se sentent pas concernés.

Concernant les consignes, nous avons constaté que même lorsque des documents d'information existent (explicitation des consignes) ils sont souvent peu connus et / ou mal utilisés. Dans les deux cas où elles sont assez collectivement partagées et respectées (mises en œuvre), un référent fait régulièrement des rappels par mail, parfois même à l'oral. Les usagers nous ont majoritairement rapporté l'intérêt de ces rappels.

Dans tous les cas, les usagers doivent s'appropriier les consignes de bon usage de leur espace de travail : il s'agit de les adapter à leur bâtiment et aux usages qui y prennent place.

#### **Point technique : ouvrir du côté ombragé**

« On ouvre les fenêtres le matin du côté ouest pour avoir un peu d'air frais et aérer un maximum possible et fermer les portes. »

Nous avons souvent entendu des usagers dire qu'il pouvait être pertinent d'ouvrir les fenêtres en journée de tel côté du bâtiment car il est à l'ombre et pas de tel autre côté car il est au soleil.

En réalité, que la façade soit au soleil ou pas, l'air extérieur qui pénètre dans le bâtiment est sensiblement à la même température. En effet, l'air, lorsqu'on est à l'abri, est aussi chaud à l'extérieur d'un côté ou l'autre du bâtiment. C'est la température perçue (dite ressentie) à la surface de notre peau qui sera plus élevée si exposée au soleil, mais la température de l'air sera inchangée (le soleil ne réchauffe pas directement l'air, mais les surfaces qui le captent).

Ainsi, faire rentrer de l'air extérieur par une fenêtre ensoleillée aura quasiment le même impact (négatif pour le confort d'été) qu'à travers une fenêtre à l'ombre (si les occultations sont utilisées et donc que le soleil ne « rentre » pas dans la pièce).

### **Préconisations générales vis-à-vis du confort d'été**

Les préconisations « classiques » sont :

- Ventiler la nuit et généralement en début de matinée tant que les températures extérieures sont plus basses que les températures intérieures (et surtout pas en milieu de journée et l'après-midi lorsque les températures extérieures sont très élevées a fortiori avec, en été, une avance de l'heure légale sur l'heure solaire qui augmente d'une heure<sup>9</sup>)
- Se protéger des apports solaires directs mais aussi diffus lorsque les surfaces vitrées sont importantes ;
- Limiter les apports internes de chaleur liés aux équipements qui sont souvent prépondérants dans les espaces de bureau. Cela peut se faire par l'utilisation d'ordinateur portable, moins énergivores que les tours, par l'optimisation de l'éclairage, et globalement de tous les systèmes électriques, etc.

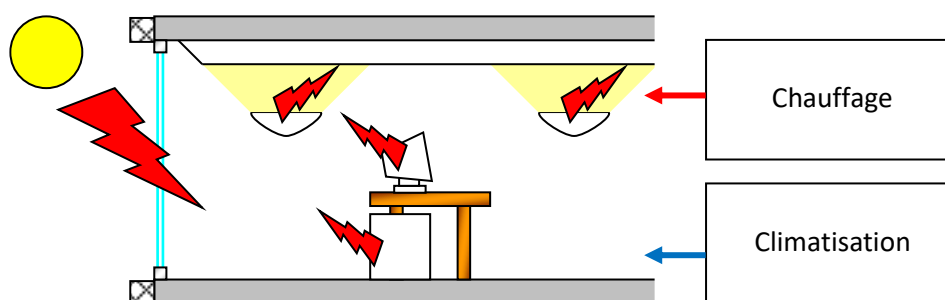
Thermiquement, c'est ce qu'on attend d'un comportement idéal de l'utilisateur (énergétiquement, environnementalement et économiquement en raison de l'impact financier des consommations énergétiques), et, a priori, ce qui conduit à un meilleur confort d'été d'un point de vue indicateurs classiques.

### **Point technique : gestion du confort d'été**

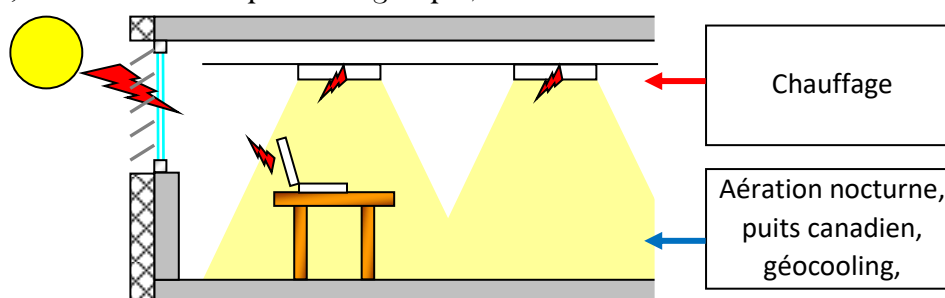
Les schémas suivants proposent une synthèse des « bonnes pratiques » de conception, par opposition à des pratiques courantes :

---

<sup>9</sup> En France métropolitaine l'heure « à la montre » dite « heure légale », est la même partout . Or les endroits qui ont des longitudes différentes ne sont pas à la même heure réelle dite « heure solaire » dont le midi (comme « milieu du jour ») est défini par le moment où le soleil passe au zénith. Cet écart entre heure légale et heure solaire est, par exemple, en heure d'hiver de 45 mn pour Nice tandis qu'il est de 1h30 pour Brest. En heure d'été cet écart augmente encore d'une heure pour passer à 1h45 pour les villes les plus à l'Est à 2h30 pour les villes les plus à l'Ouest. Pour Montpellier cet écart sera ainsi d'environ 2 heures en été. Comme le moment le plus chaud de la journée en été est en général entre 14h et 15h en heure solaire ce moment se produira donc « à la montre » entre 16h et 17h qui sera ainsi le pire moment pour ventiler ...



Conception conventionnelle : pas d'optimisation des apports internes ni des apports solaires : une climatisation active est nécessaire (voir partie « Maîtriser les apports internes », notamment l'impact énergétique)



Conception passive du confort d'été : l'inertie du bâtiment (noter que sur le schéma le faux plafond est ouvert pour ne pas "couper" l'ambiance de l'inertie de la dalle), la maîtrise des surfaces vitrées, les occultations (voir partie « Utiliser les protections solaires ») et la surventilation, éventuellement renforcées par un rafraîchissement "quasi-gratuit" (brasseur d'air, puits canadien, géocooling, rafraîchissement adiabatique) permettent d'éviter la climatisation.

Source : Enertech, Rapport de synthèse de l'AMO Bourgogne<sup>10</sup>

Si les principes ou préconisations classiques de la ventilation naturelle nocturne peuvent sembler assez clairs sur le papier, dans la pratique, ceux-ci comportent quelques flous et laissent place à des niveaux d'appréhension et d'appréciation diverses. Cela est valable sur les questions thermiques pour les usagers peu experts mais pour ceux plus experts, dans une moindre mesure cependant.

La réalité perçue par les usagers est que « ventiler la nuit seulement » est une vision un peu manichéenne y compris en termes de réalité physiologique de perception du confort : en effet pour des journées d'été moyennes on se sent parfois mieux physiologiquement avec un air (généralement sec sauf lorsqu'on est à moins de quelques centaines de m de la mer) qui entre à 29°C ou 30°C mais qui provoque du confort ressenti par la vitesse d'air sur la peau et le lien (olfactif, acoustique,...) avec l'extérieur, qu'en étant enfermé même si on a réussi au cours de la nuit d'avant à descendre l'ambiance à , par exemple 26°C. Il semble donc même que le sentiment de « non enfermement » puisse être plus

<sup>10</sup> Rapport de synthèse de l'AMO Bourgogne, Enertech pour la Région Bourgogne, publié en 2017, 225 p. <https://www.enertech.fr/rapport-de-synthese-amo-bourgogne/>

important pour le confort que la perception potentiellement dérangeante du bruit de la rue, si celui-ci reste dessous d'un certain seuil.

En d'autres termes, ventiler la nuit n'est qu'une partie de la réponse à cette problématique complexe de « quelles pratiques pour un confort passif global » et donc ce n'est pas la seule réponse, ni partout, ni tout le temps, ...

Il faut donc évidemment que les « solutions » soient globalement gagnantes pour les usagers - ce qui n'est pas non plus toujours le cas avec l'ouverture en journée (c'est parfois une solution palliative ou un non-choix, voir le paragraphe 2.3- "Avoir de l'air"). Les freins doivent être analysés et pris en compte ce qui ne veut pas dire que l'évolution des pratiques ne soit pas possible.

Il s'agit donc d'évaluer et de mettre en évidence l'écart entre les hypothèses prises en conception et la réalité telle qu'elle est perçue par les usagers.

#### 4.2- Ouvrir la "nuit", ou plus exactement quand il fait encore plus frais dehors que dedans

Ouvrir les fenêtres pour pratiquer la ventilation naturelle dite "nocturne", c'est-à-dire pour rafraîchir le bâtiment en profitant de températures extérieures fraîches, c'est ouvrir en grand pour générer un courant d'air sensible et donc un fort taux de renouvellement d'air. Les débits n'ont rien à voir avec ceux du renouvellement d'air hygiénique, visant à maintenir une bonne qualité d'air (il y a facteur d'environ 10, voire davantage, entre les deux taux).

##### *Les fenêtres sur l'extérieur*

La question de la perception d'insécurité par rapport aux risques d'intrusions est l'obstacle le plus courant à l'usage de la ventilation naturelle nocturne.

« Dans les pièces bureaux, c'est à niveau d'homme. Y'a des problèmes d'assurance... niveau sécurité », "Les fenêtres sont fermées la nuit... car on peut monter avec une échelle »

#### **Préconisations relatives aux fenêtres pour permettre de ventiler naturellement la nuit sans risque d'intrusion**

- La mise en œuvre d'ouvrants oscillo-battant ou encore de grilles extérieures permettent d'assurer la ventilation nocturne et, simultanément, la sécurité anti-intrusion.
- Si les fenêtres existent et sont battantes on pourra rajouter un système de blocage durable, inaccessible depuis l'extérieur et permettant la ventilation tout en empêchant l'intrusion.
- En ce qui concerne les grilles de protection anti-intrusion, elles doivent être conçues pour qu'on puisse les enlever manuellement (système vissé intérieurement) en période où elles ne sont pas utiles, car elles réduiraient les apports lumineux et les apports solaires passifs en hiver.
- Il est également possible de prévoir un ouvrant dédié à la ventilation nocturne, qui pourra être protégé de la pluie et de l'intrusion par un brise-soleil fixe.





*Exemple d'intégration architecturale d'un ouvrant dédié à la surventilation nocturne, derrière un brise-soleil fixe métallique. (Source de la photo : Rapport AMO Bourgogne)*

*Selon le niveau d'implication des usagers, son ouverture pourra être manuelle ou automatique (pour s'ouvrir vers 2h du matin, quand la température est la plus fraîche)*

En dehors des risques d'intrusion, les autres freins à la ventilation naturelle nocturne invoqués ont été :

- les moustiques dans les zones rurales de plaine mais qui sont moins importants dans les espaces à usage diurne ;
- le bruit mais qui dans les bureaux est moins problématique que pour les espaces nuits des logements.

#### **Préconisations relatives à la protection contre les moustiques**

- Mettre en place des moustiquaires amovibles, soit parce qu'elles sont montées sur des cadres, démontables en hiver, soit parce qu'elles sont munies d'un dispositif durable à enroulement comme installé sur un des bâtiments d'étude.

