



Guide méthodologique

Mai 2018
Version 1

Ce guide est à destination des maîtres d'œuvre et des maîtres d'ouvrage souhaitant s'engager sur un projet de réhabilitation. Il permet d'aider à concevoir de manière plus durable ces projets dans une logique d'amélioration du Confort pour les usagers.

Le Laboratoire d'Ecologie Urbaine Réunion a réalisé ce travail conjointement avec le Laboratoire Aérodynamique Eiffel (expertise aérodynamique), Jacques Gandemer Conseil (expertise aérodynamique), Delhom Acoustique (expertise acoustique) et Hager Services (expertise Qualité de l'Air Intérieur).



Auteurs :

Simon CHAUVAT, LEU Réunion
 Benoît BLANCHARD, Laboratoire EIFFEL
 Jacques GANDEMER, JGC
 Antoine PERRAU, LEU Réunion
 Loïk YOU SEEN, LEU Réunion
 Vincent FILIOT, Delhom Acoustique
 Remy SAUDINO, Hager Services

Ont participé au groupe de travail :

Fabien PICGIRARD, ADEME
 Muriel ROBERT, SIDR
 Eric ROUCOU, SHLMR
 Vincent TOURMEZ, SIDR
 Dino SEVERIN, SHLMR
 Christian BOURGEAT, SHLMR
 Julien THOMAS, AQC
 Thomas POIRET, AQC

Ce guide a été financé par le programme PACTE de l'AQC, l'ADEME, la SIDR et la SHLMR



Sommaire

Partie 1: <i>Les enseignements du diagnostic environnemental</i>	p. 5
Partie 2: <i>Les fiches travaux</i>	p. 24
Partie 3: <i>Une méthodologie pour réhabiliter durablement</i>	p. 43

Partie 1 - Les enseignements du diagnostic environnemental

Le projet REPER a débuté en novembre 2016 par la réalisation de plusieurs diagnostics sur deux opérations de logements situés sur la commune de Saint-Benoit. Il s'agit des opérations de logement social EUROPE (SHLMR) et Amiral BOUVET (SIDR). Ces opérations datent du début des années 1990 et feront l'objet de travaux de réhabilitation. Dans ce cadre, il a été réalisé un diagnostic thermique avec la pose de capteurs enregistreurs de température et d'humidité relative à l'intérieur des logements afin de mesurer de leur comportement thermique en période estivale et hivernale. En parallèle et dans ces mêmes logements, il a été placé des capteurs permettant de mesurer certains paramètres de la qualité d'air intérieur, à savoir la concentration en CO₂, en COVG (Composés Organiques Volatils Globaux), en COVL (Composés Organiques Volatils Légers) et en particules fines. La performance acoustique de l'ensemble des parois par rapports aux bruits aériens et aux bruits de chocs a été étudiée. En parallèle, une étude fine sur la performance aérodynamique de la morphologie des bâtiments et de l'agencement des logements a été réalisée sur le terrain par la mesure et en soufflerie à couche limite atmosphérique. Ces études ont fait avancer la réflexion sur la pertinence des données mesurées sur le terrain et celles déterminées par maquette en soufflerie. Les occupants des deux opérations ont également participé à cette étude par une étude sociotechnique qui a permis de mieux comprendre le comportement des usagers par rapport à leur gestion du Confort.

Nous présentons par la suite les faits marquants de l'ensemble de ces études.



Opération Amiral BOUVET (SIDR)



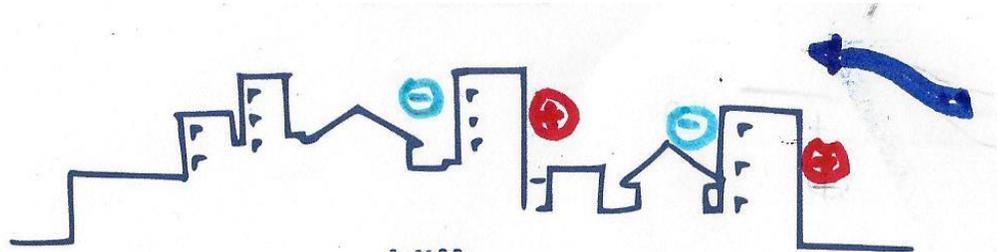
Opération EUROPE (SHLMR)

La caractérisation aérodynamique d'un plan masse

Pour un environnement et une direction de flux donnés, l'objectif de l'urbanisme climatique, est le développement de différences de pressions maximum entre façades, pour qu'ultérieurement des courants interne efficaces puissent s'établir à l'intérieur des constructions. Pour un environnement et une direction de flux donnés, il s'agit alors d'organiser les masses bâties en jouant sur leurs formes, leurs dimensions, leurs associations et juxtapositions, et leurs orientations par rapport au vent.

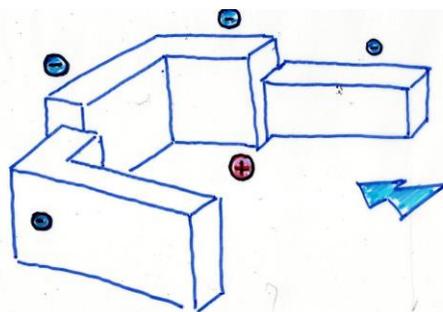
En se référant aux évolutions des pressions développées sur les obstacles et en les transposant aux bâtiments, on peut avancer les axes de travail suivants :

- ❖ L'organisation du bâti privilégiera les directions des vents dominants, et présentera ses grandes dimensions perpendiculairement aux flux.
- ❖ Plus le programme ou l'obstacle bâti émergera de la rugosité environnante (paramètre hauteur) d'une part, et plus les dimensions (hauteur et largeur) seront importantes perpendiculairement au flux d'autre part, plus le vent rentrera en interaction avec l'obstacle et mieux il fixera sur les masses bâties un champ de pressions fort et stable. Ainsi il y a intérêt à développer des formes monolithiques qui présentent un comportement globale déterminant par rapport au vent. Les transparences locales de faibles dimension (passages, etc.), ou des pilotis n'altéreront en rien le fonctionnement aérodynamique.

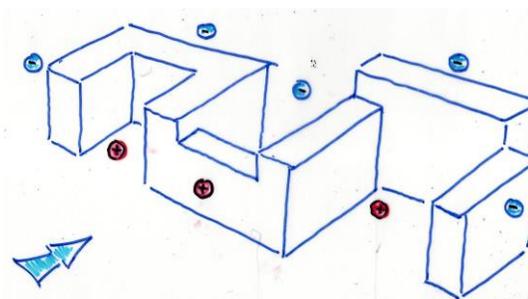


La caractérisation aérodynamique d'un plan masse

- ❖ Dans la mesure où des formes rectilignes ne sont pas toujours compatibles avec l'environnement voisin ou les dimensions des terrains, et que leurs orientations ne peuvent pas être pour l'ensemble des constructions perpendiculaires aux vents dominants, on pourra adopter des groupements géométriques globaux en "U ou pattes de crabe", ou encore en créneaux. Ces organisations se positionnent plutôt perpendiculairement à l'axe des vents dominants. Ces architectures développent des effets "captage" au vent (surpression) et de "conservation" sous le vent (dépression) des flux, et sont en outre moins sensibles aux fluctuations directionnelles du vent incident.



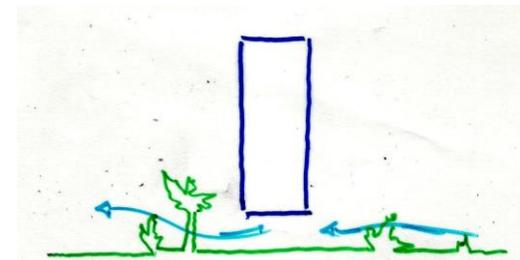
Architecture en U ouvert



Architecture en créneau

Par ailleurs, le vent étant une fonction croissante de la hauteur, les couches au voisinage du sol seront moins irriguées que celles plus élevées, et par suite les logements aux niveaux bas auront un moins bon potentiel de ventilation traversante que ceux des niveaux supérieurs. Aussi en urbanisme climatique il faudra toujours favoriser l'irrigation de l'air dans la couche au voisinage du sol, d'une part pour rendre les espaces intermédiaires ventilés et confortables au piétons (pas d'effets de masque), et d'autre part favoriser le développement du végétal qui induira alors une baisse de température locale (protection solaire, filtrage du rayonnement direct et réémis, évaporation) pour les logements voisins du sol, et compensera leur moindre potentiel en ventilation naturelle.

Note : Précisons que la réalisation de bâtiment "en lévitation" n'altère que très peu la différence de pression motrice entre façades, et cela, d'autant moins que le bâtiment est grand et haut.



La caractérisation aérodynamique d'un plan masse

Application pour l'opération EUROPE

En référence à la simulation physique en soufflerie turbulente et aux mesures vraie grandeur associées, le critère d'existence d'une potentialité de développement d'écoulements traversant entre façades impose pour être significatif (au sens de l'aménagement testé) une différence de coefficients de pressions toujours supérieure à 0.2, soit : **Cp façade au vent - Cp façade sous le vent >0.2**

De plus, comme évoqué précédemment, on associera au critère de pression une irrigation minimum dans la couche voisine du sol des espaces extérieurs, tel que **V/Vref >0.2**



Potentiel aérodynamique du plan masse



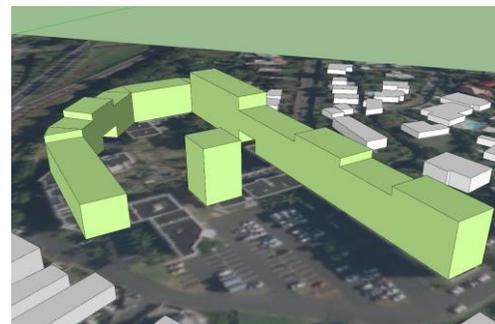
Etude en soufflerie



Modification du plan masse

Basé sur l'application de ces deux critères, divers scénarios de modifications des masses ont été étudiés et quantifiés en simulation physique. Le meilleur compromis, avec la meilleure potentialité en fonction du nombre de logements à réhabiliter repose sur l'aménagement de pilotis (en bleu) et la suppression d'un immeuble (rouge). Cette configuration fait que les ΔC_p d'origine ont pu être pratiquement doublés, ce qui induirait un développement de 40% des débits traversants, sous réserve de précautions aérodynamiques dans la conception de l'architecture interne et de la porosité des façades (voir § suivant).

Dans une optique de reconstruction, c'est bien évidemment la configuration de type "patte de crabe" ouverte aux flux dominants qui conduirait à la meilleure potentialité pour l'ensemble du projet.



Modification lourde du plan masse

La caractérisation aérodynamique interne d'un logement

Pour un site et un environnement donné, un plan masse et son organisation bâti qui développent un bon potentiel de ventilation ($\Delta C_p \gg 0.2$, et $V_{sol} / V_{ref} \gg 0,1$) ne pourront l'utiliser et créer une ventilation d'irrigation interne efficace pour les logements que si ces derniers sont largement débitants.

Cette notion suppose que le cheminement entre les ouvertures d'entrées et de sorties soient suffisamment fluide et libre d'une part et que le dimensionnement des ouvertures et des transparences soient correctement dimensionnées d'autre part, pour que les débits de renouvellements d'air minimum à la décharge thermique soient atteints en toutes circonstances et que le reste du temps les dynamiques des écoulements intérieurs permettent naturellement le confort thermique (gamme de vitesses de 0,5m/s à 1,5m/s).

Aussi est-il indispensable d'associer à la conception des appartements à ventilation naturelle une réflexion d'aéraulique interne structurée et une architecture interne appropriée (des façades à l'organisation même des cloisons et transparences) pour permettre aux écoulements de transiter effectivement.

Paramètres de l'aéraulique interne

Les expérimentations ont conduit à pouvoir préciser les ordres de grandeur suivants :

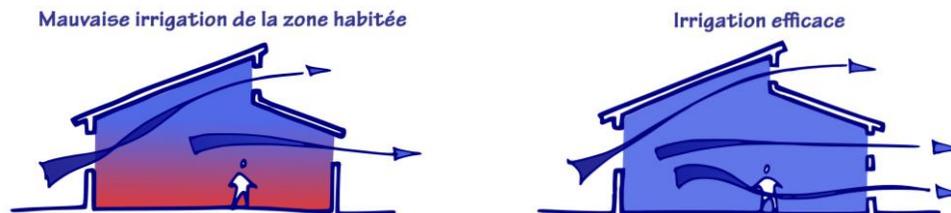
- ❖ Il ne faut pas espérer ventiler efficacement et naturellement (vents de tous les jours) une unité d'habitation dont 'l'épaisseur' entre façades opposées (entrée et de sortie opposées, et plutôt direct) dépasse 10 m (notion de perte de charge linéaire).
- ❖ Pour chaque module de vie (chambre, séjour, etc.), la porosité ou les ouvertures d'entrées et de sorties doivent représenter à minima 25% de la section de la pièce (hauteur x largeur). Comme déjà mentionné les cheminements internes sont d'autant plus complexes et interactifs qu'il existe plusieurs entrées et sorties, et il s'opérera toujours un cheminement fluide prioritaire au détriment d'autre.



Note : Une ouverture latérale (type ouverture de pignon) complémentaire au système pneumatique traversant (prioritaire) pourra changer le parcours fluide traversant et permettre un ajustement conjoncturel de l'irrigation, mais ne devra jamais (réglage) shunter le mécanisme principal.

La caractérisation aérodynamique interne d'un logement

- ❖ Pour une irrigation homogène, critère très important pour le confort perçu par l'utilisateur, la répartition des porosités et des ouvertures sera la plus étalée possible. En d'autres termes il vaut mieux assurer un débit de ventilation donné par un large dimensionnement d'orifice et de porosité que l'on bridera (réglage de l'ouverture des jalousies), plutôt que de le concentrer au travers d'une seule ouverture fortement débitante (effet de jet et de tourbillons latéraux induits, très désagréables).
- ❖ Pour un maximum d'efficacité, on privilégiera l'irrigation dans la couche de vie et d'activité du logement. La couche la meilleure à irriguer se positionne entre 0,3m et 1,8m, elle peut être plus basse encore pour les bureaux (0,3m à 1,4m), et pour les chambres (0,3m à 1,2m).



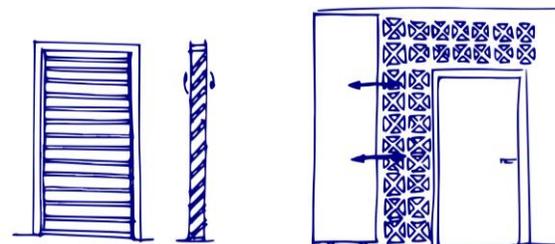
Note : Il faut savoir qu'une moustiquaire occulte le passage de l'air à 50%, et il faudra donc dimensionner l'ouvrant correspondant en conséquence.

- ❖ Les ouvertures et transparences utiliseront toute la surface possible des orifices, et seront à réglage en continu. Il faut préconiser des jalousies de façade à forte transparence (ouvertures angulaires à 85%) .
- ❖ Pour développer la fluidité du transit interne il faut réduire le cloisonnement, minimiser les obstacles et les écrans opaques perpendiculairement au flux traversant qui va toujours "au plus court" et le plus directement des voies qui lui sont proposées. Dans cette optique il faut créer des espaces ouverts (cuisine "américaine", écrans de séparation entre deux pièces modulables, mobiles ou pivotantes) avec des cloisonnements partiels ou encore à porosité réglable (jalousies toute hauteur ou en impostes, en allèges et au niveau des portes, etc.).

Note : La transparence des cloisons n'est pas incompatible avec l'intimité (visuelle, acoustique). Ces ouvertures sont gérables par l'utilisateur et compatibles avec de simples traitements aéro-acoustiques, qu'il suffit de mettre en application.

Jalousies orientables

Moucharabieh occultable



La caractérisation aérodynamique interne d'un logement

Application au programme EUROPE

Pour les appartements à double orientation de façade, donc avec un potentiel débitant possible, la porosité des façades a été augmentée par une ouverture totale (deux vantaux par exemple) de la porte fenêtre et de la fenêtre (deux vantaux ouverts) d'une part et une construction de la fluidité du parcours intérieur d'autre part. L'aéraulique interne des appartements a été rendue plus fluide par les actions suivantes :

- Impostes libres au-dessus des portes des chambres,
- Cuisines ouvertes sur le séjour (comptoir opaque de 1m),
- Salles de bain-wc réalisées en "boite " (avec sous plafond) libérant ainsi un espace libre pour les écoulements de 0,4m sous la dalle supérieure,
- Création dans certains cas d'une fenêtre ou d'une porte (terrasse) supplémentaire.

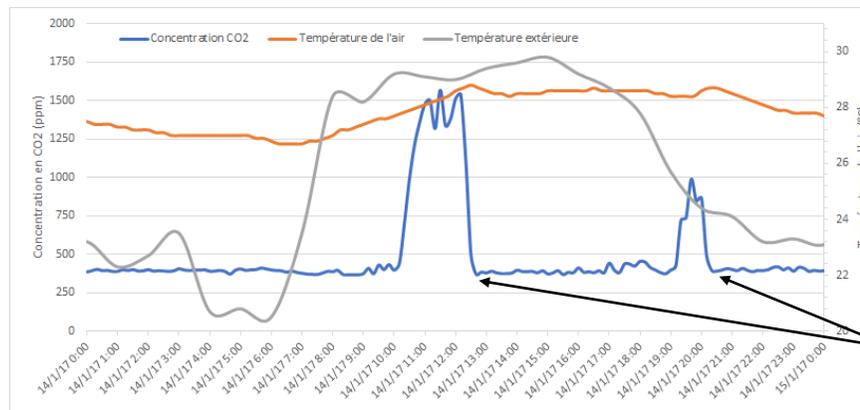
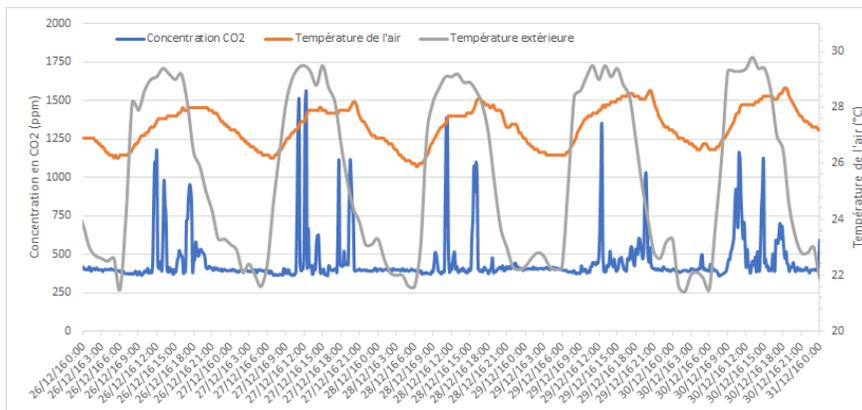
Note: Pour un appartement (n°12) mono façade, il a été tenté de le rendre traversant (l'appartement en vis-à-vis a été supprimé au profit de la création de deux chambres) , ce qui est une action plus lourde , mais très fondamentale, même si l'organisation interne du cloisonnement est grandement perfectible .

On constate alors un changement fondamental de gamme des taux de ventilation qui se trouve alors multipliée par deux, et même trois parfois suivant les différentes pièces des appartements. Remarquons cependant que l'aéraulique intérieure d'une part et l'aménagement environnemental du plan masse (configuration 3) d'autre part ont été associés et que l'on cumule donc deux effets positifs.

Au demeurant et dans la relativité des effets, on peut assurer le rôle majeur l'importance de la porosité des façades, et de la réduction des écrans et cloisonnements opaques intérieurs.

L'évolution de la concentration en CO2 dans un logement

Une étude de la concentration en CO2 en parallèle des mesures de température et d'humidité a été réalisée au sein de logements durant les campagnes de mesures hivernales et estivales. Nous avons ainsi comparé ces données pour en savoir un peu plus sur le comportement des usagers. Il est à noter que la concentration en CO2 moyen dans l'atmosphère oscille entre 400 et 450 ppm. Les graphiques suivants montrent l'évolution des températures d'air et de la concentration en CO2 sur 5 jours types d'été.



Baisse de [CO2] rapide

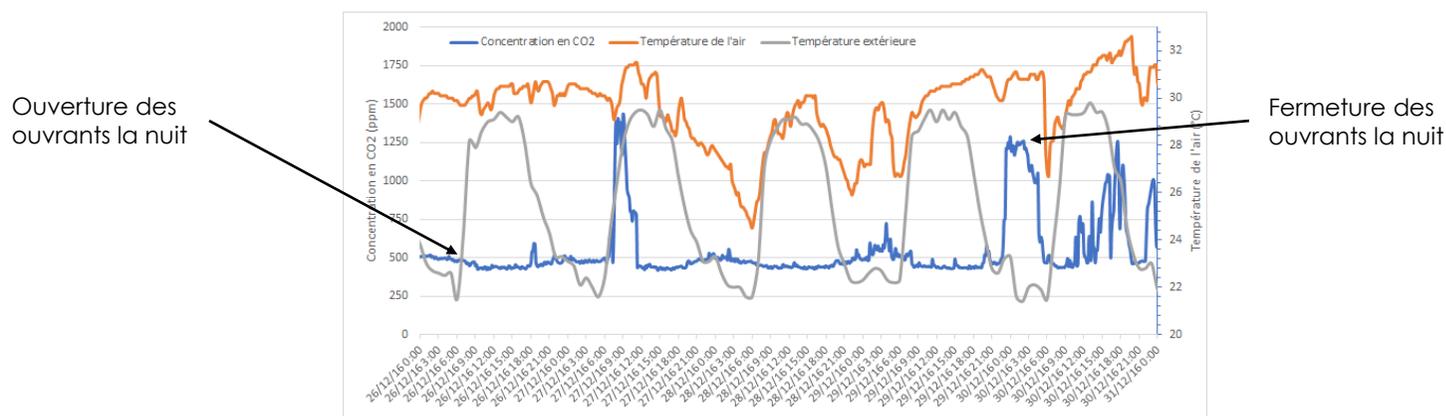
Des pics de la concentration en CO2 dans le salon sont enregistrés en pleine journée allant jusqu'à 1500 ppm. Ceci suppose ponctuellement une occupation et une ventilation insuffisante pour évacuer l'air vicié. Parallèlement, la température de l'air intérieur augmente de manière significative. De 18h à 9h, la concentration en CO2 est identique à l'extérieur ce qui suppose une aération de cette pièce permettant d'évacuer l'air vicié. Les données de la température mettent en évidence ce point par une baisse progressive de l'ordre de 2°C. Comparé à la température extérieure, on remarque que cette baisse est relative car la température extérieure baisse de son côté, de près de 7,5°C. On en déduit donc que le renouvellement d'air intérieur en période d'occupation permet d'évacuer l'air vicié mais pas les surcharges thermiques.

Sur le graphique de droite, on observe des pics de [CO2] allant jusqu'à 1500 ppm. Lorsque les occupants de cette pièce ouvrent la fenêtre, on note une baisse quasi immédiate de la [CO2] alors que la température d'air intérieur baisse également mais de manière moins significative. On en déduit donc qu'il faut un débit faible (de l'ordre de 0,5 vol/h) pour abaisser efficacement la [CO2] dans une pièce.

L'évolution de la concentration en CO2 dans un logement

En regardant maintenant le fonctionnement thermique et la concentration en CO2 d'une chambre parentale, on constate logiquement que le comportement thermique est radicalement différent lorsque les ouvrants sont ouverts la nuit. En effet, la nuit du 30/12/16, on remarque que la concentration en CO2 est importante (>1000ppm) et la décharge thermique est nulle... Quand la/les personne(s) se lèvent le matin et ouvrent leurs fenêtres, on constate que la température d'air baisse de 3,5°C en 15min et la concentration en CO2 chute rapidement dans cette même période.

A contrario, si on analyse la nuit du 28/12/16, on remarque que la concentration en CO2 est stable à 450ppm et que la température de l'air baisse de près de 4°C entre le soir et le matin. Les ouvrants sont ouverts toute la nuit ; le confort et la qualité d'air sont bien meilleurs.

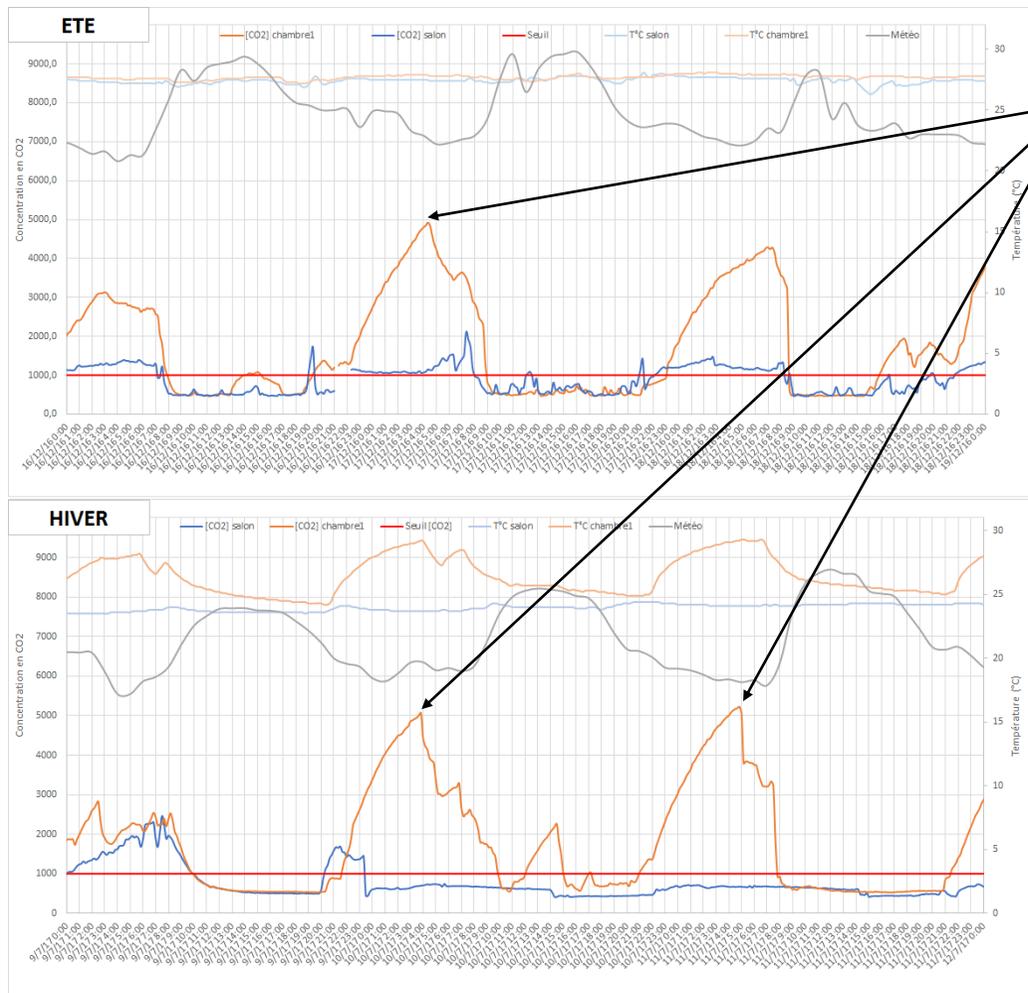


Evolution de la température et de la concentration en CO2 dans une chambre

L'évolution de la concentration en CO2 dans un logement

Dans certains logements, la concentration en CO2 fût très importante avec des pics fréquents à 5000 ppm et même ponctuellement des pics à plus de 7000 ppm.

De plus, des variations saisonnières sont à noter pour la concentration en CO2. Par exemple, dans une chambre, elle est en moyenne sur toute la durée d'étude (occupé ou non) de 1700ppm en hiver et de 1200ppm en été. Il est donc important de sensibiliser les usagers sur le renouvellement d'air hygiénique et principalement en hiver.