La question de « quand ouvrir ? » se pose aussi (qui ne fait pas l'unanimité même chez les spécialistes !) :

- en partant en fin de journée alors qu'il fait encore trop chaud dehors ?
- le matin mais jusqu'à quelle heure ?

#### **Préconisations relatives aux fenêtres pour mieux déterminer quand ouvrir ou fermer les fenêtres**

- Mettre en place des capteurs de température intérieure et extérieure avec afficheur indiquant le sens du flux de chaleur et par conséquent indiquant la pratique à avoir.

- En cas d'ouverture automatique, l'ouverture peut se faire forfaitairement à 2h du matin.
- Pour la gestion manuelle, le plus simple semble de tout ouvrir dès que possible à l'arrivée du premier utilisateur, et de tout fermer autour de 10h qui est généralement l'heure à laquelle en été la température extérieure redevient supérieure à la température intérieure et correspond aussi ... au moment de la pause café !

### Retour mesures : ouverture des fenêtres

Nous avons observé une très grande disparité quant à la gestion des ouvertures de fenêtres d'un bâtiment à l'autre. Le constat général est que :

- l'ouverture nocturne est quasiment inexistante ;
- l'ouverture matinale exclusive est peu pratiquée ;
- l'ouverture en journée est très courante ;
- l'ouverture des vantaux dans les parois internes sur couloir est très peu utilisée ;

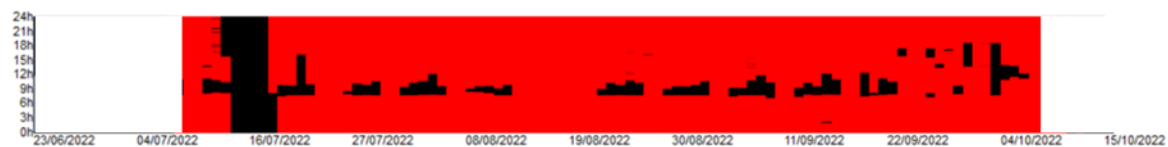
Autrement dit, nous avons constaté des pratiques opposées à ce qui est prévu et attendu dans la conception du fonctionnement du bâtiment.

*Aide pour la lecture des résultats des feuille-mètres :*

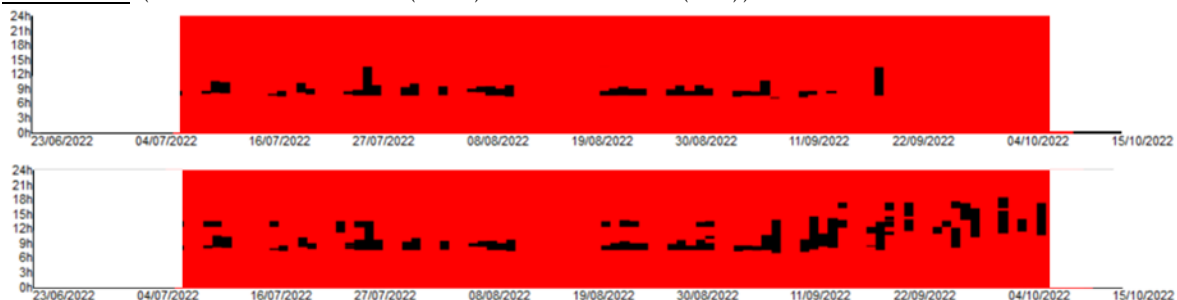
*Les résultats ci-après sont présentés sous forme de "heat-maps", c'est à dire que les données horaires sont représentées par nuance de couleurs (ici : noir = fenêtre ouverte ; rouge = fenêtre fermée) par tranche journalière. Autrement dit, chaque colonne représente une journée, en allant, de bas en haut, du matin au soir.*

#### **Bâtiment 1)**

##### Bureau 1 (ouverture battante)



##### Bureau 2 (ouverture battante (haut) et basculante (bas))

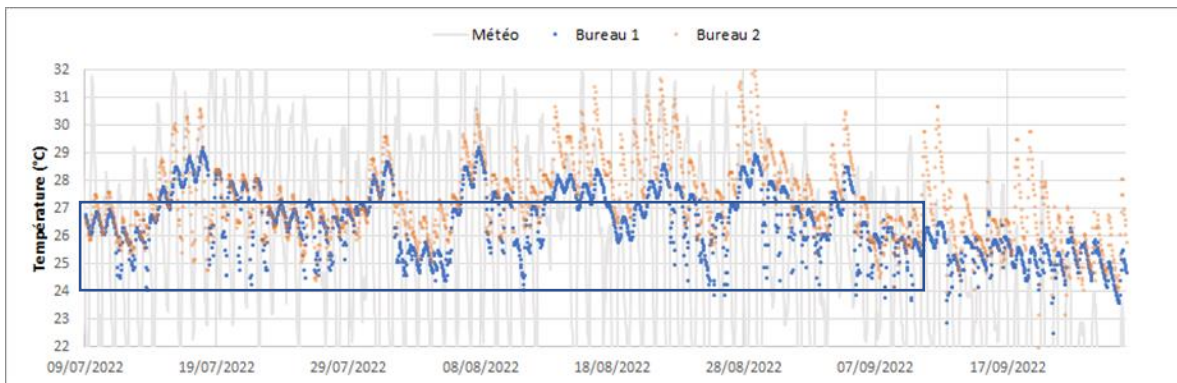


Dans ce bâtiment, les fenêtres sont ouvertes en matinée de façon traversante entre ces deux bureaux de sorte à rafraîchir le bâtiment.

Dans le 2ème bureau on observe parfois des ouvertures en mode "oscillo" (basculante) en milieu de journée (entre midi et 15h), probablement, à partir des retours des usagers, pour apporter un peu d'air et pour améliorer le confort olfactif a fortiori lors de la présence d'un invité. Cette ouverture basculante devient dominante en fin d'été (en

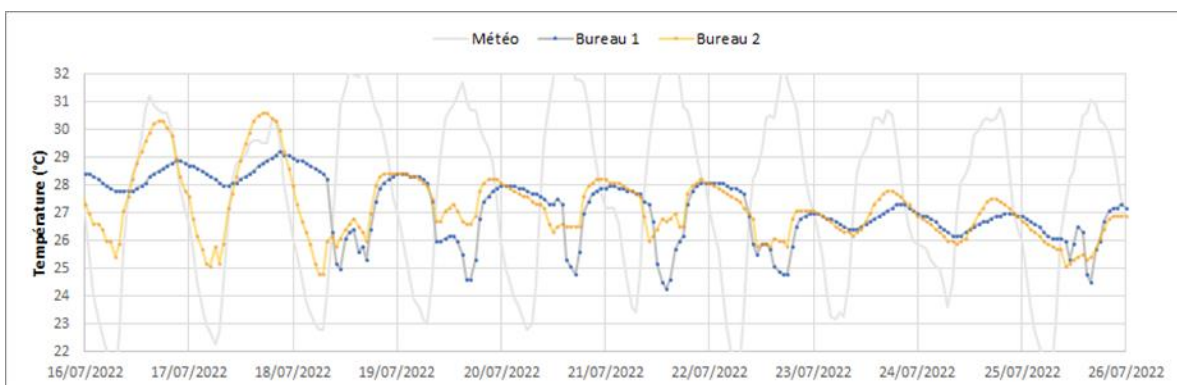
septembre), probablement pour limiter les surchauffes liées aux apports climatiques et internes.

Il est notable de relever que la pratique “recommandée” d’ouverture matinale des fenêtres n’a été observée via les mesures que pour ce bâtiment qui est climatisé ensuite en journée. On peut toutefois s’interroger sur la durée d’ouverture matinale peut-être trop longue et finissant donc par faire entrer de la chaleur en fin de matinée nécessitant, de fait, un rafraîchissement par la suite.



On observe que les températures sont maintenues entre 24 °C et 27°C. Les dépassements (hors cadre) correspondent à des périodes d'inoccupation (week-end ou congé). Le bureau 2, exposé au Sud, est bien plus sujet aux surchauffes comme on le voit nettement sur les périodes d'inoccupation fin août.

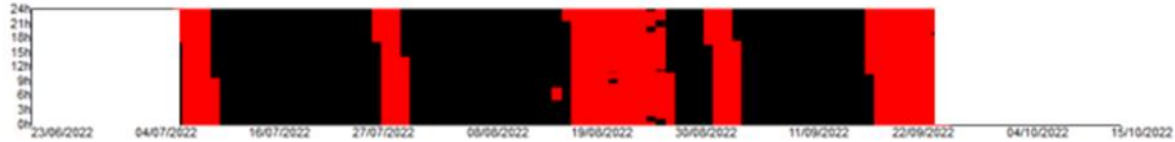
Les baisses ponctuelles de température correspondent moins à la ventilation matinale qu'à l'utilisation de la climatisation comme le montre le détail ci-dessous.



En effet sur cette période (du 16 au 18/07), le bureau 2 est resté ouvert et sa température tend vers la température extérieure, contrairement au bureau 1. L’ouverture des fenêtres le 18/07 au matin permet de bien faire redescendre la température du bureau 1, toutefois, deux heures plus tard la température extérieure est déjà trop importante et la climatisation prend le relais. On observe que dès que la climatisation est arrêtée, le bâtiment remonte rapidement à 28°C et ne redescend quasiment pas la nuit (alors que la température extérieure descend fortement). Il ne profite pas de potentiel de rafraîchissement nocturne. La dynamique des autres jours est similaire.

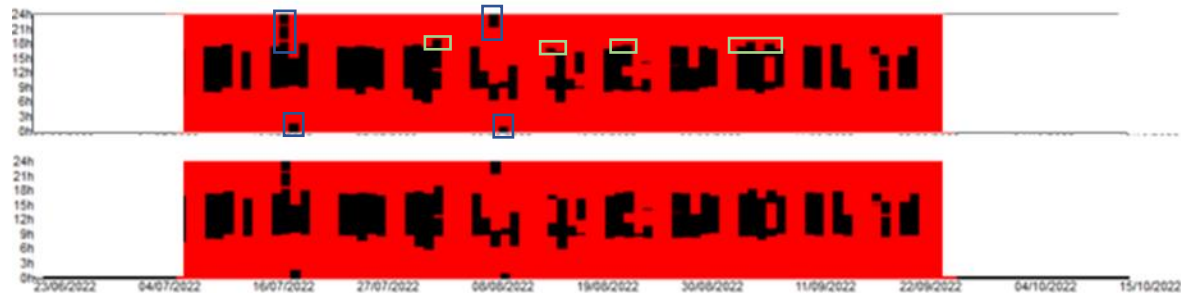
Ainsi la ventilation matinale ne joue qu'un rôle modeste en permettant a minima de retarder la relance de la climatisation (pour refroidir les bureaux qui sont restés chauds soit après le week-end soit lors de la journée précédente). Elle ne suffit pas comme on le voit avec la remontée en température en fin de journée une fois la climatisation coupée.