[CO2] de
5000 ppm
en fin de
nuit

Chambre

$$[CO2]_{hiver} = 1706 \text{ ppm}$$

$$[CO2]_{été} = 1274 \text{ ppm}$$

Salon

$$[CO2]_{hiver} = 756 \text{ ppm}$$

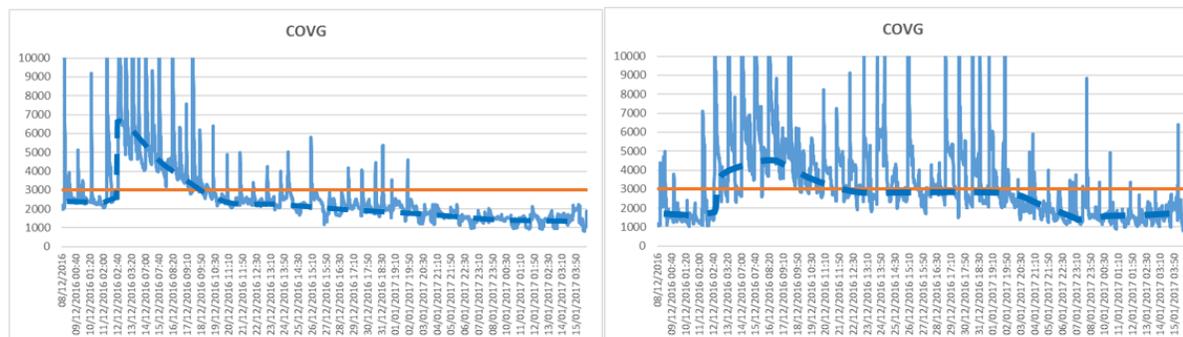
$$[CO2]_{été} = 742 \text{ ppm}$$

Evolution de la température et de la concentration en CO2 dans une chambre en été (haut) et en hiver (bas)

L'impact sanitaire des travaux de peinture

Des travaux d'étanchéité ont été réalisés durant la campagne de mesure QAI sur une des opérations. Nous présentons ici les résultats de la concentration en COVG (Composés Organiques Volatils Globaux). Les composés organiques volatils (COV) sont des polluants issus des matériaux de construction, des meubles, des produits d'entretien, de la cuisson d'aliments, des parfums, bougies parfumées ou encens que vous utilisez. En habitat, les pics de concentrations n'ont qu'un impact faible sur la santé, par contre l'exposition prolongée à certains d'entre eux peut avoir des effets néfastes.

On constate une nette augmentation des COVG (Composés Organiques Volatils Globaux) à partir du 12/12, puis baisse progressive sur 1 mois pour retrouver la concentration initiale. Ceci va impacter les chambres et le salon sur une durée approximative d'un mois. En orange est matérialisé le seuil où la concentration en COVG peut avoir un impact sur la santé lors d'une exposition prolongée, à savoir $3000\mu\text{g}/\text{m}^3$.



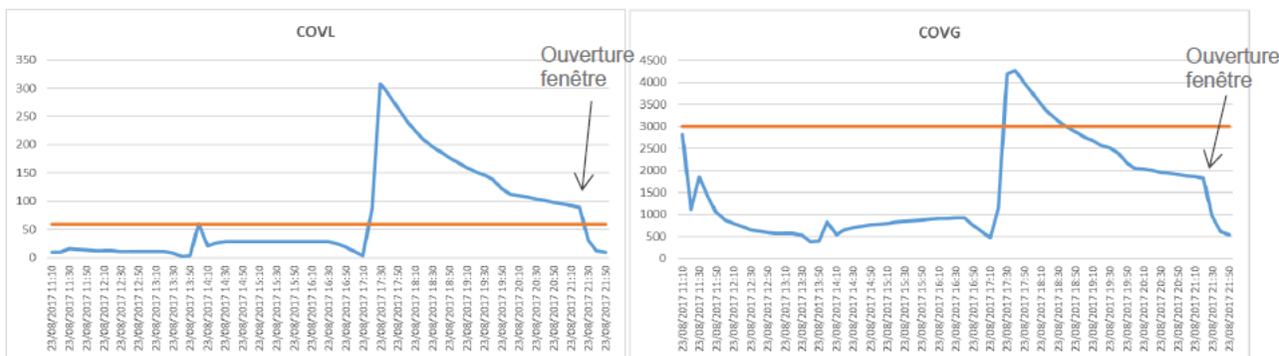
Evolution de la concentration en COVG dans un logement

L'impact sanitaire du nettoyage

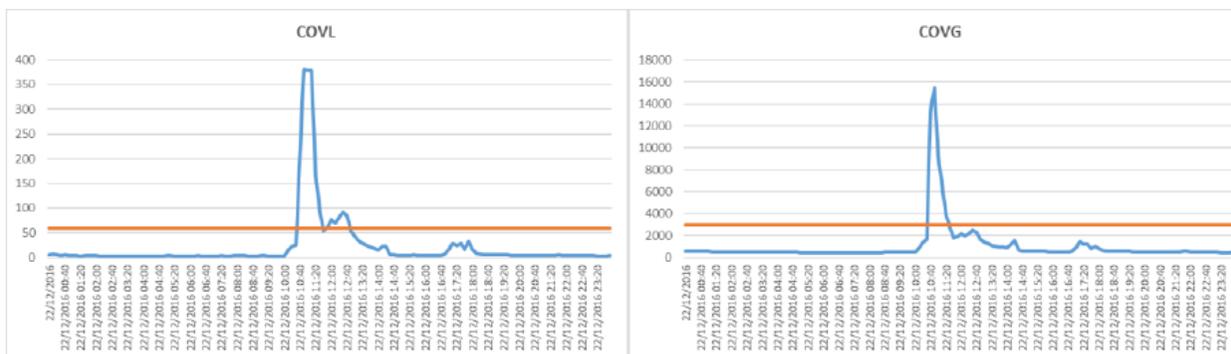
Dans les graphiques ci-dessous, on voit l'évolution de la concentration en COVL et COVG sur une journée où il y a eu utilisation de produits d'entretien. En effet, il a été détecté des polluants type limonène, alcools, etc.

On constate dans le premier graphique que les polluants ont du mal à être évacués avec une concentration qui est supérieure au seuil sanitaire durant 4h. Dans le graphe suivant, on voit une évacuation plus rapide, de l'ordre d'une heure, des polluants intérieurs.

Ouverture des menuiseries 4h après utilisation de produits ménagers



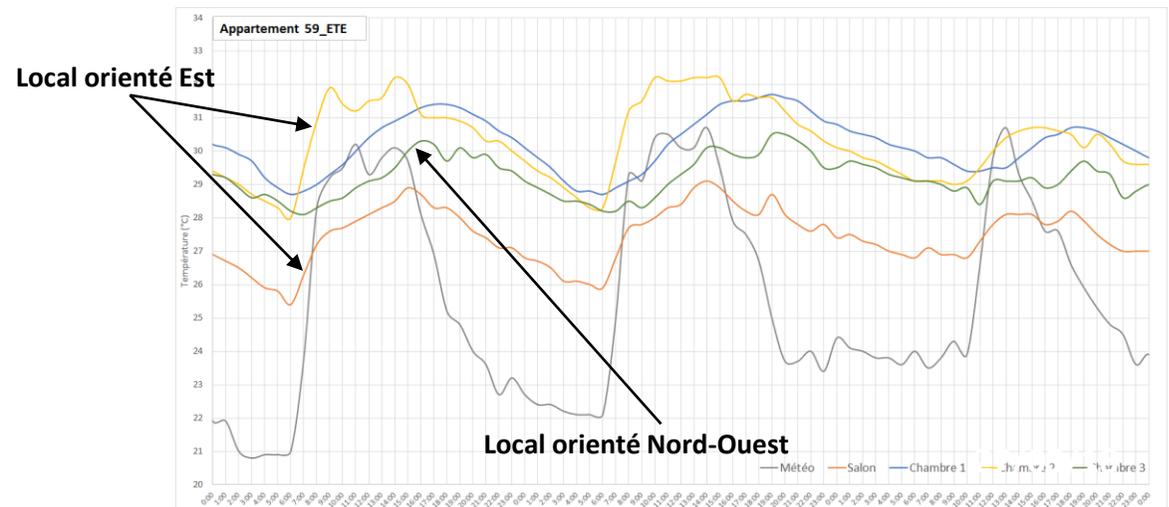
Ouverture des menuiseries pendant l'utilisation de produits ménagers



Evolution de la concentration en COVG et en COVL dans un logement

L'importance de se protéger efficacement du soleil pour chaque orientation de façades et baies

Dans les opérations de logements étudiés, nous avons pu constater que les typologies de protection solaire des façades et baies sont équivalentes quelque soit l'orientation des façades. Ayant pu instrumenter un certain nombre de locaux, nous avons remarqué qu'en fonction de l'orientation des locaux, le comportement thermique sera radicalement différent. Pour preuve, dans le graphique ci-dessus, il est illustré l'évolution des températures pour un même appartement avec des locaux orientés différemment. Il est important de noter que cet appartement a des taux de renouvellement quasi nul.



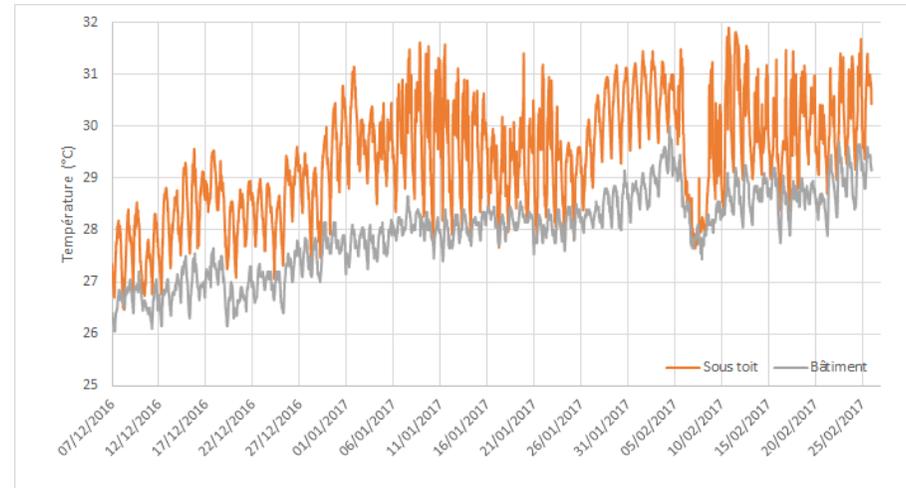
Evolution de la température dans un logement

Les températures à l'intérieur des locaux orientés à l'Est sont très élevées le matin, puis ce seront ceux orientés à l'Ouest l'après-midi. Ceci paraît logique mais il est important de noter que les températures intérieures vont monter de près de 4°C dans une chambre orientée Est alors que cette augmentation sera seulement de 0,5°C pour une chambre orientée Ouest.

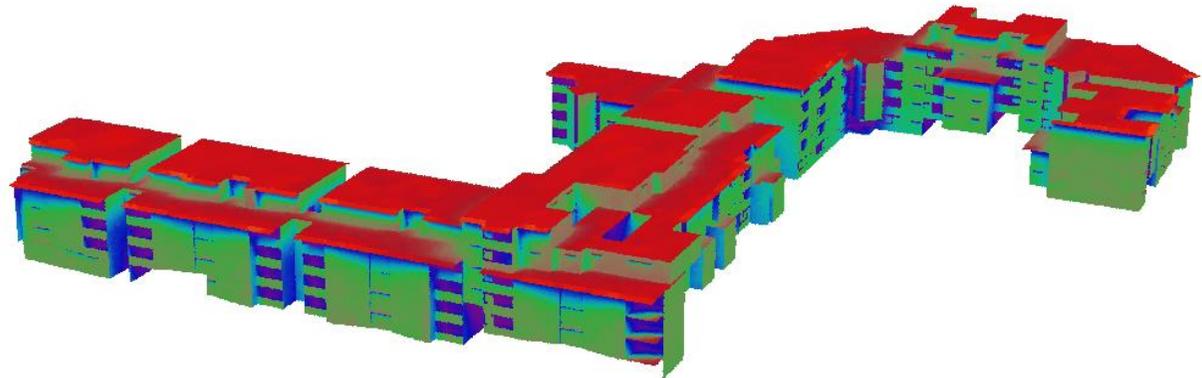
Les appartements sous toiture à travailler spécifiquement

La 5^{ème} façade est la paroi qui est la plus sollicitée par rapport au rayonnement solaire. Lors de nos campagnes, nous avons systématiquement instrumenté quelques logements sous toiture. Il s'est avéré que ces appartements sous toiture sont souvent les plus inconfortables. On voit dans le graphique ci-dessous la moyenne des températures d'air à l'intérieur de locaux sous toiture (courbe orange) et dans le bâtiments (courbe grise). Les apports thermiques sont très élevés et malgré l'isolation, il est important de développer une stratégie de renouvellement d'air plus importante (aujourd'hui quasi nul) que pour les logements au cœur d'un bâtiment.

Non seulement, il est possible d'ajouter une isolation sous toiture pour améliorer la performance thermique de cette toiture mais il peut être envisagé de placer une sur-toiture ventilée.



Evolution de la température dans un logement sous toiture (orange) et dans le cœur du bâtiment (gris)



Visualisation de l'irradiation solaire globale cumulée au mois d'avril

Une étude sociotechnique pour comprendre le comportements des usagers sur le fonctionnement de leurs logements

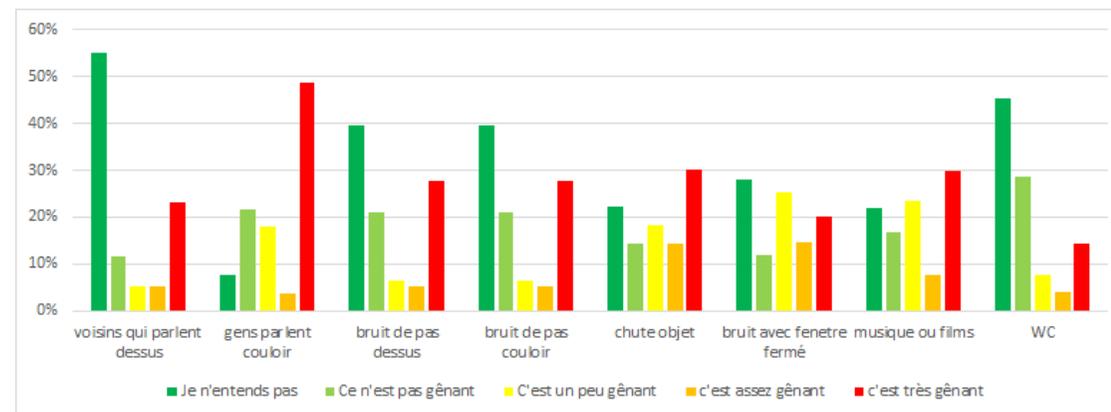
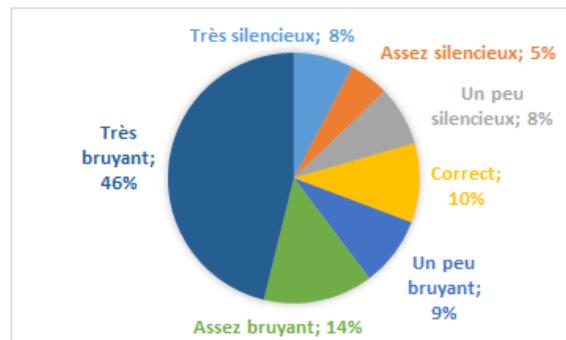
Deux questionnaires ont été proposés aux occupants de ces opérations :

- ❖ Questionnaire général : Il cherche à analyser les notions de confort tout au long de l'année en distinguant le confort d'été et le confort hivernal. Il va permettre de faire ressortir les points positifs et négatifs, les points à améliorer, quel équipement se trouve à l'intérieur du logement et comment il est utilisé, etc.
- ❖ Questionnaire instantané : Il va permettre d'évaluer le confort au moment de la réalisation du questionnaire

Ces deux documents sont importants pour le bienfondé de l'étude car ils vont mettre en avant l'utilisation des appartements par les usagers, leur ressenti par rapport aux notions de confort et les améliorations qu'ils envisagent. Corrélé avec les données des campagnes de mesures, nous pourrons en déduire les travaux potentiels à réaliser pour cette opération.

Les nuisances acoustiques ont fait l'objet de plaintes de la part des occupants. En effet, les occupants se plaignent majoritairement d'un inconfort acoustique : 46% des personnes interrogées trouvent leur logement très bruyant. Ceci est un réel problème qui va engendrer une non ouverture des fenêtres et donc une non évacuation des surcharges thermiques résultant un inconfort.

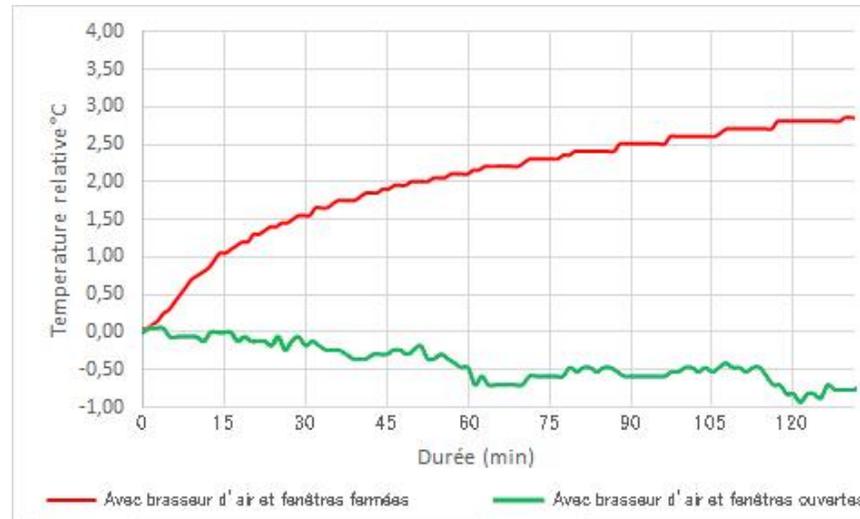
Les causes de cet inconfort sont multiples mais en premier lieu, il y a les nuisances liées aux gens qui parlent dans les couloirs (48% des personnes estiment ceci très gênant), puis vient les chutes d'objets (30% en très gênant) et la musique ou les sons de films (30% en très gênant). Les bruits de pas du logement au-dessus et ceux générés dans le couloir sont également une nuisance notable (28% en très gênants). Les usagers ont également évoqué les gens qui parlent (23% en très gênant) et les bruits liés au WC en moindre mesure (14% en très gênant).



Les brasseurs d'air ne font pas tout

Les brasseurs d'air permettent aux usagers d'abaisser la température ressentie par un arrachement des calories sur la peau. Cependant, ceci doit d'accompagner **obligatoirement** par un renouvellement d'air suffisant pour évacuer les surcharges thermiques. Une expérience réalisée dans les locaux de l'Ilet du Centre a pu mettre en évidence ceci. En effet, nous avons placés une charge interne importante dans un local fermé, puis nous avons comparé le comportement thermique de ce local en fonction de l'ouverture/fermeture des fenêtres avec brasseurs d'air. La température relative présentée ici montre la surchauffe ou non à l'intérieur de ce local.

Il en résulte que la surchauffe est importante dans le local fermé même avec utilisation des brasseurs d'air et que dans le local avec fenêtre ouverte, il y aura une baisse de la température intérieure. On constate une différence de près de 4°C entre ces deux expériences, ce qui permet de mettre en évidence la **réelle nécessité d'évacuer efficacement les calories à l'intérieur avant de placer des brasseurs d'air**.



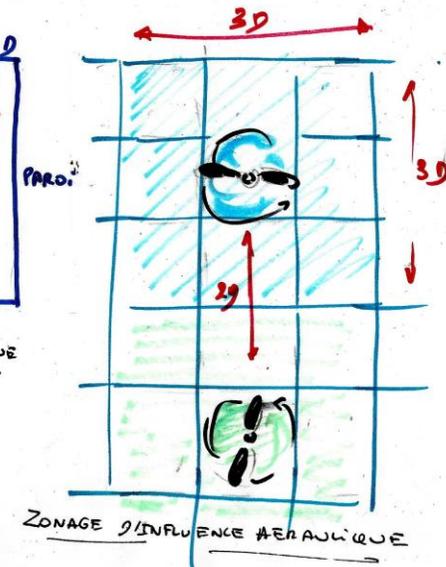
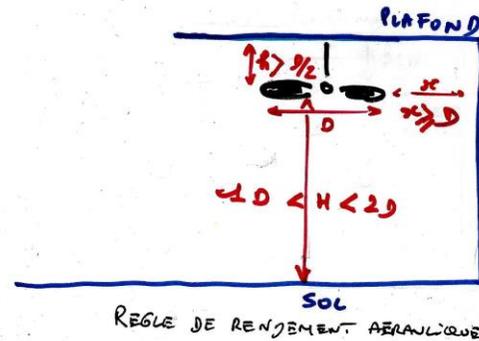
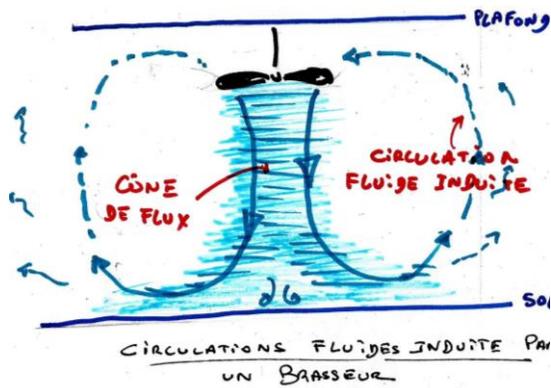
Evolution de la température dans un local avec une charge interne importante (100W/m²) avec un renouvellement d'air important (courbe verte) et un renouvellement d'air nul (courbe rouge)

Le positionnement des brasseurs d'air

La décharge thermique étant aérodynamiquement et aérauliquement assurée, il faudra avoir recours aux brasseurs d'air pour atteindre le confort thermique, sachant que l'objectif du brasseur est de créer dans la "couche de vie" des niveaux de dynamique de flux entre 0.5 et 1,5m/s, induites du cône de flux central et des circulation en boucles latérales. Le brasseur ne doit pas développer un flux ascendant trop fort ($V < 2\text{m/s}$) au risque de gêner l'usager par un effet de jet descendant !

La performance et le rendement aérodynamiques du brasseur dépendent de son positionnement par rapport au plafond, au sol et aux parois (voir schémas de principe ci-dessous). Dans de bonnes conditions d'implantation, le brasseur traite une surface carrée de l'ordre de $3D \times 3D$. Aussi lorsque on associe plusieurs brasseurs il est important (pour qu'il ne se contrarient pas) de garder une distance optimale de $2D$.

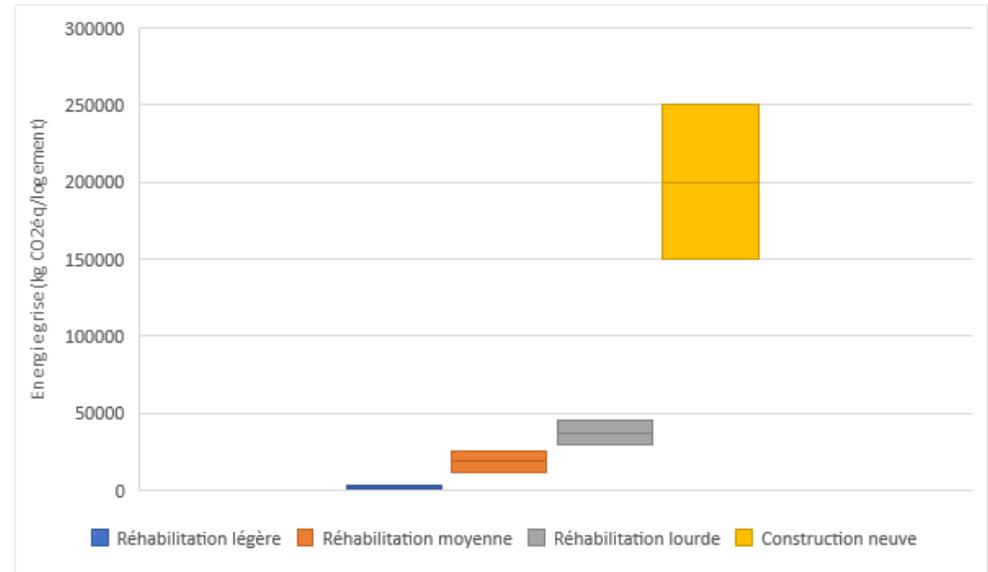
Pour une volumétrie donnée à traiter, il faut aussi avoir une réflexion sur le diamètre du brasseur à adopter. Dans l'homogénéisation du brassage, et donc à des fins d'un meilleur confort thermique (sous réserve que l'implantation reste possible), il faudra toujours préférer des brasseurs de grandes dimensions, qui tourneront relativement plus lentement, qu'une multitude de petits qui seront obligés de tourner plus vite pour développer la "même agitation de brassage".



L'énergie grise d'un projet de réhabilitation

En parallèle des études d'instrumentation réalisées, une étude sur l'énergie grise a été menée afin de déterminer quels sont les solutions les moins impactantes d'un point de vue environnemental. Il en résulte que même sur une rénovation lourde d'une opération de logement (reprise agencement du logement, reprise morphologie des corps de bâtiments, etc.), on arrive à un bilan moindre par rapport à une destruction / construction neuve; et ceci d'un facteur de 3-4.

Il est donc clair et évident que les **projets de réhabilitation doivent être fortement privilégiés d'un point de vue environnemental.**



Impact carbone d'un projet de réhabilitation légère, moyenne, lourde et d'une construction neuve

Partie 2 - Les fiches travaux

A la suite des divers diagnostics environnementaux réalisés sur les deux opérations de logements, des études d'optimisation ont été faites. Il s'agit ici de proposer des solutions d'optimisation et de les analyser au regard de quelques critères pour aider les concepteurs et décideurs à choisir la solution la plus appropriée.

L'impact carbone des travaux

Valeur 0 -- Coût carbone très élevé → Valeur 5 -- Aucun impact

Le confort thermique

Valeur 0 -- Aucun impact



Valeur 5 -- Forte amélioration du confort thermique

Facilité de mise en œuvre

Valeur 0 -- Intervention > 12 mois, Relogement obligatoire
 Valeur 1 -- Intervention > 1 semaine dans logement
 Valeur 2 -- Intervention > 1 jour dans logement
 Valeur 3 -- Intervention < 1 jour dans logement
 Valeur 4 -- Impact hors logement
 Valeur 5 -- Aucun impact

Limitation de la nuisance acoustique

Valeur 0 -- Dégradation majeure
 Valeur 1 -- Dégradation mineure
 Valeur 2 -- Aucun impact
 Valeur 3 -- Amélioration légère
 Valeur 4 -- Amélioration moyenne
 Valeur 5 -- Forte amélioration

Coût des travaux

Valeur 0 -- > 50 000€/log
 Valeur 1 -- > 25 000€/log
 Valeur 2 -- > 10 000€/log
 Valeur 3 -- > 5 000€/log
 Valeur 4 -- > 2 000€/log
 Valeur 5 -- < 1 000€/log

Eclairage naturel

Valeur 0 -- Dégradation majeure
 Valeur 1 -- Dégradation mineure
 Valeur 2 -- Aucun impact
 Valeur 3 -- Amélioration légère
 Valeur 4 -- Amélioration moyenne
 Valeur 5 -- Forte amélioration

La performance aéraulique

Valeur 0 -- Aucun impact



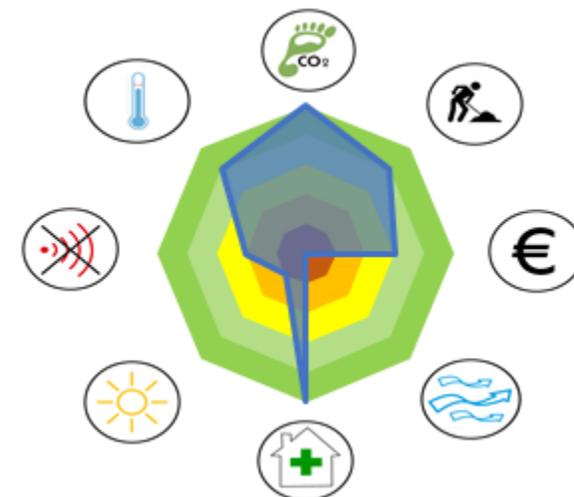
Valeur 5 -- Forte amélioration du confort thermique

Qualité sanitaire des espaces

Valeur 0 -- Dégradation sur longue durée
 Valeur 1 -- Dégradation sur courte durée
 Valeur 2 -- Aucun impact
 Valeur 3 -- Amélioration légère
 Valeur 4 -- Amélioration moyenne
 Valeur 5 -- Forte amélioration

Fiche travaux – Lot « Jardins »