## **Bâtiment 2)** **Grande salle**

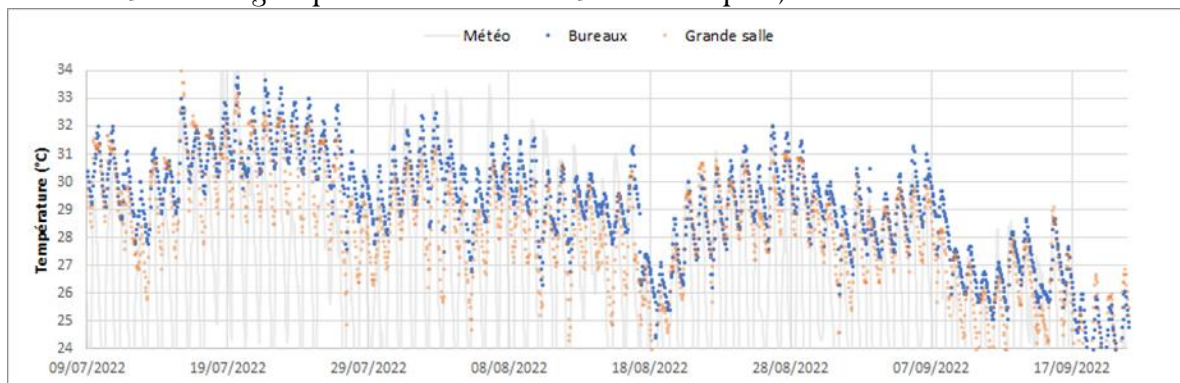


Cette pièce d'accueil du public dispose d'ouvrants haut ouverts quasiment en permanence (nuits comprises) sauf certains week-ends, lors des congés et en fin de période estivale.

## **Bureaux** (ouverture battante (haut) et basculante (bas))



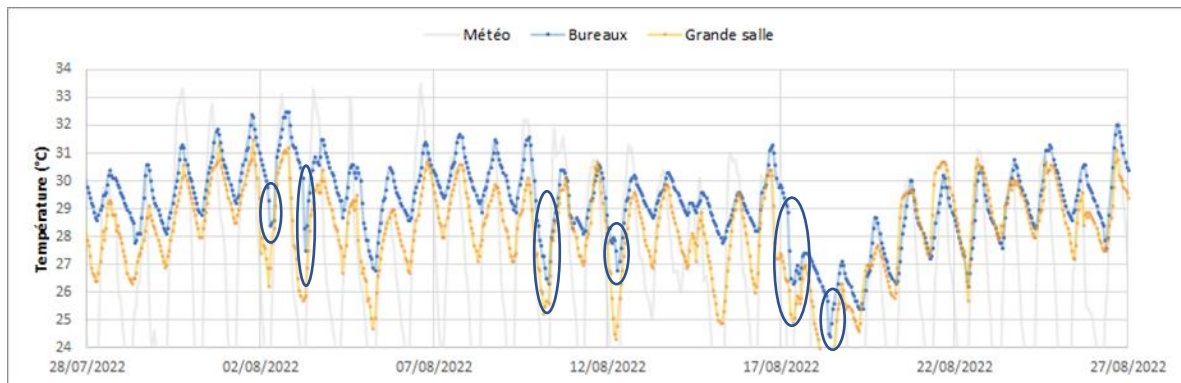
Les fenêtres des bureaux adjacents sont, quant à elles, ouvertes en grand (battant) uniquement en journée, dans le but de créer un courant d'air. On n'observe que deux ouvertures nocturnes (zones encadrées en bleu ; fermeture autour d'une à deux heures du matin) autour du 16/07 et du 08/08. Et on observe également des ouvertures matinales plus précoces à partir du 27/07 (zones encadrées en vert) pendant 3 semaines (en partie à la suite des échanges que nous avons eu dans le temps 2).



Les températures intérieures sont très élevées : elles suivent la température extérieure en journée sans redescendre notablement la nuit pour les bureaux dont les fenêtres sont fermées à ce moment-là. Cette température redescend mais de façon assez modérée pour la grande salle dont les ouvrants hauts restent ouverts la nuit mais sans permettre un

renouvellement d'air suffisant pour une décharge thermique plus importante (ouverture basculante avec une faible surface ouverte et aucun ouvrant en position basse).

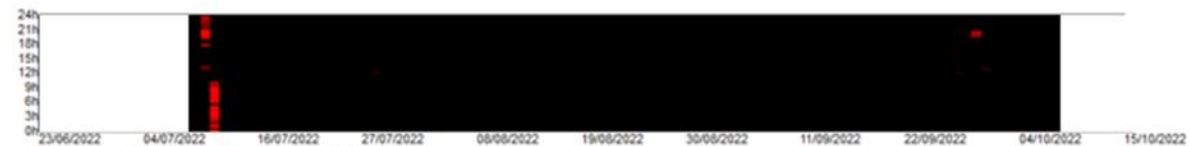
L'ouverture toute la journée, ou pire, uniquement le jour, ne permet pas de rafraîchir naturellement le bâtiment la nuit et fait en outre entrer la chaleur extérieure en journée.



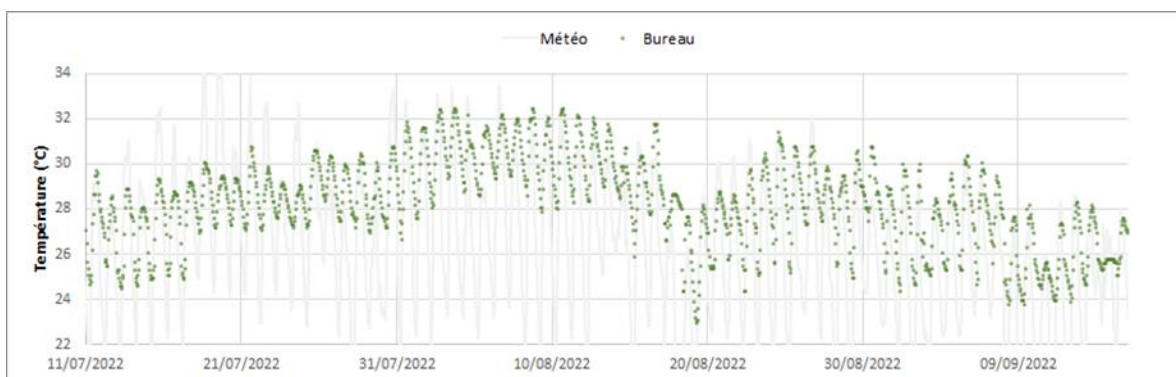
Nous observons par ailleurs que les moments où les fenêtres des bureaux ont été ouvertes plus tôt ont permis de faire notablement redescendre la température de ceux-ci (zones entourées en bleu ; amplitude bien plus marquée que les autres jours), ce qu'avaient relevé les usagers. Toutefois, le fait d'avoir ensuite laissé ouvert pendant la journée n'a pas permis de profiter de la « fraîcheur » captée le restant de la journée.

### Bâtiment 3)

#### Bureau



Dans un des bureaux de cet autre bâtiment, les fenêtres sont globalement ouvertes en continu, jour et nuit.



Les observations concernant les températures sont similaires à ce que nous avons observé précédemment : les températures tendent vers la température extérieure en journée et la décharge thermique nocturne n'est pas suffisante.

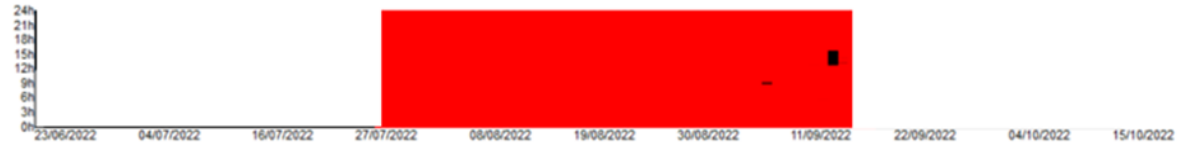
### Bâtiment 4)



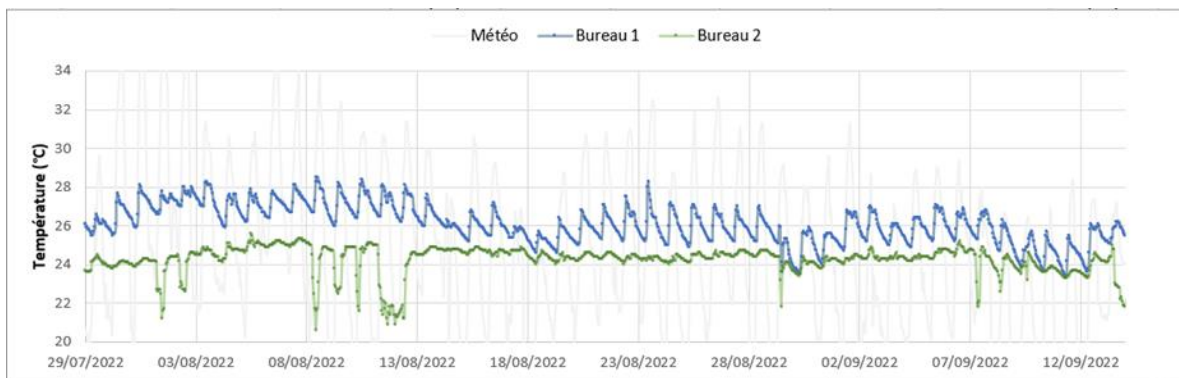
## Bureau 1



## Bureau 2



Dans ces deux bureaux, les fenêtres restent fermées en permanence.



Dans le 2ème bureau, la climatisation semble fonctionner en permanence (jour et nuit tout l'été) avec une consigne nominale à 24°C et des « impulsions » à 22°C (ce que notre enquête de terrain, volonté de l'utilisateur de se « rafraîchir » fortement, nous a confirmé).

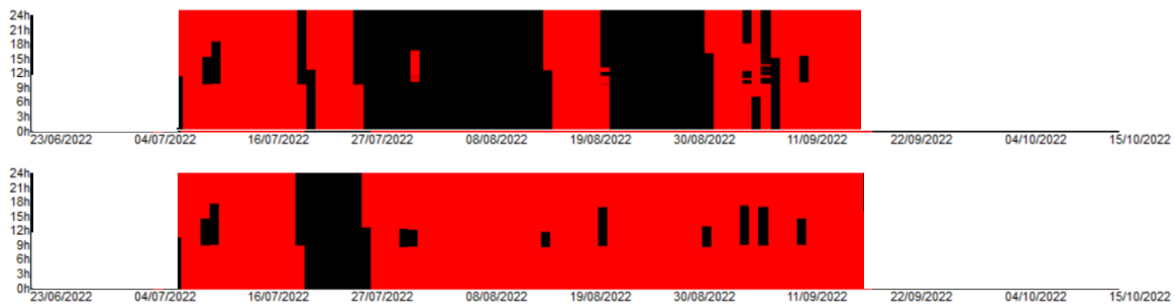
L'utilisateur du 1er bureau nous a indiqué ne pas utiliser la climatisation. Toutefois la descente en température en journée lorsque la température extérieure augmente, semble indiquer le contraire, ou du moins que ce bureau bénéficie de la climatisation « indirecte » des locaux adjacents. De plus, on observe une montée brutale en température tous les matins, qui suit quasiment exactement la température extérieure. Cela semble indiquer que des fenêtres sont grandes ouvertes, contrairement à la mesure du feuillure-mètre qui a potentiellement été défaillant.