Végétalisation des abords de bâtiments

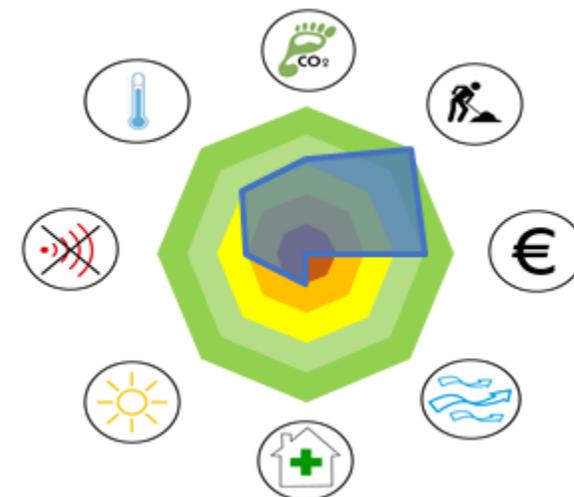


Description des travaux	Création de jardins en pied de bâtiments sur une épaisseur minimale de 3m
Confort thermique	Amélioration du confort thermique dans les logements, principalement pour ceux situés dans les niveaux inférieurs
Confort acoustique	Pas d'impact sur le niveau sonore mais sur la perception sonore
Confort lumineux	Pas d'amélioration significative
Santé	Les jardins vont capter certains polluants et retenir les poussières dans leurs feuilles. De plus, les arbres sont un puits de carbone avec en moyenne une captation de 25 kgCO ₂ par an pour un arbre situé en région tropicale
Coût carbone	- kg eqCO ₂ / logement (dépend de la surface de la parcelle à aménager, de la typologie et densité du végétal mis en place, etc.)
Coût travaux	- € par logement (dépend de la surface de la parcelle à aménager, de la typologie et densité du végétal, etc.)
Facilité de mise en œuvre	Ces travaux vont nécessiter de casser les revêtements durs en périphérie de bâtiment, ce qui implique des nuisances sonores durant la phase de chantier
Nota	<i>Le projet de démolition de l'opération « EUROPE 1 » pourrait laisser une place importante au végétal afin que l'opération « EUROPE 2 » puisse d'un air non surchauffé. Ceci permettrait de créer un îlot de fraîcheur que le quartier relativement minéral aurait bien besoin.</i>

Fiche travaux - Lots « Couverture » & « Etanchéité »

Protection solaire de la toiture // PERENE

Reprise de la toiture terrasse

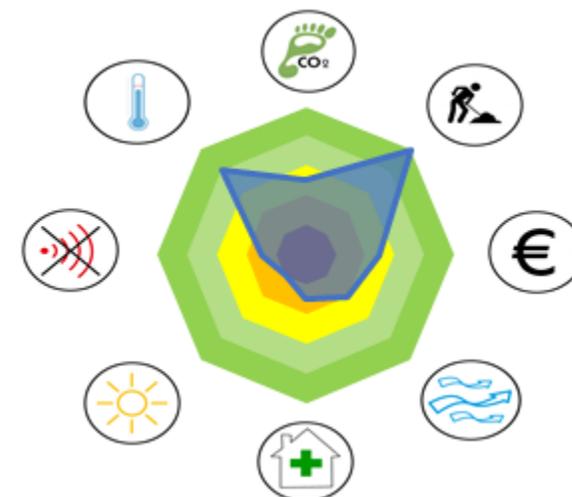


Description des travaux	Remplacement de l'isolation et du complexe d'étanchéité existants par un complexe d'étanchéité blanc avec isolation permettant d'être conforme aux exigences du référentiel PERENE Facteur solaire maximum : 0,02
Confort thermique	Limitation de la surchauffe sous toiture et donc amélioration importante du confort pour les appartements situés sous toiture. Amélioration plus légère du confort pour les autres appartements.
Confort acoustique	Pas d'amélioration significative
Confort lumineux	Pas d'amélioration significative
Santé	Lors de la pose de la toiture terrasse, il y aura des dégagements de COV non négligeable et ceci pour une durée d'environ 1 mois.
Coût carbone	300 à 400 kg eqCO2 / logement
Coût travaux	1 200 à 1 700 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Ces travaux n'impactent pas les occupants car les travaux se vont à l'extérieur des logements
Nota	Cette fiche a été réalisé pour un bâtiment en R+3 avec 20 logements par étage

Fiche travaux - Lots « Couverture » & « Etanchéité »

Protection solaire de la toiture // PERENE

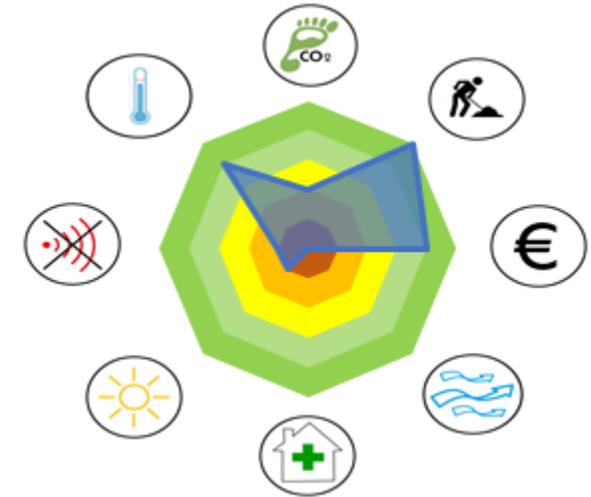
Pose d'une sur-toiture



Description des travaux	Pose d'une sur-toiture au dessus d'une toiture terrasse Facteur solaire max : 0,02
Confort thermique	Limitation de la surchauffe sous toiture et donc amélioration importante du confort pour les appartements situés sous toiture. Amélioration plus légère du confort pour les autres appartements.
Confort acoustique	Pas d'amélioration significative
Confort lumineux	Pas d'amélioration significative
Santé	Lors de la pose de la toiture terrasse, il y aura des dégagements de COV non négligeable et ceci pour une durée d'environ 1 mois.
Coût carbone	400 à 600 kg eqCO2 / logement
Coût travaux	5 000 à 10 000 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Ces travaux n'impactent pas les occupants car les travaux se font à l'extérieur des logements
Nota	<i>Cette fiche a été réalisé pour un bâtiment en R+3 avec 20 logements par étage Il peut être envisagé de placer une sur-toiture photovoltaïque ce qui permettrait d'avoir une production électrique sur site.</i>

Fiche travaux – Lot « Peinture »

Reprise de la peinture des murs extérieurs



Description des travaux	Reprise de la peinture des murs extérieurs avec une peinture de couleur claire
Confort thermique	Limitation de la surchauffe sur les façades.
Confort acoustique	Pas d'amélioration significative
Confort lumineux	Amélioration substantielle
Santé	Durant les travaux de peinture extérieure, des dégagements de COV auront lieu et impacteront les logements sur une durée d'un mois
Coût carbone	800 à 1000 kg eqCO ₂ / logement
Coût travaux	800 à 1200 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Pas de gênes importantes pour les occupants; les travaux se déroulent en extérieur

Fiche travaux – Lot « Couverture - bardage »

Ajout de protection solaire sur les façades // PERENE

Pose d'un bardage

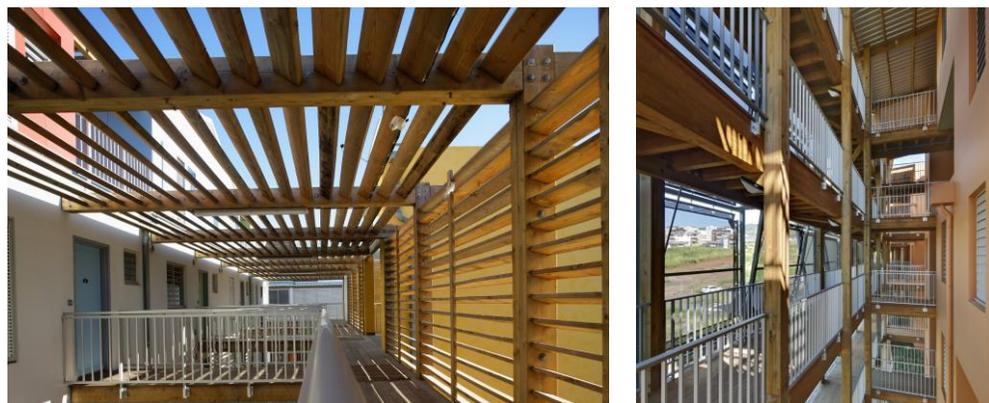
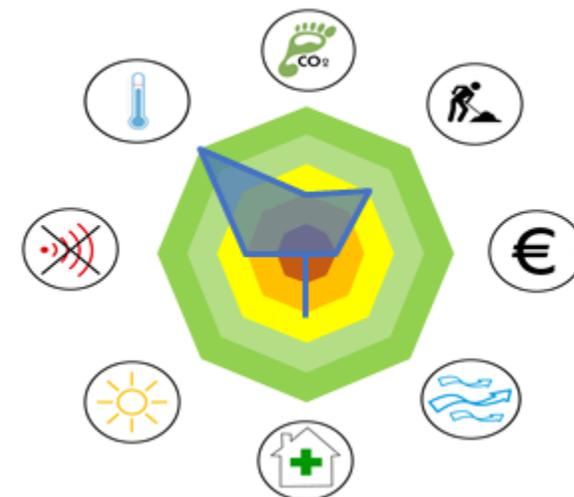


Description des travaux	Mise en place de protection solaire de type bardage sur les façades permettant de respecter les exigences de facteur solaire énoncé dans le référentiel PERENE. Ce bardage peut être en bois, en métal réfléchissant, en fibrociment, etc. Il est vivement conseillé de laisser une lame d'air ventilé la plus grande possible pour limiter les surchauffes en partie basse et haute du bardage. Facteur solaire max : 0,05
Confort thermique	La limitation des apports thermique sur les façades va limiter la surchauffe estivale et donc améliorer le confort dans les logements. Il est cependant vivement conseillé d'utiliser un bardage avec une couleur claire afin de limiter l'absorption thermique sur les parois verticales
Confort acoustique	Pas d'amélioration significative
Confort lumineux	Impact limité à la réflexion lumineuse des bâtiments.
Santé	Pas d'amélioration significative
Coût carbone	Bardage bois : 800 à 900 kg eqCO ₂ / logement Bardage fibrociment : 1500 à 1800 kg eqCO ₂ / logement Bardage aluminium : 2500 à 3000 kg eqCO ₂ / logement Bardage acier : 1800 à 2100 kg eqCO ₂ / logement
Coût travaux	5 000 à 6 000 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention dans les parties extérieures du logement sur plusieurs jours

Fiche travaux – Lot « Couverture - Bardage »

Ajout de protection solaire sur les façades // PERENE

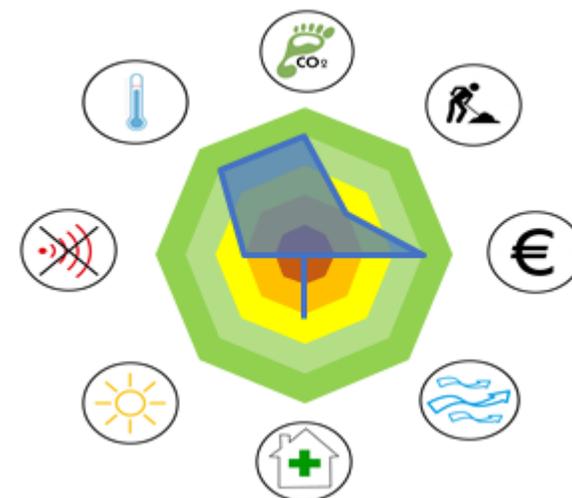
Pose d'un double peau



Description des travaux	Mise en place de protection solaire de type bardage sur les façades permettant de respecter les exigences de facteur solaire énoncé dans le référentiel PERENE Facteur solaire max : 0,05
Confort thermique	La limitation des apports thermique sur les façades va limiter la surchauffe estivale et donc améliorer le confort dans les logements. Il est cependant vivement conseillé d'utiliser un bardage avec une couleur claire afin de limiter l'absorption thermique sur les parois verticales
Confort acoustique	Pas d'amélioration significative
Confort lumineux	Impact limité à la réflexion lumineuse des bâtiments.
Santé	Pas d'amélioration significative
Coût carbone	800 à 1 000 kg eqCO2 / logement
Coût travaux	2 500 à 3 000 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention dans les parties extérieures du logement sur plusieurs jours

Fiche travaux – Lot « Métallerie – Serrurerie »

Ajout de protection solaire sur les baies // PERENE
Protection fixe type débord, panneau vertical, etc.