## **Bâtiment 5)**

Bureau 1 (ouverture battante (bas) et basculante (haut)) :

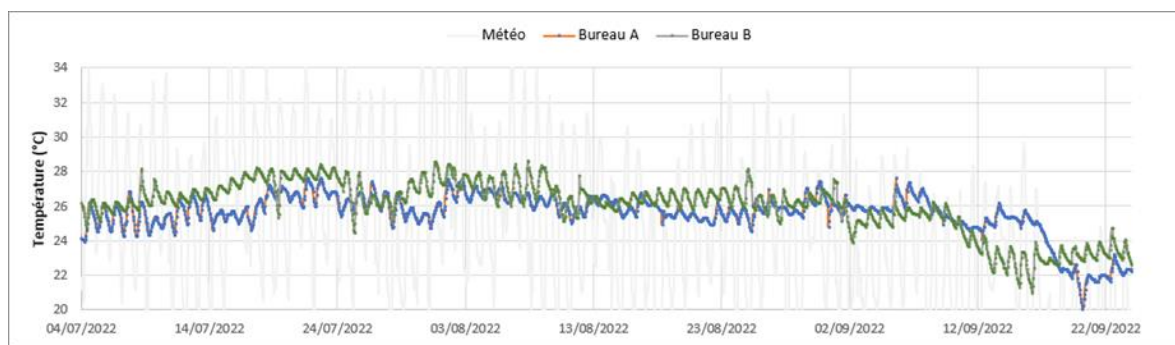


Bureau 2 (ouverture battante (bas) et basculante (haut)) :



Dans le premier bureau de ce bâtiment non climatisé, on observe que tout le mois de juillet et jusqu'à début août les fenêtres sont ouvertes en permanence, jour et nuit, en oscillo (basculant) avec quelques ouvertures complètes (en battant) très ponctuellement en journée. L'ouverture oscillo tend ensuite, lorsque les températures extérieures deviennent plus clémentes, à se restreindre à la journée uniquement.

La pratique dans le second bureau est similaire avec une ouverture en oscillo permanente plus réduite (première moitié d'août) et (fin août-début septembre).



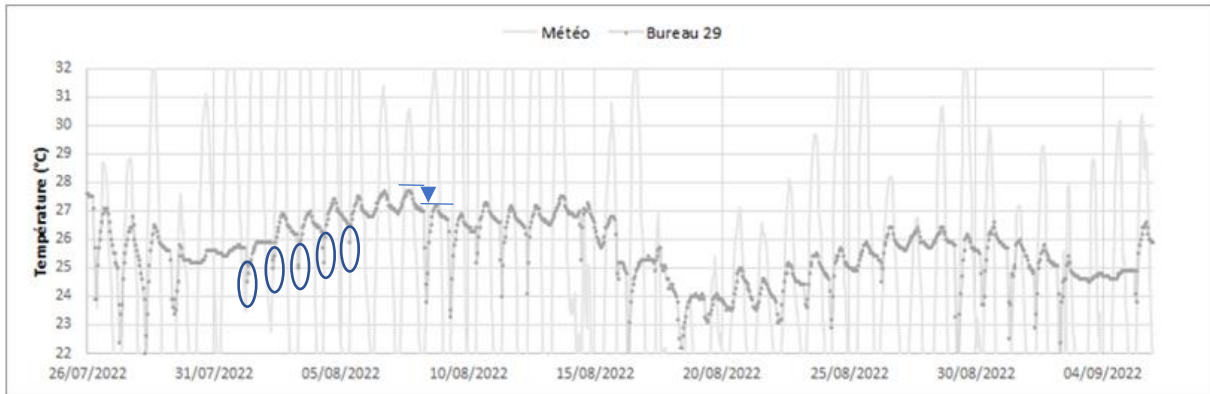
Contrairement aux cas précédents, cette ouverture diurne en "oscillo" ne semble pas avoir de répercussion majeure sur la température intérieure des bureaux, qui oscille entre 24/25 et 28°C lors de la période estivale instrumentée, plus proche de la température extérieure moyenne que des maximums (le deuxième bureau moins ouvert en "oscillo" est toutefois plus frais que le premier).

Plusieurs éléments peuvent expliquer cela :

- une conception générale poussée vis-à-vis du confort d'été (maîtrise des apports internes et des apports solaires, inertie, etc.) ;
- une ouverture des fenêtres limitée en oscillo permettant de limiter le taux de renouvellement d'air et donc l'échauffement ;
- des bureaux qui bénéficient d'un bâtiment globalement (dans les autres bureaux) géré en ventilation naturelle nocturne.

### Bâtiment 6)

Pour ce dernier bâtiment, aucun feuillure-mètre n'a été installé, mais la pratique concernant l'ouverture des fenêtres en période caniculaire est connue : elle consiste à ouvrir le matin les fenêtres en grand de façon généralisée pour rafraîchir l'ensemble du bâtiment.



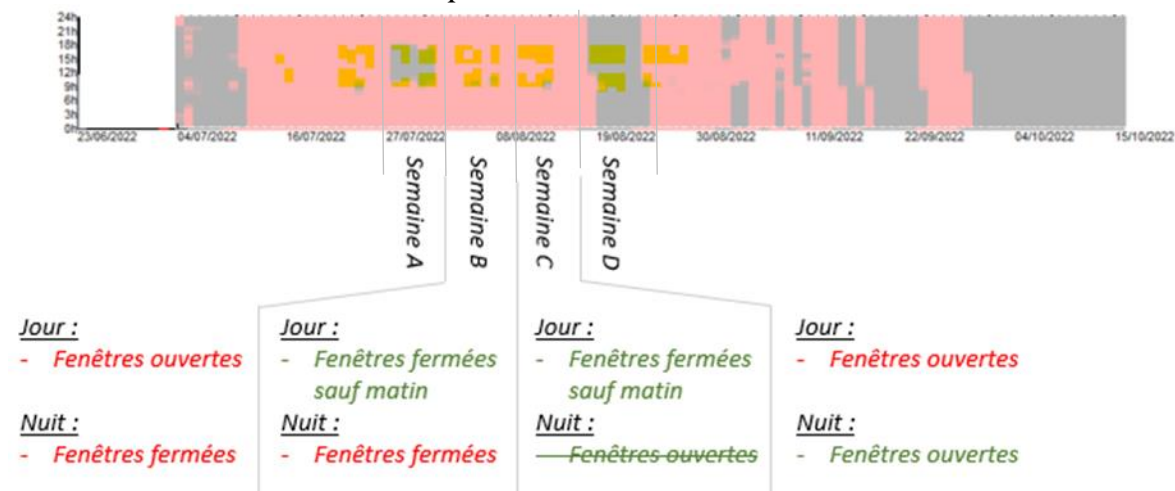
Cette pratique s'observe clairement sur les courbes de température par la mise en évidence d'une baisse de 2°C à 3°C le matin sur une à deux heures, hors week-end (comme indiqué avec les zones entourées en bleu sur une semaine arbitraire).

Les données présentées ici concernent l'un des bureaux les plus chauds du bâtiment. Nous observons que la ventilation pratiquée, couplée à une gestion attentive des apports solaires, et des apports internes permet de maintenir ce bâtiment à une température inférieure à 28°C aux périodes les plus chaudes de l'été, sans aucun système actif de rafraîchissement. Et ce résultat est observé non seulement pendant les périodes d'occupation comme cela peut être le cas dans les bâtiments climatisés.

A titre d'illustration du potentiel, nous observons que le lundi 08/08 la ventilation matinale a permis de gagner près de 1°C (flèche bleue) par rapport aux niveaux de température du week-end et ce sur toute la semaine alors que la température extérieure maximale augmentait progressivement les jours suivants.

### Cas d'étude spécifique

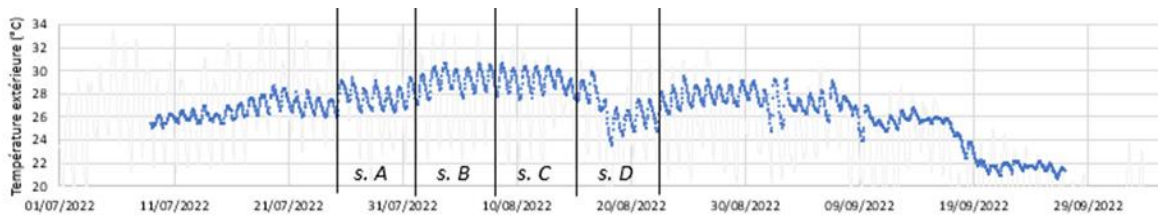
Enfin, intéressons-nous à un cas où l'utilisateur a accepté de changer ses pratiques d'une semaine sur l'autre suivant la séquence suivante :





Note : l'occupation relevée à partir de la frise chronologique est représentée en transparence sur la « heat map » de l'ouverture de fenêtres (occupation = sur-brillance jaune).

A priori, la semaine la plus favorable devrait être la semaine C, mais les fenêtres n'ont pas été ouvertes la nuit tandis que la plus défavorable est la semaine A. Toutefois, ces différentes séquences ne peuvent pas être comparées entre elles car les séquences climatiques ne sont pas les mêmes : les semaines A et D ont été plus favorables (températures extérieures plus faibles) que les semaines B et C.



Cependant, nous observons :

- que l'ouverture des fenêtres en journée, lors de la semaine A, a occasionné une élévation brutale de la température intérieure (apports importants de chaleur via l'air extérieur faisant tendre la température intérieure vers les maximaux extérieurs versus -très logiquement- une température intérieure très proche de la moyenne de la température extérieure avant) alors que les conditions météorologiques étaient plus favorables ;
- que sur les semaines B et C, la ventilation matinale ne permet pas de redescendre suffisamment en température car celle-ci est effectuée trop tard, entre 9h et 10h (la température extérieure étant déjà trop élevée) ;
- que l'ouverture en continu, jour et nuit, permet logiquement de faire retendre la température intérieure moyenne vers la température extérieure moyenne.

*Attention : la corrélation entre ces différentes pratiques et les températures intérieures constatées est à prendre avec précaution car d'autres paramètres influent également sur le confort d'été (apports internes, apports solaires, inertie, etc.). Toutefois les éléments présentés précédemment mettent en avant les grandes tendances et ont lieu dans des bâtiments pour lesquels un travail global sur le confort d'été a été mené même s'il n'est pas toujours parfait*

En résumé, les mesures mettent en évidence :

- **une diversité de pratiques**
- **une ouverture diurne très pratiquée**
- **une ouverture nocturne quasi-inexistante**
  
- que logiquement **une forte ventilation diurne ne permet pas de maintenir un niveau de température confortable** lors des périodes les plus chaudes (la température intérieure tend alors vers la température extérieure)

- qu'une ventilation nocturne, ou matinale pratiquée suffisamment tôt, avec une surface d'ouvrant nette suffisante offre un potentiel de rafraîchissement significatif et peut permettre de maintenir un niveau de confort d'acceptable à bon si toutefois les autres facteurs jouant sur le confort d'été (apports internes et solaires, inertie, etc.) sont gérés dans le cadre d'une démarche globale

### Des bonnes pratiques existantes à consolider et généraliser

- Dans l'un des bâtiments une pratique de ventilation matinale existait : elle a été généralisée après le temps d'échange 2.
- De même, un changement de pratique a également eu lieu dans un second bâtiment avec l'implication des usagers qui arrivaient le plus tôt pour ouvrir les fenêtres de l'ensemble du bâtiment.

#### *Les portes intérieures*

L'ouverture des portes intérieures sur les couloirs lors des ventilations nocturne ou de matinée permettent d'assurer une ventilation plus efficace car traversante. Toutefois lors des ventilations matinales certains bureaux doivent rester fermés pour des raisons de « confidentialité » ou de gêne acoustique. Par ailleurs l'ouverture de ces ventilations internes posent la question de la sécurité à l'intrusion dans le bureau. Les ouvertures ajoutées dans les portes intérieures du bâtiment 5 ont tenu compte de cette dernière problématique.