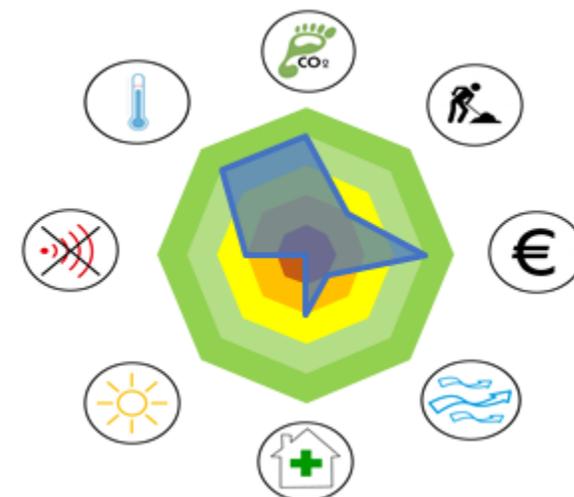


Description des travaux	Mise en place de protection solaire fixe (débord, panneau vertical, joues, lames horizontales, etc.) sur les baies permettant de respecter les exigences de facteur solaire énoncé dans le référentiel PERENE Facteur solaire max : N = 0,3 / S = 0,4 / E = 0,3 / O = 0,25
Confort thermique	La limitation des apports thermique sur les façades, baies et toiture va limiter la surchauffe estivale et donc améliorer le confort dans les logements. Les prescriptions de PERENE sont plus exigeantes que la RTAA, le confort sera plus important
Confort acoustique	Pas d'amélioration significative
Confort lumineux	Dégradation des apports de lumière naturelle. Il peut être posé des étagères à lumière si le confort lumineux à l'intérieur des pièces est vraiment dégradée.
Santé	Pas d'amélioration significative
Coût carbone	150 kg eqCO2 / logement
Coût travaux	2 700 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention dans les parties extérieures du logement sur plusieurs jours

Fiche travaux – Lot « Métallerie – Serrurerie »

Ajout de protection solaire sur les baies // PERENE

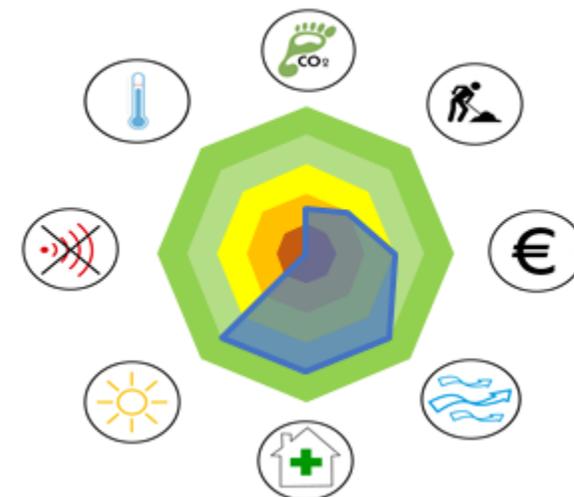
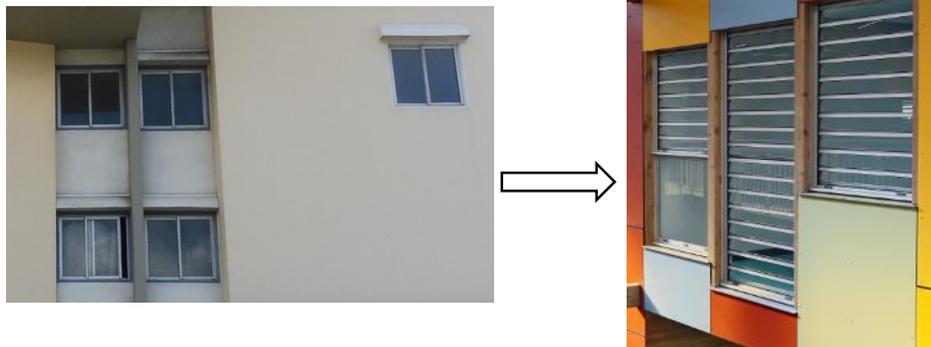
Protection de type volet persienné mobile



Description des travaux	Mise en place de protection solaire de type volet persienné mobile au niveau des baies Facteur solaire max : N = 0,3 / S = 0,4 / E = 0,3 / O = 0,25
Confort thermique	La limitation des apports thermique sur les baies va limiter la surchauffe estivale et donc améliorer le confort dans les logements.
Confort acoustique	Pas d'amélioration significative
Confort lumineux	Dégradation des apports de lumière naturelle dans le local. Les persiennes peuvent être orientables ce qui permet de moduler les apports de lumière naturelle.
Santé	Pas d'amélioration significative
Coût carbone	150 kg eqCO2 / logement
Coût travaux	2 700 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention dans les parties extérieures du logement sur plusieurs jours

Fiche travaux – Lot « Menuiserie »

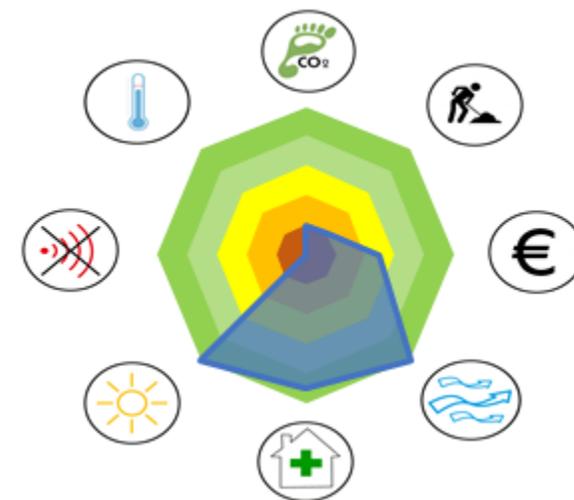
Reprise des menuiseries par des jalousies



Description des travaux	Remplacement des menuiseries existantes (coulissants) par des menuiseries de type jalousie
Confort thermique	La pose de jalousie va permettre d'avoir une ouverture libre plus importante que des coulissants et les usagers pourront moduler facilement les débits d'air grâce aux différentes positions des lames
Confort acoustique	Pas d'amélioration significative
Confort lumineux	Pas d'amélioration si simple remplacement de menuiserie car il y aura la même surface vitrée
Santé	Amélioration de la qualité sanitaire des logements par un renouvellement d'air plus important
Coût carbone	1 100 kg eqCO ₂ / logement
Coût travaux	3 500 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention lourde à l'intérieur du logement

Fiche travaux – Lot « Menuiserie »

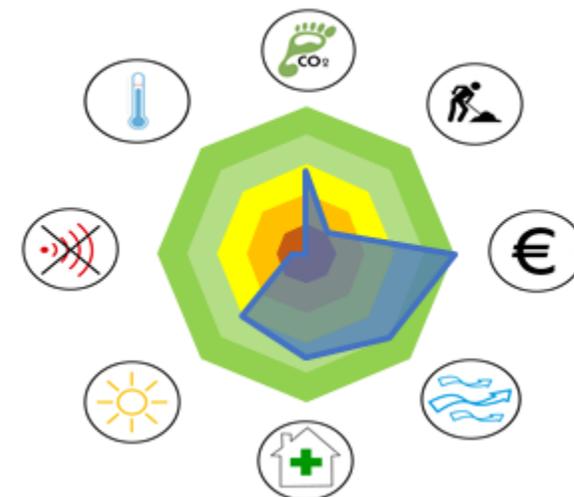
Agrandissement de la porosité des façades



Description des travaux	Agrandissement des menuiseries actuelles pour atteindre 25% de porosité sur les façades traversantes
Confort thermique	La pose des jalousies et l'agrandissement de la surface ouvrable va permettre d'avoir des taux de renouvellement plus conséquent améliorant l'évacuation des surcharges thermiques
Confort acoustique	Pas d'amélioration significative
Confort lumineux	Amélioration important du confort lumineux par une augmentation de la surface vitrée
Santé	Amélioration de la qualité sanitaire des logements par un renouvellement d'air plus important
Coût carbone	1 600 kg eqCO ₂ / logement
Coût travaux	5 500 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention lourde à l'intérieur du logement

Fiche travaux – Lot « Menuiserie »

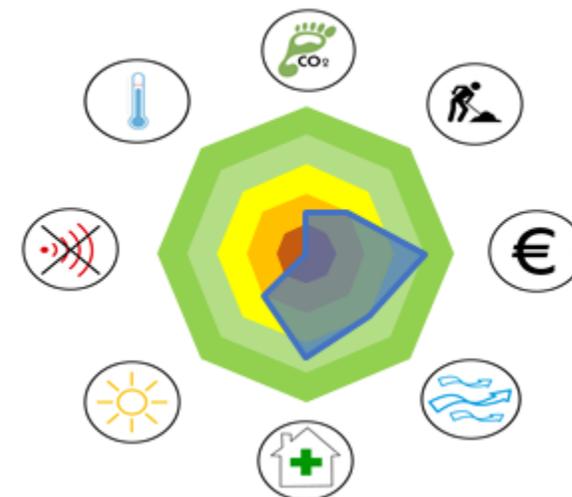
Mise en place d'imposte sur les portes intérieures



Description des travaux	Pose d'imposte avec lames horizontales au dessus des portes intérieures
Confort thermique	La pose d'imposte au dessus des portes intérieures va permettre de ne pas entraver la libre circulation aéraulique entre les pièces du logement.
Confort acoustique	Dégradation légère du confort acoustique entre pièces du même logement
Confort lumineux	L'imposte vitrée va induire des apports de lumière naturelle
Santé	Les taux de renouvellement d'air vont sensiblement être amélioré permettant d'évacuer notamment le CO2 durant la nuit dans les chambres.
Coût carbone	300 à 500 kg eqCO2 / logement
Coût travaux	700 à 900 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention dans le logement sur plusieurs jours
Nota	<i>Cette fiche a été réalisé pour un logement de type T4</i>

Fiche travaux – Lot « Menuiserie »

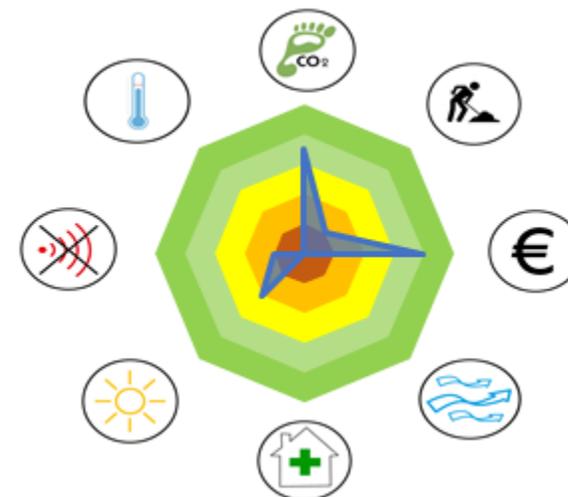
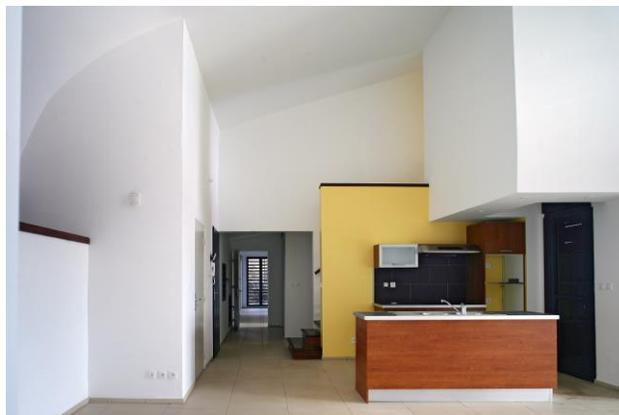
Mise en place de porte d'entrée ventilée



Description des travaux	Remplacement de la porte d'entrée existante par une porte d'entrée ventilée type porte ecodom. Il s'agit ici de garder l'intimité et la sécurité tout en laissant le passage d'air à travers cet ouvrant
Confort thermique	Cette porte d'entrée va permettre d'ajouter une ouverture vers l'extérieur ce qui potentiellement va permettre d'améliorer les débits d'air à l'intérieur du logement.
Confort acoustique	Dégradation du confort acoustique vis-à-vis de l'extérieur. Il y a possibilité de placer des dispositifs permettant un apport d'air neuf naturel en haut des portes d'entrée.
Confort lumineux	Amélioration légère du confort lumineux par cette porte poreuse
Santé	Il y aura constamment une ouverture vers l'extérieur permettant à l'air vicié d'être renouveler
Coût carbone	1 000 à 1 500 kg eqCO ₂ / logement
Coût travaux	1 100 à 1 500 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention rapide dans le logement

Fiche travaux – Lot « Peinture »

Reprise de la peinture intérieure



Description des travaux	Reprise de la peinture intérieure par une peinture de couleur claire
Confort thermique	Pas d'amélioration significative
Confort acoustique	Pas d'amélioration significative
Confort lumineux	Pour les locaux sombres, la reprise de la peinture intérieure par une couleur claire va induire des apports de lumière naturelle plus conséquents.
Santé	Après les travaux de peinture, il est nécessaire d'ouvrir abondamment le logement pour évacuer les émissions de COV s'il est utilisé des peintures en phase aqueuse/solvant. Nous recommandons la mise en place de peinture minérale, sans COV, pour éviter tout problème sanitaire.
Coût carbone	200 à 300 kg eqCO2 / logement
Coût travaux	2 100 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention dans le logement sur quelques jours
Nota	Cette fiche a été réalisé pour un logement de 70m ² avec une hauteur sous plafond de 2,70m.

Fiche travaux – Lot « Revêtement sol souple »

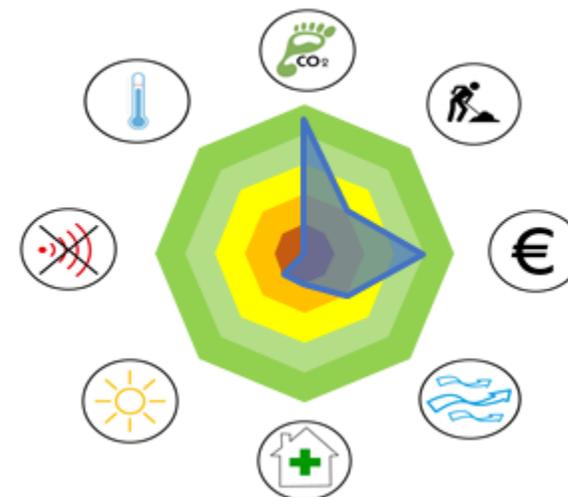
Reprise des revêtements de sol



Description des travaux	Pose de revêtement de sol de type sol souple dans l'ensemble du logement sauf dans les salles de bains où il sera placé du carrelage
Confort thermique	Pas d'amélioration significative
Confort acoustique	Amélioration importante pour les bruits de chocs
Confort lumineux	Il est important de choisir un revêtement de couleur claire pour améliorer le confort lumineux dans les logements.
Santé	S'il est utilisé de la colle lors des travaux de pose du revêtement, il y aura des dégagements importants de COV et ceci durant 1-2 mois. Ceci nécessitera que les usagers ouvrent très régulièrement leurs ouvrants pour évacuer ces polluants.
Coût carbone	600 à 800 kg eqCO2 / logement
Coût travaux	2 500 à 3 200 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention dans le logement sur quelques jours
Nota	Cette fiche a été réalisée pour un logement de 70m ² dont 14m ² de revêtements durs dans les pièces humides

Fiche travaux – Lot « Electricité »

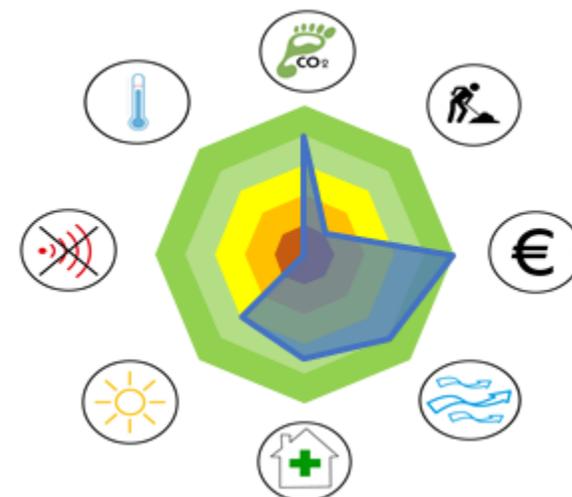
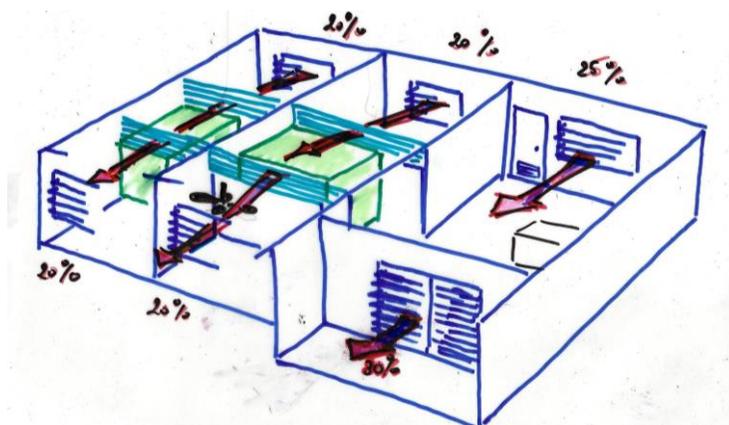
Pose de brasseurs d'air



Description des travaux	Pose de brasseurs d'air dans les salons et chambres à hauteur de 1 brasseurs d'air pour 20m ² .
Confort thermique	Les brasseurs d'air vont générer des vitesses d'air permettant d'abaisser la température ressentie des occupants. Ceci va donc améliorer considérablement le confort durant la période estivale.
Confort acoustique	Choisir un brasseur d'air ne générant pas ou peu de nuisance acoustique
Confort lumineux	Pas d'amélioration significative
Santé	Pas d'amélioration significative
Coût carbone	80 à 120 kg eqCO ₂ / logement
Coût travaux	1 100 à 1 400 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention dans le logement sur une journée
Nota	Cette fiche est basée sur la pose de 5 brasseurs d'air (2 dans le salon et 1 par chambre) pour un T4.

Fiche travaux – Lot « Cloison – Faux plafond »

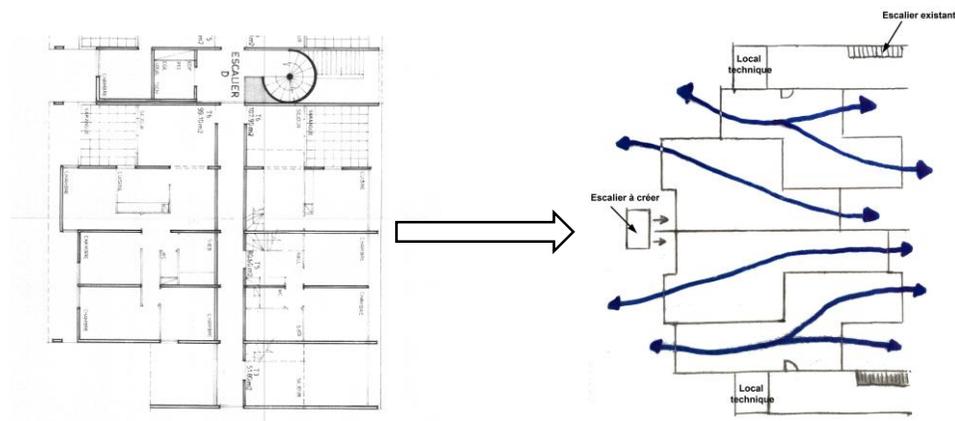
Abaissement du bloc SDB et WC



Description des travaux	Le mur du bloc salle de bain et WC est abaissé de 40cm pour permettre une meilleure ventilation entre les chambres.
Confort thermique	Abaisser le plafond du bloc salle de bain / WC va permettre de ne pas entraver la ventilation naturelle généralement entre les chambres des logements, induisant ainsi des taux de renouvellements d'air plus important
Confort acoustique	Dégradation légère du confort acoustique entre pièces du même logement
Confort lumineux	Apport léger de lumière naturelle
Santé	Amélioration légère de la qualité sanitaire des logements par un renouvellement d'air plus important
Coût carbone	100 à 200 kg eqCO ₂ / logement
Coût travaux	700 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention lourde à l'intérieur du logement

Fiche travaux – Lot « Cloison – Faux plafond » & « Menuiserie

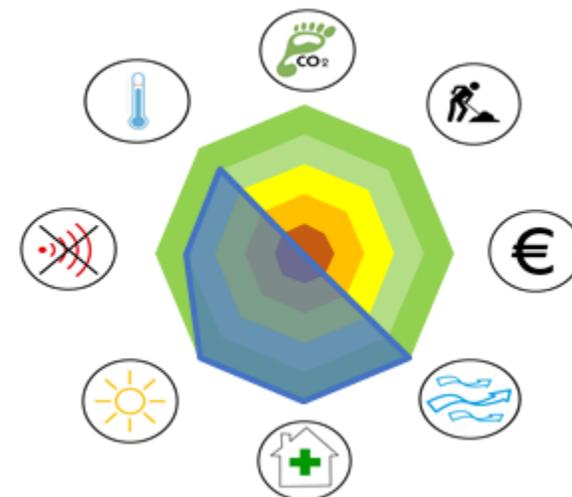
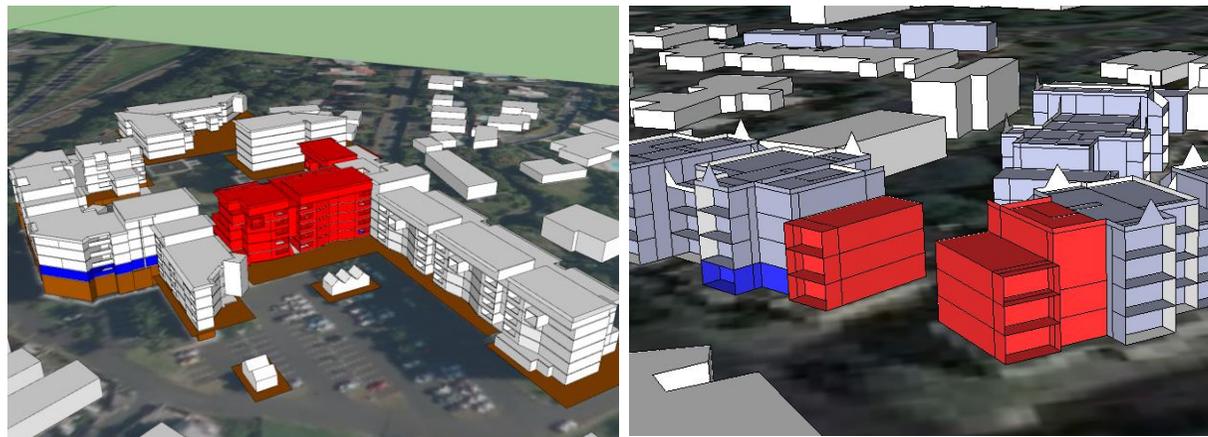
Reprise de l'agencement du logement



Description des travaux	L'agencement actuel des cellules de logements ne permet pas d'avoir une ventilation naturelle véritablement efficace. Seul quelques logements sont traversants (type 109) mais avec une efficacité moindre. Il s'agit ici de repenser l'agencement intérieur pour avoir des taux de renouvellements d'air permettant d'assurer le confort
Confort thermique	Amélioration très significative du confort thermique par une forte augmentation des taux de renouvellements d'air dû au fait que les logements seront traversants
Confort acoustique	Amélioration possible
Confort lumineux	Rendre les logements traversants va permettre d'avoir des apports de lumière naturelle plus importants car il y aura deux façades à l'extérieur et non une seule.
Santé	Amélioration importante de la qualité sanitaire des logements par un renouvellement d'air plus important
Coût carbone	1 5000 kg eqCO2 / logement
Coût travaux	25 000 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention très lourde à l'intérieur du logement nécessitant un relogement des locataires durant la période de travaux

Fiche travaux – Lot « Gros œuvre » et « VRD »

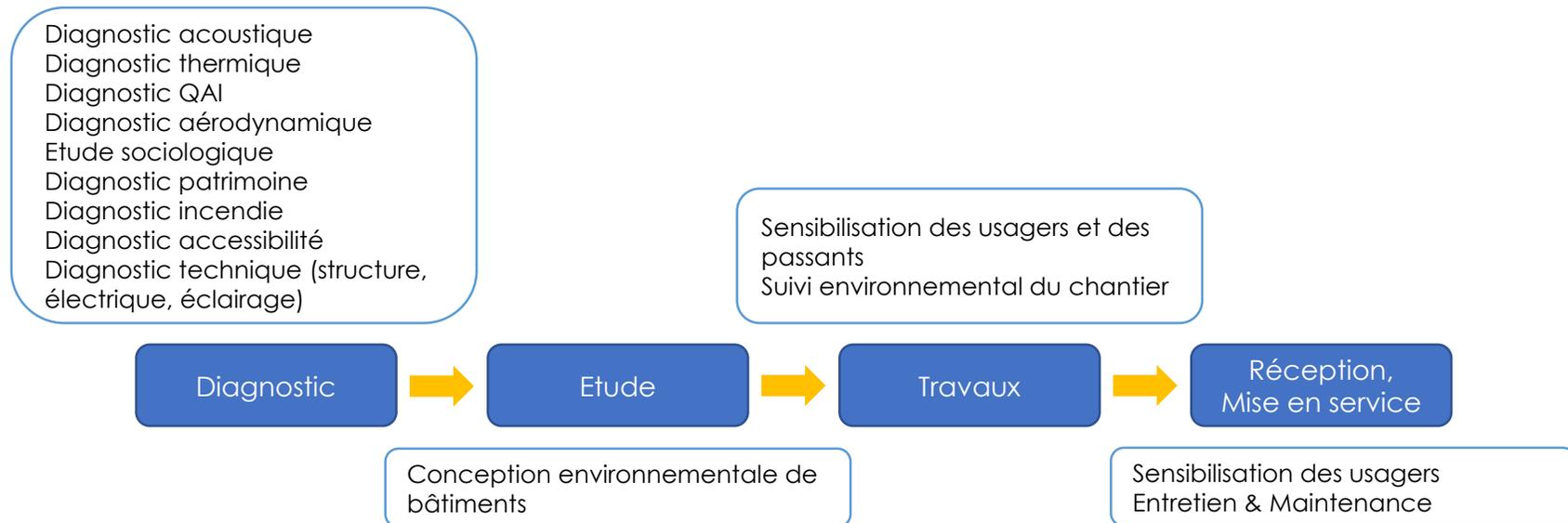
Reconfiguration du plan masse de l'opération



Description des travaux	Travaux de démolition et/ou reconstruction de bâtiments sur la parcelle de l'opération EUROPE
Confort thermique	Amélioration très significative du confort thermique par une forte augmentation des taux de renouvellements d'air dû au fait que les logements seront traversants et que le plan masse sera optimisé pour ne pas entraver la libre circulation aéraulique
Confort acoustique	Amélioration possible
Confort lumineux	Rendre les logements traversants va permettre d'avoir des apports de lumière naturelle plus importants car il y aura deux façades à l'extérieur et non une seule.
Santé	Amélioration importante de la qualité sanitaire des logements par un renouvellement d'air plus important
Coût carbone	35000 kg eqCO2 / logement
Coût travaux	> 70 000 € par logement
Facilité de mise en œuvre	Intervention très lourde à l'intérieur du logement nécessitant un relogement des locataires durant la période de travaux

Partie 3 – Une méthodologie pour réhabiliter durablement

La connaissance du bâtiment et de ses occupants doivent être préalable à toute intervention. Il est donc nécessaire de réaliser un ensemble d'étude afin de bien comprendre la performance et le réel fonctionnement du bâtiment. Ainsi, il peut être réalisé des études portant sur l'acoustique, la thermique, la structure, la sociologie, etc. A l'issue de ces diagnostics, le maître d'ouvrage aidé de ses partenaires doit se positionner quant aux choix sur le projet de réhabilitation : réhabilitation légère, réhabilitation lourde ou démolition/reconstruction. Une fois le choix acté, le maître d'œuvre sélectionné peut réaliser l'ensemble des études de conception. En suivra, le chantier de construction, puis la réception et mise en service du bâtiment. Il est important que chaque maillon du projet soit bien réalisé et que soit gardé tout au long du projet cette ambition environnementale, ceci fera toute la différence à l'usage.