Si le principe du « premier qui arrive ouvre » (expression qui revient souvent) semble valable dans la plupart des bâtiments enquêtés, il n'y a jamais de formalisation explicite collective de ce principe. Cela se fait au gré "du bon vouloir individuel", de façon parfois aléatoire.

*Notons que dans un bâtiment, nous avons pu observer l'organisation et la gestion d'une ventilation naturelle décidée collectivement. Dans deux autres bâtiments, à l'issue des réunions collectives, les usagers ont exprimé leur volonté de gérer cette problématique collectivement, en ayant par exemple des référents par étages et/ou corps de bâtiments. Dans les autres cas, soit cette question n'a pas été abordée, soit les participants aux réunions ont exprimé la grosse difficulté à mettre ces principes en application (impossibilité due aux aspects sécuritaires déjà évoqués et pas de présence d'usagers tôt le matin ou tard en journée pour ventiler aux moments plus propices).*

### Préconisations générales concernant la ventilation naturelle

Il s'agit d'explicitier formellement dans le bâtiment les principes de la ventilation naturelle nocturne sans oublier AUCSI les aspects de sa mise en œuvre individuelle et collective. Des réunions d'équipe sur ces aspects pourraient avoir lieu fréquemment. Plus globalement, tout comme se tiennent régulièrement des commissions de risques incendie ou autres, nous pourrions envisager des **commissions confort (et économies d'énergie)** avec un référent par étage ou par corps de bâtiment par exemple (ce qui est déjà mis en

application, de façon non formalisée explicitement, dans certains cas). Des rotations possibles des responsabilités pourraient avoir lieu. Cette commission serait aussi une bonne “instance” pour enquêter de l’intérieur sur les conditions de confort, les consommations énergétiques et les dysfonctionnements éventuels.

### 4.3- Fermer la journée

#### *Fenêtres*

Garder les fenêtres fermées en période chaude n’est pas évident, car les usagers expriment le « besoin de respirer » (on retrouve cette expression très souvent) et une « recherche du courant d’air » (voir plus haut).

#### *Portes*

La plupart des usagers disent laisser les portes de leur bureau ouvertes par habitude. Ils ne semblent pas se poser de questions à ce niveau. Nous avons observé, et on nous a majoritairement dit et répété au cours des entretiens, qu’en mode occupé, les bureaux étaient peu fermés en journée.

Il n’est pas évident de garder la porte fermée en journée : « ça rentre, ça sort » ...

« J’aime pas quand tout est fermé... ». « Ça me dérange pas quand tout est ouvert »

Si les raisons ou les conditions pour que les portes soient fermées sont diverses, elles ramènent peu à la recherche d’un quelconque maintien d’une température fraîche.

- Majoritairement, cette pratique est due à une recherche de confidentialité ou au souhait ne pas être dérangé à l’occasion d’un appel téléphonique ;
- Dans quelques cas, cette pratique permet de faire savoir que personne n’est dans le bureau. ;

La pratique du bureau qui reste ouverte permet d’éviter de laisser penser qu’on veut s’isoler des collègues. « C’est pas super bien vu ». Le risque exprimé est qu’on pense que celui qui s’isole ne veut pas se sociabiliser avec ses collègues, qu’il ne travaille pas ou qu’il préfère manger seul par exemple.

La pratique de bureaux avec des portes constamment ouvertes en journée est aussi observée dans les deux bâtiments avec des climatisations à commandes individuelles, entraînant des surconsommations énergétiques liées au fait que les bureaux rafraîchissent les couloirs, voire même d’autres bureaux.

Il n’y a pas de synchronisation de gestion des ouvertures de portes pas plus que des autres dispositifs passifs ou actifs.

Les pratiques se font aux grés des uns et des autres et parfois des co-présences dans les bureaux mais sans véritables règles ou principes collectifs.

Dans la phase test (temps 2), dans le cas du bâtiment disposant d’un seul bureau partagé en « *open space* », et malgré l’envie des usagers de mettre en place une pratique de fermeture en journée la difficulté de fonctionnement vient du fait que ceux-ci ne voient pas la porte d’entrée principale (qui accueille le public qui peut entrer sur le site et circuler



de façon libre) et ont la sensation « d'être enfermés ». («j'aime pas quand tout est fermé... je me sens enfermé »).

### Préconisations pour les fermetures des fenêtres et des portes

Une réflexion doit être menée sur le fait d'avoir des portes en tout ou partie vitrées avec des parties ouvrantes ou des portes avec des impostes ouvrants. Une porte vitrée sur le couloir permettrait de conserver la fraîcheur en journée sans trop isoler visuellement l'utilisateur du reste du bâtiment et de son entrée principale. Une ouverture pour la ventilation nocturne peut être prévue dans cette partie vitrée (comme dans le bâtiment 5) ou bien être implantée en imposte.

#### 4.4- Limiter l'échauffement

##### *Utiliser les protections solaires*

Certains usagers ont bricolé, avec des moyens très limités, des protections solaires extérieures car les bâtiments étudiés ne sont pas pourvus tous et partout de dispositifs optimaux.

Globalement ces protections sont utilisées par les usagers sauf dans un bâtiment, comme évoqué précédemment.

### Point technique : les occultations

*Occultation extérieure bricolée dans un espace commun en surchauffe fréquente. Bâtiment 3*

Plusieurs études ont évalué l'impact relatif des "bonnes pratiques" de conception du confort d'été passif. Voir récemment l'étude [RITE du Cerema](#).<sup>11</sup> Ces études identifient les occultations comme l'un des points les plus impactants sur le confort d'été (avec la possibilité de ventilation nocturne et... l'usage).

Les bonnes pratiques identifiées sont :

- Prévoir des occultations extérieures **sur toutes les orientations**, y compris (et surtout) les fenêtres de toit.
- Les occultations doivent être **extérieures**. Certes, une occultation intérieure protège l'usager du rayonnement direct, ce qui améliore son confort. Mais la chaleur a déjà traversé la menuiserie, elle se retrouve donc en élévation de température dans le bâtiment. Le mal est fait.
- Les occultations extérieures **mobiles** sont idéales car, contrairement aux brise-soleils fixes, on peut adapter l'occultation aux besoins des usagers et à la saison. En particulier, l'ouverture en grand des occultations mobiles en hiver permet de récupérer tous les apports solaires, ce qui est indispensable pour un bâtiment basse consommation voire Passif.

### *Maîtriser les apports internes*

Les apports thermiques internes sont un paramètre largement méconnu et sous-estimé, voire négligé, par les usagers qui n'ont pas conscience de leur impact thermique et économique.

Ainsi beaucoup d'ordinateurs fixes (de type « tours ») pourraient être favorablement remplacés par des ordinateurs portables.

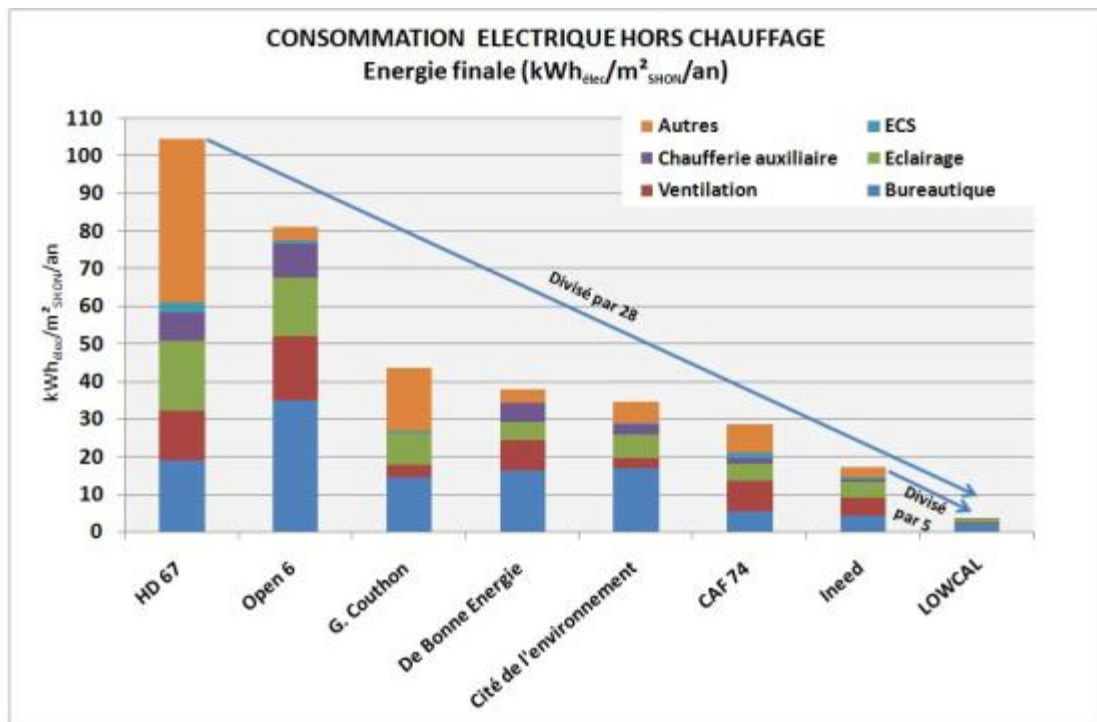
Les factures d'électricité des bâtiments n'ont pas été analysées en détail afin de faire ressortir l'ordre de grandeur de ces apports internes de chaleur, issus du fonctionnement des appareils électriques, qu'il faut évacuer naturellement ou par la climatisation (sauf pour le bâtiment un dont le talon de consommation est de  $120 \text{ kWh}_{\text{elec}}/\text{m}^2/\text{an}$ , voir détail ci-dessous dans le paragraphe "climatisation", mais dont la courbe de charge n'a pas été analysée).

### **Retour d'expérience : consommation électrique**

Les apports internes sont très variables d'une typologie et d'un bâtiment à l'autre. A titre d'illustration, le graphique suivant présente les résultats de campagnes de mesures sur les usages électriques hors chauffage de 8 bâtiments de bureaux, qui varient de plus de 100  $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an}$  d'électricité à moins de 5 !

---

<sup>11</sup> Etude et outil RITE du CEREMA : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/rite-outil-evaluation-du-risque-inconfort-thermique-ete>



*Compilation de retours de campagnes de mesures sur des bureaux.  
Source : Enertech.*

La conception à basse consommation d'énergie de l'éclairage, mais aussi de l'informatique et de l'ensemble des usages permet de diviser radicalement les consommations d'électricité spécifique, et de réduire d'autant les apports internes qui contribuent à l'inconfort d'été.

En effet, toute cette électricité consommée finit en chaleur dans le bâtiment. Si on compte 3 mois de période estivale, c'est un quart de cette consommation annuelle qui contribue à l'inconfort ou à augmenter le besoin de climatisation. Sur le bâtiment le plus consommateur ci-dessus, les  $100 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$  d'électricité spécifique représentent un besoin de climatisation augmenté d'environ  $20 \text{ kWh}/\text{m}^2$  (ramené sur 2 mois et demi de saison estivale soit 20% de l'année), ce qui est énorme !

A l'inverse, le bâtiment LowCal avec moins de  $5 \text{ kWh}/\text{m}^2$  d'électricité spécifique et sa conception passive, n'a pas besoin d'être climatisé.

### Préconisations pour les apports internes

Il nous semble que la ventilation naturelle sera d'autant plus efficace que les apports internes sont minimisés.

La réduction des consommations d'électricité spécifique, souvent négligée car hors du périmètre des usages réglementaires (encadrés par la réglementation RT2012 ou RE2020 ou encore le BBC rénovation) nous semble faire partie intégrante de la conception du confort d'été passif. Nous invitons donc les concepteurs à optimiser les installations d'éclairage (avec les LED et en visant les 200 lux demandés par le code du travail, on peut descendre les puissances installées à  $2 \text{ W}/\text{m}^2$ ), et également à échanger avec les services



informatiques pour encourager les ordinateurs portables et systématiser les mises en veille automatiques de toute la bureautique.

A titre pédagogique, nous recommandons un affichage des consommations (en kWh) et dépenses (en euros) des appareils électriques en valeur absolue ou par comparaison avec la chaleur dégagée par un équipement électrique connu des usagers.

#### 4.5- (Se) Rafraîchir en journée

La « norme » pour les usagers (c'est à dire ce que l'on entend quasi systématiquement) c'est : avoir moins chaud, respirer, SE rafraîchir.

Or, du côté des acteurs classiques du bâtiment (entendu au sens large) il s'agit aussi (sinon principalement) de rafraîchir le bâtiment lui-même.

##### *Que faire pour (se) rafraîchir ?*

Nos observations sont les suivantes :

- Le principe du « premier qui arrive ouvre »
- Ventiler la nuit mais fermer le jour
- (Se) rafraîchir en journée
- par des équipements techniques
- par des migrations (télétravail ou migrer dans d'autres zones du bâtiment ou dehors)
- en buvant de l'eau
- en bougeant c'est-à-dire en sortant du bureau. « Ça me fait rire quand les gens disent qu'ils ont chaud. C'est vrai que quand on ne bouge pas on n'a pas d'air »
- beaucoup plus rarement en créant des courants d'air. La ventilation traversante peut créer des gênes occasionnées par des feuilles qui volent et de la poussière.

##### *Se rafraîchir par des installations techniques*

#### La climatisation

Nous n'avons pas observé de corrélation entre ceux qui ont la climatisation chez eux et ceux qui aiment l'utiliser à leur travail. Certains vantent le confort très "ponctuel" qu'elle peut apporter mais ils en souffrent aussi majoritairement sur le temps long : « ça me fait mal aux os, même aux dents parfois ». Certains disent l'utiliser à contre-cœur....

Un test de changement de pratique en fin d'étude dans l'un des bâtiments (Bat 5) a montré son efficacité. Les usagers ont réduit l'usage de la climatisation en favorisant la ventilation naturelle matinale. Ils nous ont dit avoir vu un gain en termes de confort.

Il y a aussi des usagers qui disent ne pas être favorables à l'usage de la climatisation. Je ne suis « pas pour la clim pour le côté consommation et pour des raisons éthiques et environnementales ». Des exceptions sont relevées dans deux cas : « après si on est nombreux dans la grande salle, peut-être que la clim serait la bienvenue ».

La climatisation est perçue par certains comme la norme pour des bureaux :

“ah bon on peut faire des bureaux sans clim !”

“on veut la clim pour que ce soit confortable”

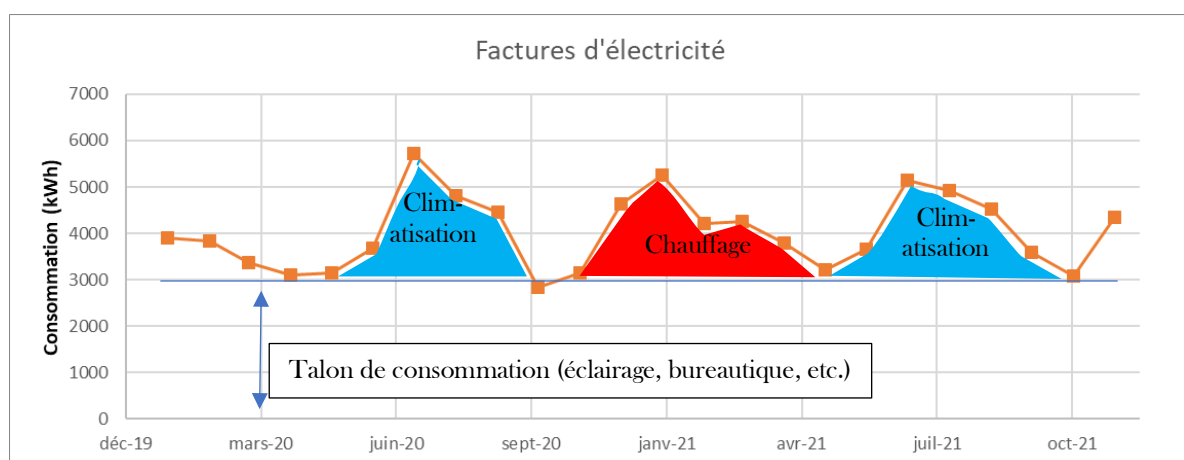
## Retour mesures : consommation de la climatisation

Dans l'un des bâtiments climatisés étudiés, les usagers nous ont dit avoir un usage "raisonné" de la climatisation basé sur les principes suivants :

- rafraîchissement du bâtiment le matin par des courant d'air ;
- mise en marche de la climatisation dans les bureaux de façon intermittente, uniquement lorsque ça devient "insupportable", le temps de faire redescendre suffisamment la température.

Notons toutefois que la climatisation du hall fonctionne en permanence et contribue donc à rafraîchir les bureaux.

Les factures d'électricité nous fournissent les données suivantes :

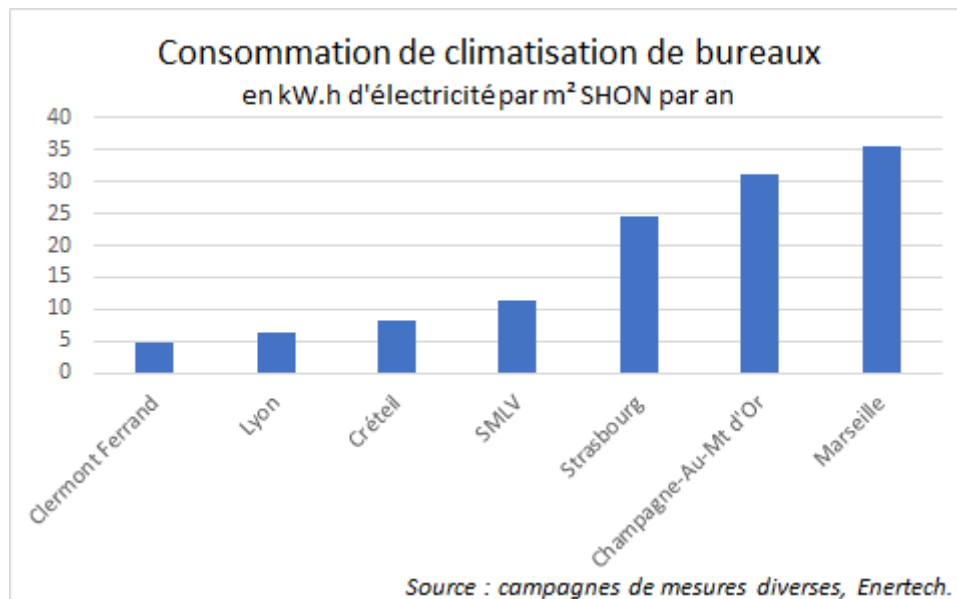


On observe des consommations lors des périodes climatisées du même ordre de grandeurs lors de périodes de chauffage alors que l'usage de la climatisation est ponctuel (uniquement en période d'occupation).

La sur-consommation estivale (due principalement à la climatisation) et hivernale (due principalement au chauffage) est du même ordre de grandeur : 7 000 kWh/an (cumul des consommations supérieures au talon) pour le plateau de 300 m<sup>2</sup> (surface uniquement du plateau de bureau, salles de réunions à usage très ponctuel non prises en compte par simplification, il s'agit donc d'une surestimation), soit 23 kWhélec/m<sup>2</sup>/an pour la climatisation uniquement.

## Comparaison avec des consommations de climatisation mesurées par ailleurs :





*Comparaison des consommations de climatisation de divers bâtiments de bureaux. Source : campagnes de mesures d'Enertech.*

On note que les consommations de climatisation peuvent être très variables, de 5 à plus de 35 kWh/m<sup>2</sup>/an d'électricité. On note aussi que pour plusieurs de ces bâtiments, cette consommation est loin d'être négligeable.

### Les ventilateurs sur pied

Il sont généralement décriés car ils font mal à la tête, génèrent du bruit et des papiers qui volent.

Ils sont généralement présents dans les bâtiments de l'étude mais ils sont très peu utilisés (on n'y pense pas, ils occasionnent des gênes : bruit, souffle désagréable, déplacement de poussières ...).

### Des bonnes pratiques observée à consolider et généraliser

Dans l'un des bâtiments nous avons observé l'utilisation d'un petit ventilateur de bureau par une personne après avoir réalisé une activité physique (rangement, déplacement, etc.), le temps de redescendre la température corporelle, plutôt que d'allumer ou de baisser la consigne de la climatisation.

Les attentes relevées sont d'avoir :

- des systèmes moins bruyants
- des brasseurs d'air plafonniers quand c'est possible

- Les brasseurs d'air

Ces équipements sont méconnus et les usagers doivent être convaincus de leur pertinence pour envisager de pouvoir en bénéficier dans leur bureau notamment. Ils sont installés seulement dans un bâtiment 5 de notre étude où ils ne font que des satisfaits (voir ci-dessous).

#### **Point technique : brasseurs d'air et consommation d'électricité**

Nous avons entendu de la part de certains usagers qu'il fallait mieux "avoir un usage raisonné de la climatisation que de faire tourner en permanence un ventilateur".

La réalité est que des brasseurs d'air plafonniers de 60 W à courant alternatif même s'ils fonctionnaient 8h par jour 22 jours par mois sur 4 mois conduiraient à des consommations à peine supérieures à 1 kWh<sub>eff</sub>/m<sup>2</sup>/an, soit 20 fois moins que les consommations de climatisation estimée plus haut.

Pour les brasseurs d'air à courant continu de 25 W du bâtiment équipée, nous avons même mesuré moins de 0,4 kWh/m<sup>2</sup>/an.

Rappelons qu'un brasseur d'air permet un ressenti de -2°C à -4°C en climat méditerranéen<sup>12</sup>.

Sa sélection, son dimensionnement et sa mise en œuvre calepinée doivent toutefois faire l'objet d'un travail détaillé.

#### Autres systèmes

Dans l'un des bâtiments, un système de rafraîchissement adiabatique (grâce à l'évaporation de l'eau) était présent.

Bien que ce système puisse a priori contribuer à améliorer le confort d'été à moindre coût énergétique, sur ce cas d'étude, le système a rencontré une série de défaillances plusieurs été d'affilée, ce qui a contribué à instaurer un climat de doute et de perte de confiance envers la pertinence de ce système pour une majorité d'usagers.

Ce problème n'est pas généralisable pour ce type de système en particulier mais renvoie aux remarques faites plus haut au sujet du rapport aux dispositifs techniques (point 3).

#### *D'autres méthodes ou techniques ?*

Changer ou adapter les horaires de travail est une solution qui a été évoquée (et la charge de travail également).

---

<sup>12</sup> Conformément aux diagrammes de Givoni et à la norme EN 16-798

### **Des bonnes pratiques observées à consolider et généraliser**

Dans l'un des bâtiments, les personnes travaillant à l'extérieur ont cherché à adapter leur horaires pour pouvoir commencer plus tôt ou bien pour travailler en fin de journée. Une personne a même dormi sur place ponctuellement pour enchaîner une fin de journée avec un début très tôt le lendemain (en outre « meilleur confort que chez elle » dit-elle).

Travailler sur le code d'habillement, lorsqu'il y en a un, comme cela a déjà été fait dans certains pays est également une piste qui n'est pas généralement applicable partout.

## Conclusion

### Synthèse de l'esprit de l'étude

L'utilisateur est au cœur du bâtiment, cela ne fait aucun doute. Aussi, il est nécessaire de considérer les bâtiments depuis le point de vue des usages, le plus possible en situation vécue, et non pas seulement du point de vue de la conception architecturale et technique. La plupart des usagers nous ont dit vivre des étés de plus en plus chauds, parfois à la limite du supportable. Par contre, il faut noter que tous ne s'en plaignent pas. L'enquête de terrain montre qu'une partie des usagers s'adapte, et « fait avec ». **Et ceux qui en souffrent le plus sont ceux qui vivent un décalage fort avec ce que la technique semble promettre.**

Si cette étude s'est principalement intéressée aux occupants, usagers quotidiens, il aurait été intéressant de la compléter en menant aussi une enquête auprès des techniciens en charge des dispositifs techniques (pose, gestion, maintenances pour saisir encore mieux comment se fabrique collectivement et en acte le confort thermique d'été et la ventilation naturelle nocturne). Mais le format de l'étude (notamment les délais très resserrés et qui plus est en été, période de congés ne s'y prêtait pas.

Notons que si la préoccupation de mieux comprendre comment les usagers occupent/habitent réellement leur bureau semble partagée, et que des études existent sur le sujet, deux limites principales persistent néanmoins : ces études ne sont **pas suffisamment approfondies**, non pas par manque d'intérêts ou de compétences, mais davantage par manque de moyens. Cela pose la question **des ressources qui sont à allouées à ces études.**

Se donner les moyens de comprendre comment un bâtiment est vécu et perçu : il s'agit de faire davantage de place de l'enquête, de l'état des lieux, du diagnostic. Même si cela représente un coût économique, les gains (en confort et en économie d'énergie) nous semblent largement en valoir la peine. Il s'agirait de consacrer une part du budget AMO sur ces aspects, tout d'abord en amont (dès la phase programmation), puis pendant les phases de conception et de réalisation (avec les ajustements qui peuvent être pensés le plus possible avec les futurs usagers lorsque cela est possible) puis après la livraison (en mode usage).

D'autre part, pour **mieux envisager l'adaptation des usages/pratiques au changement climatique**, il semble nécessaire d'aller encore plus loin que cette première étape (nécessaire certes) qui consiste "exclusivement et principalement" à tenter de comprendre les pratiques des occupants-habitants, **en les associant réellement**. Notons que si nous avons croisé quelques préoccupations dans ce sens, elles ne sont que très rarement suivies d'effets. Proclamer la nécessité d'associer les usagers ne suffit plus, il faut passer à l'acte.

La présente étude démontre les changements possibles dans les pratiques, lorsque celles-ci associent réellement les usagers à ce travail. Certaines solutions viennent des usagers eux-mêmes, aptes à comprendre ce qui est réellement faisable dans la pratique (et pas seulement en théorie, dans un comportement idéal, sans contraintes ni normes

culturelles). En cela, ils sont garants en quelque sorte de la dimension opérationnelle des changements de pratiques, qui leur est souvent enlevée, au profit des experts techniques qui eux préfèrent souvent parler de changement de comportements.

Nous pensons que ces changements de pratiques peuvent être consolidés par le déploiement de conditions propices qui touchent à des aspects organisationnels et techniques.

### Synthèse du point de vue organisationnel

En termes d'accompagnement et d'implication aux changements de pratiques et représentations il s'agit selon nous de :

- **mieux penser la dimension collective de la ventilation naturelle** nocturne dans les bâtiments de bureaux : promouvoir une organisation humaine collective avec une équipe qui se charge de l'ouverture optimale (ouvrir tôt le matin, faire le tour...). Pour cela, il serait possible de constituer des instances ad hoc "confort (thermique) et ventilation" : en charge de la mise en place collective effective et du suivi in situ. Ces instances pourraient convoquer les intervenants experts et techniciens qu'il nous semble, le cas échéant, important de considérer aussi comme des usagers.
- **sensibiliser et former aux questions thermiques.** Notons que les informations écrites sont peu lues et qu'il faut avoir une pédagogie suivie relative aux pratiques pour obtenir le confort en général et le confort thermique d'été en particulier en l'abordant lors de réunions de services voire de réunions plénières comme c'est le cas pour la sécurité des personnes. Les économies sur les dépenses de climatisation peuvent être un moteur de motivation. On pourrait aussi envisager des formations/sensibilisations auprès des référents, voire même plus largement des usagers intéressés (cf. demande faite par un bâtiment). Cette sensibilisation peut aussi passer par des visites de bâtiments « modèles », des échanges entre gestionnaires et usagers. Il s'agirait de montrer/ de faire connaître/de faire essayer/de faire vivre les bons exemples.

Des changements et adaptations "techniques" nous semblent nécessaires pour permettre l'émergence (ou la consolidation) de pratiques vertueuses de la part des usagers.

### Synthèse du point de vue technique

En termes de **conception du bâtiment**, il s'agit de :

- prévoir la **possibilité d'aérer facilement en limitant le risque d'intrusion** : menuiserie oscillo-battante, brise soleil anti-intrusion, accessibilité des poignées par rapport à l'aménagement des bureaux, etc... Et il s'agit aussi de coupler la question de l'ouverture des fenêtres, de l'occultation et de la protection contre les moustiques,

- prévoir des **occultations mobiles** (permettant 100% d'apports solaires en hiver et une bonne protection solaire en été) permettant aussi d'éviter en outre l'éblouissement des occupants et l'incidence gênante sur les écrans,
- faire en sorte que ces occultations permettent de **conserver la lumière naturelle** : ce qui est possible idéalement avec des brise-soleils orientables (BSO), mais aussi avec des volets persiennés (certains s'enlèvent manuellement),
- d'avoir idéalement des occultations permettant l'aération nocturne efficacement et **en toute sécurité** par rapport aux risques d'intrusion : idem BSO et volets persiennés. Ces solutions doivent être capables de gérer sur certains sites la question des moustiques,
- d'envisager, dans certains cas, une ventilation mécanique nocturne à très fort débit. Cela est possible, mais pas représenté dans l'échantillon étudié. Un équilibre sera à trouver entre **automatisation et intervention manuelle sur les dispositifs**. Il s'agira de s'assurer aussi que le bruit de cette surventilation mécanique n'a pas d'impact sur le voisinage.
- Enfin, la ventilation traversante nocturne occasionne également des contraintes vis à vis de la réglementation incendie (exigence de coupe-feu de parois) mais des solutions existent pour répondre à l'ensemble des contraintes (asservissement des ouvertures, compartimentage des zones concernées, etc.).

Concernant l'environnement de la parcelle, il s'agit :

- de favoriser l'usage des espaces extérieurs et boisés etc...,
- en zone urbaine, d'anticiper le problème d'accumulation de chaleur liée à la minéralisation importante de l'espace urbain (phénomène d'îlot de chaleur urbain) qui ne permet pas d'accéder à des températures nocturnes aussi fraîches qu'à la campagne. La végétalisation de la parcelle avec des espèces locales créant des ombrages ou encore le traitement des sols avec un albédo élevé est un élément de réponse.

En termes d'équipements techniques

- Les avantages de brasseurs d'air plafonniers sont établis (retours positifs partout où il en existe s'ils font partie du projet) mais ces équipements sont mal connus. 5 des 6 projets étudiés n'en sont pas équipés (mais ils sont envisagés maintenant dans certains).

Enfin, il nous paraît essentiel, pour obtenir une réelle appropriation, d'aller au-delà des enseignements du travail synthétisé dans le présent rapport et de transmettre sur le terrain : salon des solutions (approches techniques et humaines, webinaire, accompagnement post-occupation, visite de bâtiments pour lesquels le confort d'été passif par ventilation est satisfaisant, partage de bonnes pratiques, etc.

Intégrer le suivi post-occupation par la maîtrise d'œuvre ou par un tiers dans les démarches BDM en allant au-delà de la quantification des performances est également une piste d'action.

Cela occasionne un « surcoût » mais permettra un gain financier à terme (plus de confort, moins d'absentéisme, meilleur fonctionnement système, économies sur les factures, etc.).

## Annexe : points de vigilance sur l'acoustique

*Pour l'usage de la ventilation naturelle comme stratégie de confort thermique d'été dans les bâtiments à usages tertiaires*

### Introduction : la dualité ventilation et bruit

*Un son existe-t-il s'il n'y a personne pour l'entendre ?*

La ventilation naturelle nocturne des bâtiments de bureaux ne présente, dans l'usage courant, pas de difficulté d'un point de vue de confort acoustique.

En l'absence d'usagers, la présence de bruit ne génère, en effet, pas de gêne particulière. Cette stratégie de rafraîchissement semble donc particulièrement adaptée du point de vue acoustique.

Dans le cas de la ventilation naturelle du bâtiment pour des usages matinaux, permettant de profiter du potentiel de rafraîchissement par l'air lors des premières heures d'occupation, on peut voir apparaître une problématique qui peut se résumer à :

Comment laisser circuler l'air sans véhiculer du bruit ?

C'est ce cas de figure qui sera traité dans ce document.

Pour rappel une vibration sonore est une perturbation des molécules contenues dans l'air avec simple déplacement pendulaire de la matière. La particule vibrante retrouve sa position initiale après perturbation.

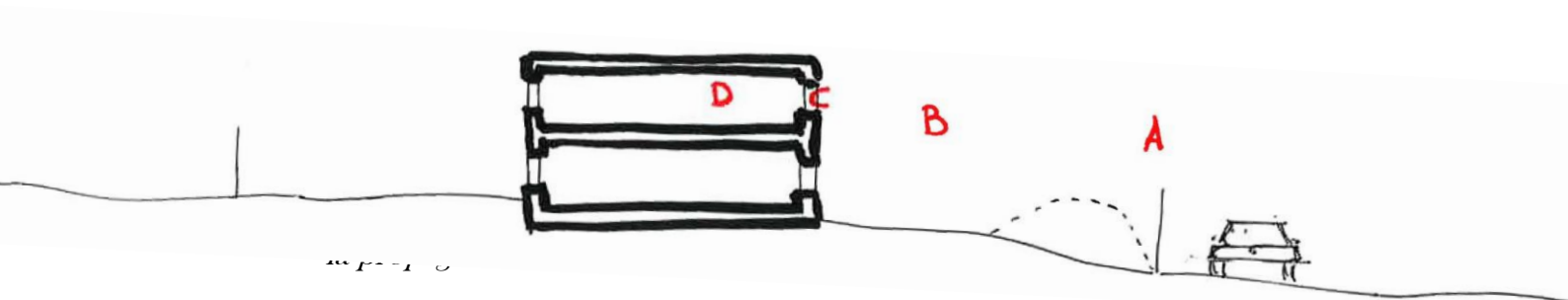
À ce titre le son appartient pleinement à son milieu de propagation qui, dans notre cas, est l'air.

Malgré cette corrélation entre déplacement d'air et bruit, il existe une série de solutions techniques permettant de limiter la propagation du bruit depuis la zone d'émission sonore extérieure jusqu'à qu'à l'utilisateur.

En acoustique, les actions visant à limiter la propagation du son sont d'autant plus efficaces qu'elles sont mises en œuvre au plus proche de la source de bruit.

Il s'agit donc de prioriser les traitements à proximité de l'élément produisant la vibration sonore.

La présente note développe les solutions par ordre croissant de mise à distance par rapport à la source sonore dont on souhaite se protéger.



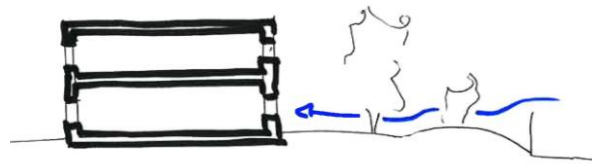
### **A - Agir en limite de propriété, au plus près de la source sonore**

En premier lieu, il convient donc d'agir au plus proche de la limite de propriété de l'édifice.

Sur ce sujet, la mise en œuvre d'un mur antibruit n'est pas toujours compatible avec la circulation de l'air et parfois avec l'apport lumineux nécessaire au confort des usagers.

La mise en œuvre d'un talus peut-être une solution préférable, car permet à la fois d'apporter une certaine densité d'isolement<sup>1</sup> mais aussi de créer de l'absorption<sup>2</sup> acoustique liée à la nature même d'un talus en terre.

D'autre part, la solution de talus est particulièrement compatible avec une végétalisation de la zone et elle permet, à ce titre, de rafraîchir sensiblement (gain possible de quelques degrés) l'air destiné à ventiler les bureaux.



Enfin, la présence de végétaux permet aussi de limiter la vue directe sur la source de bruit pour l'utilisateur tout en créant un bruit de feuillage ambiant.

Cette solution de masquage visuel de la source de bruit représente une solution dite psycho-acoustique<sup>3</sup> non négligeable, qui ajoutée à l'effet de masquage<sup>4</sup> du bruit par le feuillage, peu s'avérer très efficace dans la limitation de la perception du bruit par l'utilisateur.

### **B - Limiter la propagation des vibrations à l'extérieur du bâtiment**

Dans une seconde phase, il est envisageable de concevoir des revêtements de surface absorbants permettant de limiter la réverbération du bruit.

En effet une onde sonore se diffusant de manière pluri-directionnelle (onde sphérique), une surface telle qu'une pelouse ou en terre peu absorber une vibration à l'inverse d'une surface rigide telle que du béton ou du stabilisé renforcé qui elle la réverbère.

A ce stade, il est adapté d'intervenir sur le phénomène d'absorption acoustique des matériaux<sup>2</sup>.

### **C - Atténuer la propagation de la vibration sonore dans l'épaisseur de la façade**

Une façade est conçue, dans sa fonctionnalité primaire, de la protection des volumes intérieurs par rapport à l'extérieur. Les percements créés pour compléter cette fonction (entrée de lumière, vue sur l'extérieur, ventilation, accès,...) nécessitent la mise en œuvre de solutions techniques spécifiques d'ouvertures (fenêtres, baies, imposte, lanterneaux,...). Toutefois la transmission de l'air sans la vibration sonore qu'elle contient reste un domaine peu traité par les industriels du bâtiment ou par la maîtrise d'œuvre des projets.

Les solutions techniques existantes sont les suivantes :

#### Complexifier le trajet de l'air

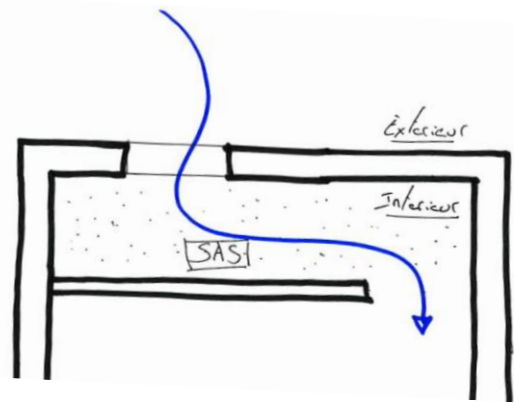
Il s'agit, dans cette solution, de créer un circuit d'air complexe afin que celui-ci entre en contact sur son trajet avec une surface absorbante qui diminuera la propagation de l'énergie sonore.



NB : c'est le principe de limitation de transmission au bruit aérien qui est mis en œuvre, à moindre échelle, dans les grilles hygrorégulables situées sur les menuiseries dont la fonctionnalité est l'admission d'air neuf.

La présence d'une mousse interne permet de limiter la transmission sonore.

**Contrainte :** cette solution impose de ne pas aligner les ouvertures en plan et peut à la fois réduire le débit d'air tout en imposant un aménagement de type « sas acoustique » qui n'est pas courant pour un espace de bureau.



Dans la même logique de mise en œuvre de procédés de « complexification » du trajet de l'air de ventilation, la mise en œuvre de protections solaires perforées avec absorbant acoustique intégré pourrait permettre la réduction, mineure, mais non nulle, de la pression acoustique transmise.

#### Garde-corps jardinières : créer de la densité et de l'absorption

Il s'agit, dans cette solution, d'agir à la fois sur la densité de la terre contenue par les jardinières et de son récipient (souvent en béton ou en matériau lourd) comme moyen d'isolation acoustique. Cette solution permet aussi d'agir sur le masquage visuel et sonore par la végétation qu'elle contient et, dans une moindre mesure, sur l'absorption acoustique par la terre en contact avec l'air.

**Contrainte :** le gain de déperdition d'énergie est faible et l'effet psycho-acoustique de masquage visuel et sonore n'est pas pris en compte dans la réglementation.

#### Traitement actif du bruit

Cette solution, proposée par les industriels de la menuiserie aluminium depuis quelques années, consiste à produire un son identique à celui de la gêne sonore en phase ondulatoire opposée.

Ainsi les ondes produites par l'enceinte intégrée à la menuiserie et celle de la source de gêne, s'annulent.

NB : ce principe est identique à celui mis en œuvre dans les casques anti-bruits actifs proposés par les fournisseurs audionumériques.

**Contrainte :** cette solution technologique est consommatrice d'énergie et n'est pas dans la logique de bon sens de la ventilation naturelle qui, elle, est peu énergivore.

## **D - Améliorer la perception des usagers**

À proximité de l'utilisateur, les actions possibles sont le phénomène d'absorption ou de masquage.

La mise en œuvre d'absorbant en faux plafond et mur permettra de limiter la réverbération de la vibration sonore dans la pièce.

La réglementation indique un temps de réverbération ( $T_r$ ) de référence de 0,8 seconde dans les bandes d'octaves entre 500 et 2000Hz dans les bureaux. Il est envisageable de

traiter l'acoustique interne pour abaisser le  $Tr^2$  à 0,5 seconde pour améliorer le confort des usagers et agir ainsi sur la diminution de la perception des bruits extérieurs.

Enfin le masquage sonore, abordé dans les paragraphes précédents, peut-être une solution complémentaire pour diminuer la perception du niveau sonore par les usagers.

## Conclusion

Il existe une diversité de solutions techniques concrètes et pragmatiques qui permettent une ventilation naturelle des bureaux tout en limitant la transmission de la vibration sonore qui peut être véhiculée dans l'air.

Chacune des solutions évoquées dans cette note permet d'apporter un gain mineur de déperdition ou de sensation d'affaiblissement acoustique. Dans le cas d'une ventilation naturelle des bureaux pendant la journée et donc en occupation des bureaux (par opposition à une ventilation nocturne en inoccupation), ces solutions doivent généralement être mises en œuvre de manière complémentaire afin d'atteindre un isolement au bruit mais qui apporte un bon confort d'usage tout en étant réglementaire.

Ainsi la conception acoustique d'un bâtiment, dans l'objectif d'un rafraîchissement par ventilation naturelle, doit être étudiée dès les premières phases du projet architectural, paysager et urbain.

De toute évidence si la ventilation naturelle nocturne ne pose pas de problèmes acoustiques pour les bureaux qui sont à occupation essentiellement diurne, une approche globale à l'échelle de parcelle permet aussi, a minima, d'atténuer les gênes acoustiques potentielles liées à la ventilation diurne à défaut de les annihiler complètement.

---

## Glossaire

### <sup>1</sup>Isolement acoustique

L'isolement acoustique vise à limiter la propagation des bruits par l'intermédiaire d'une paroi ou d'une surface en jouant sur la masse qui la constitue et éventuellement sa lame d'air (« effet masse-ressort-masse »).

Le dispositif d'isolement est mis en œuvre dans le bâtiment pour diminuer la propagation des sons d'impacts (*bruits solidiens*) qui se propagent dans la structure du bâti, des bruits intérieurs et extérieurs ainsi que des bruits d'équipements.

### <sup>2</sup>Absorption acoustique

L'absorption acoustique fait référence au processus par lequel un matériau, une structure ou un objet absorbe de l'énergie sonore lorsque des ondes sonores sont rencontrées, par opposition à la réflexion.

Lorsque le son entre en collision avec les murs d'une pièce ou une surface extérieure, une partie de l'énergie du son est réfléchie, une partie est transmise et une partie est absorbée dans les murs ou le revêtement de sol.

Dans le cas d'une pièce, le temps de réverbération ( $Tr$ ) peut-être calculé à partir du volume de celle-ci et de la surface d'absorption des parois qui la compose.

### <sup>3</sup>Psycho-acoustique

La psychoacoustique est la branche de la psychophysique qui étudie les rapports entre les perceptions auditives de l'être humain et les sons qui parviennent à ses oreilles.

Divers phénomènes permettent de diminuer la perception du niveau sonore par l'utilisateur. Des études montrent par exemple qu'un son peut-être perçu de différentes intensités selon sa fréquence ou qu'un son dont la source n'est pas visible directement est perçu à plus faible intensité que celle qui correspond à sa pression mesurée.

#### <sup>4</sup>Masquage sonore

Le masquage sonore est un son **ambient** spécialement choisi pour sa fréquence « **couvrante** » permettant de réduire l'intelligibilité d'un autre son qu'on souhaite faire oublier.

Le masquage sonore ne peut pas supprimer le son mais il distrait l'utilisateur.

Le volume sonore de la source de bruit restant inchangé et, en quelque sorte, c'est la perception de la gêne qui est réduite.

A ce titre phénomène de masquage sonore est lui aussi un phénomène psychoacoustique.

# envirobat**bdm**

EnvirobatBDM est l'association des acteurs interprofessionnels du bâtiment et de l'aménagement durables en région Provence Alpes-Côte d'Azur. Elle accompagne l'intégration des exigences du développement durable dans l'acte de bâtir, rénover et aménager grâce à son centre de ressources, de formation et à l'animation de réseaux professionnels tels que Fibraterra et les économes de flux. L'association est créatrice et porteuse des labels collaboratifs Bâtiments et Quartiers durables méditerranéens (BDM et QDM).

## **EnvirobatBDM**

Résidence le Phocéen, bâtiment C  
32 rue de Crimée - 13003 Marseille  
04 95 04 30 44  
contact@envirobatbdm.eu  
[www.envirobatbdm.eu](http://www.envirobatbdm.eu)

Financé par :