Les données météorologiques

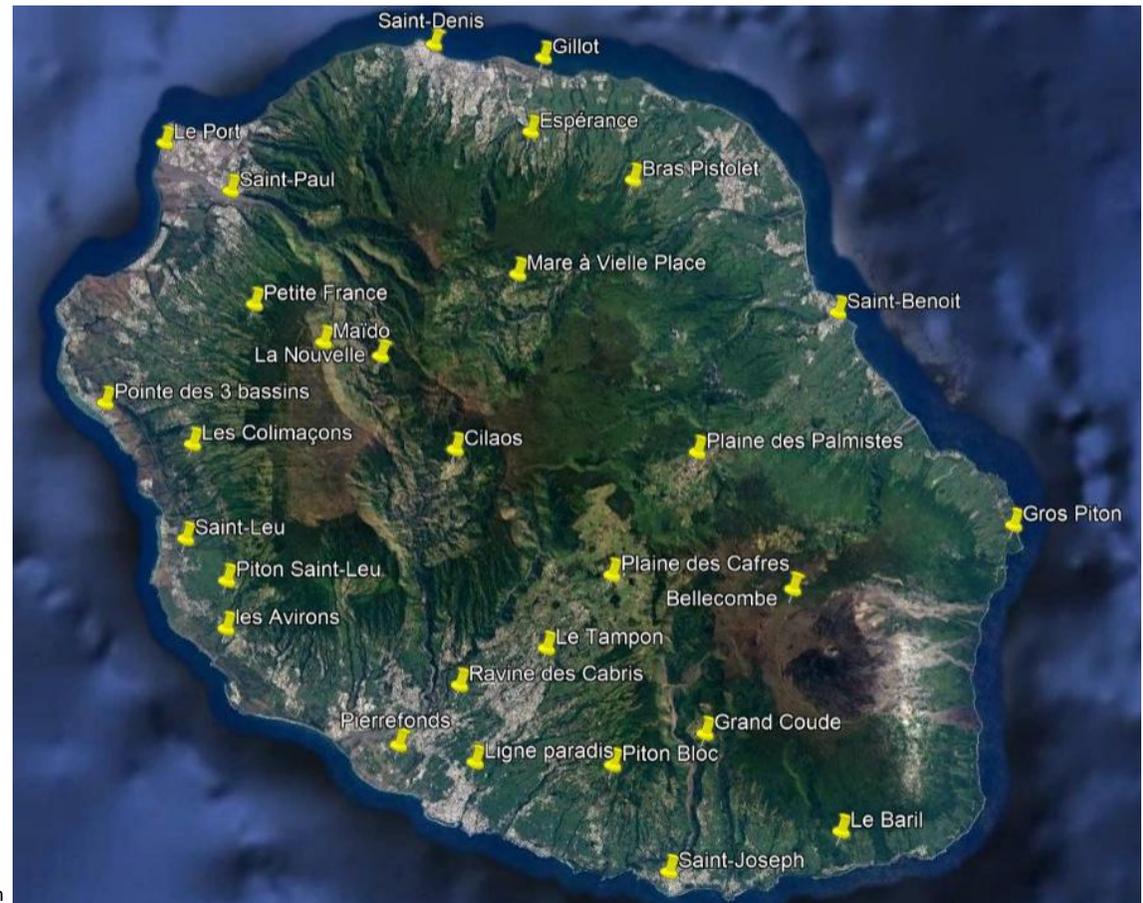
Les données météorologiques d'un site

Concrètement, il est nécessaire pour tout concepteur de bénéficier de certaines données météorologiques du site propre. La température, l'humidité relative, la vitesse et direction du vent, l'irradiation globale sont les données principales à étudier pour tout projet de conception. Les fichiers météorologiques pour la conception sont disponibles dans le référentiel PERENE (Université). La carte suivante montre l'emplacement des fichiers météorologiques dont on dispose aujourd'hui.

En fonction de l'éloignement du site d'étude avec les stations répertoriés sur la carte suivante, il est nécessaire d'ajuster les données météorologiques pour avoir des valeurs plus cohérentes. Deux méthodes peuvent être appliquées :

→ pose d'une station météorologique sur le site d'étude pendant une durée minimale d'une année, puis réalisation d'une recalage climatique à partir de ces données. Cette méthode est la plus fiable.

→ réalisation d'un recalage climatique directement avec quelques règles empiriques. Par exemple, pour la donnée « température », on réalisera une adaptation en fonction de l'altitude. On appliquera un facteur correctif de $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ tous les $\pm 100\text{m}$ d'altitude. En effet, si un site d'étude est éloignée en altitude de $+450\text{m}$, on abaissera la température de $3,15^{\circ}\text{C}$ sur l'ensemble des données météorologiques.



Emplacement des diverses stations météorologiques à la Réunion

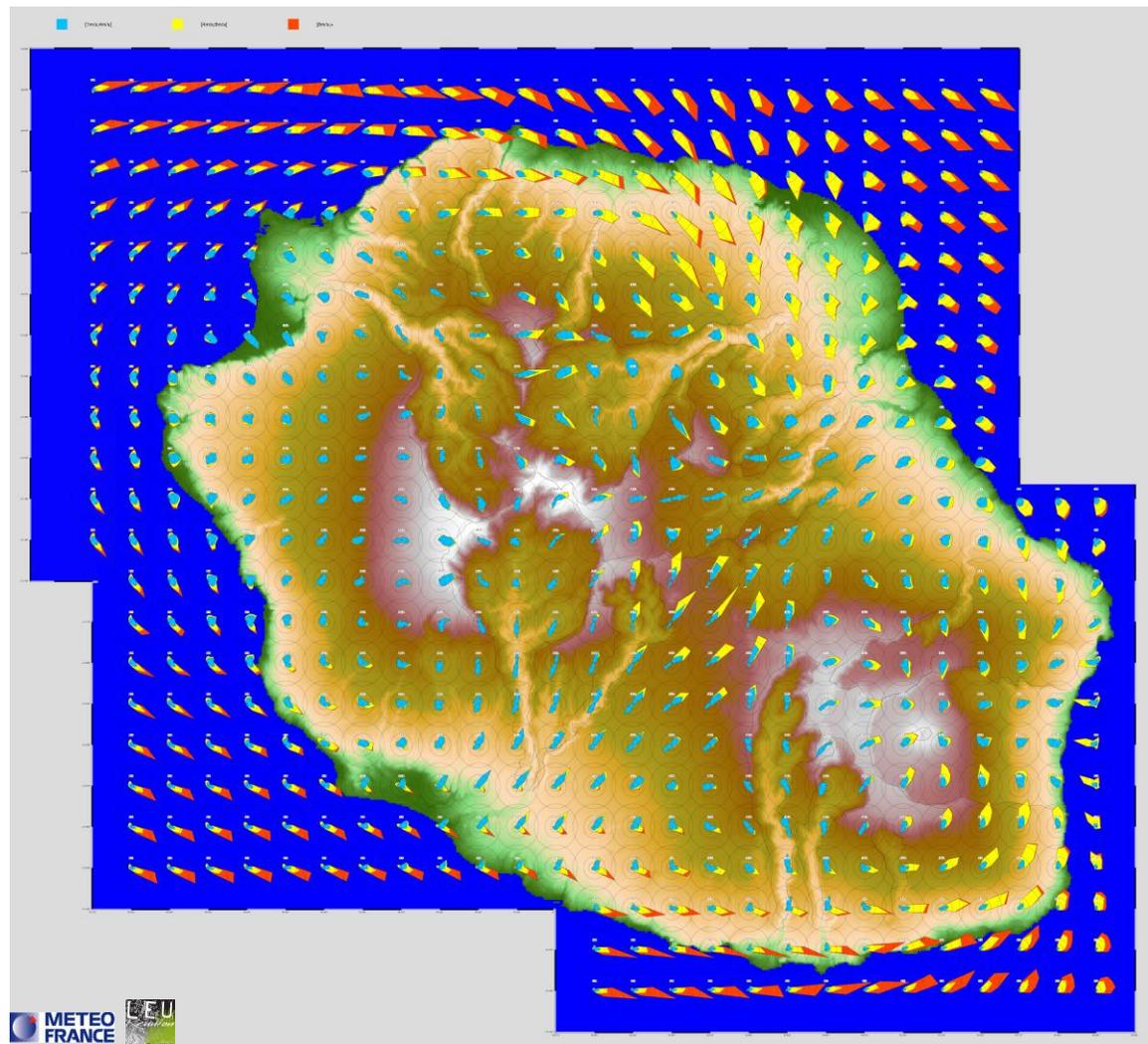
Les données météorologiques

La potentialité aéraulique d'un site

Avant d'entreprendre le travail aérodynamique du plan masse, il faudra s'assurer que la potentialité d'irrigation du site est suffisante, à savoir que le seuil de vitesse moyenne (sur 10mn) du vent de 2,5m/s est atteinte et dépassée en été pendant plus de 50% du temps (à 10m de hauteur, en zone dégagée de constructions sur le site). De même, il sera nécessaire de connaître les directions dominantes des vents sur le site.

En urbanisme climatique, la première réflexion débutera par un recalage climatique des données météorologiques (les plus proches). L'exercice peut se faire théoriquement (méthode numérique et analogique) mais on préférera toujours l'implantation (temporaire) d'un pylône anémométrique (vitesses et directions sur une période estivale, à minima).

De plus, LEU Réunion et Météo France ont développé une carte montrant les roses des vents tous les 2km (en latitude et longitude) à l'échelle de la Réunion. Cette carte est issue du modèle numérique AROME permettant d'estimer la vitesse et direction du vent à 10m de hauteur à partir de la base de données Météo France.



Rose des vents tous les 2km à l'échelle de la Réunion

Les données météorologiques

Le recalage météorologique d'un site

Le recalage climatique d'un site est un élément important pour tout projet de conception. Il permet de savoir très exactement les potentialités d'un site d'étude par rapport aux données météorologiques et ceci de manière précise. En effet, des informations sur les régimes de température, les vents dominants, l'hygrométrie locale, etc. seront explicitées.

Quand ?

Il est nécessaire de réaliser une étude des données météorologiques en amont de toute phase de conception. Ces données doivent être fournies dans le programme du projet de maîtrise d'œuvre.

Combien ?

Le coût de ce type d'étude varie de 4.000 à 20.000€ selon la complexité d'implantation de la station météorologique. On préfère la pose sur une toiture plate.

Impact sur les usagers ?

Il n'y aura pas d'impacts sur les usagers si le positionnement de la station est suffisant sécurisée.

Qui ?

Ce travail doit être réalisé par un BET spécialisé dans l'instrumentation météorologique.

Durée ?

Les relevés sur site dure à minima une année complète. Ceci doit donc être bien anticipé.

La finalité ?

A l'issue de la campagne de mesure, le BET en charge de cette mission élaborera un fichier météorologique propre au site d'étude. De plus, un rapport expliquant les données du site permettra d'amender le programme technique.



Le confort acoustique

Le diagnostic acoustique

Le diagnostic acoustique a pour but de caractériser la performance acoustique de l'ensemble des parois d'un bâtiment. Avec la réalisation de quelques mesures dans les logements, le BET acoustique pourra déterminer la performance acoustique propre du bâtiment et proposera des dispositifs permettant de limiter les nuisances sonores à l'intérieur des logements.

Quand ?

Le diagnostic acoustique est réalisé en amont de la programmation de MOE

Qui ?

Ce travail doit être réalisé par un BET spécialisé en acoustique de bâtiment

Combien ?

Le coût de ce type d'étude varie de 2.000 à 5.000 € selon le nombre de logements

Durée ?

Les relevés acoustiques durent entre 0,5 à 1 journée.

Impact sur les usagers ?

Lors des tests, l'acousticien va générer des bruits pour tester les parois, il y aura des nuisances importantes sur les usagers lors de son intervention

La finalité ?

Le rapport de diagnostic acoustique permettra de quantifier la performance acoustique des parois. Il prescrira alors des matériaux absorbants sur certaine paroi, ou placera d'autres dispositifs pour limiter les nuisances acoustiques.



Sonomètre

L'étude socio-technique

Une étude sociotechnique peut être proposée en amont de la réalisation du programme de construction. Ceci va permettre de d'identifier les réelles problématiques des usagers par rapport à de simple étude classique qui ne font pas intervenir le locataire. Ainsi, il sera identifié si le logement est confortable sur de nombreux aspects, mais ceci peut mettre en évidence également des problématiques de gestion, des points importants à conserver, des idées de travaux, etc. De plus, les usagers se sentiront plus impliqués dans le projet de réhabilitation, il y aura une meilleure appropriation de leur part.

Quand ?

Cette étude doit être réalisé en amont de la phase programmation afin que les conclusions puissent être inscrite dedans

Qui ?

Ce travail doit être réalisé par un BET spécialisé en qualité environnementale de bâtiment et/ou un sociologue avec de fortes connaissances dans le domaine de la qualité environnementale.

Combien ?

Le coût de ce type d'étude varie de 2.000 à 5.000 € selon le nombre de logements

Durée ?

Cette étude dure deux semaines environ en fonction de la taille de l'opération

Impact sur les usagers ?

Les usagers vont être interrogés à hauteur de 15-20min par entretien. Plus l'échantillon d'entretiens sera important, plus la qualité de l'étude sociotechnique sera bonne.

La finalité ?

Ceci va permettre de comprendre les réelles problématiques et souhaits des usagers.

Date : ____ / ____ / ____

Enquête de Satisfaction sur le confort dans les logements



INFORMATIONS GENERALES : QUI ETES-VOUS ?

- Bat/Appt:
- Etage : RDC R+1 R+2 R+3 R+4
- Type : T1 T2 T3 T4 T5 ou plus
- Etes-vous ? Un homme Une femme
- Age: - 20 ans 20-30ans 30-40 ans 40-50 ans + 50 ans
- Quelle est votre activité actuelle ?
 Actif Sans emploi Etudiant Retraité
- Combien de personnes vivent actuellement dans le logement ?
- Depuis combien de temps occupez-vous cet appartement ?
 Moins d'1 an Plus d'1 an et moins de 3 ans Plus de 3 ans
- A quel moment de la journée êtes-vous dans le logement :
8h-12h 12h-14h 14h-18h 18h-20h 20h-8h
Lundi - Vendredi
Week-end

EQUIPEMENTS : COMMENT LES UTILISEZ-VOUS ?

- Votre logement est-il équipé de :
Oui Non Dans quelle(s) pièce(s) ?
Climatisation
Brasseur d'air
- Ouvrez les fenêtres des pièces de vie principales pour aérer votre logement ?
En été oui non **En hiver** oui non
- A quel(s) moment(s) ? Matin Après-midi Soirée Nuit
- A quelle fréquence ouvrez-vous les fenêtres? (sur une journée type)
Chambre(s) Jamais / Ponctuel Rarement Souvent Tout le temps
Séjour Jamais / Ponctuel Rarement Souvent Tout le temps
Cuisine Jamais/Ponctuel Rarement Souvent Tout le temps

- Pour quelle(s) raison(s), n'ouvrez-vous pas ?
 Trop de bruit Trop de vent Mauvaises odeurs Intimité Sécurité
 Poussière Climatisation allumée Moustiques Autres :

- Quel(s) moyen(s) avez-vous pour vous protéger du soleil? (chambres / séjour)
 Aucun Stores Rideaux Volets projetables
 Casquettes Varangue Autre :

CONFORT THERMIQUE : COMBIEN FAIT-IL CHEZ VOUS ?

16. Comment vous sentez-vous dans votre logement en général?

	Chaud					Froid								
	Très	Assez	Peu	0	Assez	Très	Très	Assez	Peu	0	Assez	Très		
Séjour	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Chambre parents	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Chambre enfants	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7

- En général trouvez-vous les conditions dans votre logement ?

	Très	Assez	Peu	0	Assez	Très
En été	1	2	3	4	5	6
En hiver	1	2	3	4	5	6

- Comment jugez-vous le « courant d'air » dans votre logement ?

	Très Assez Peu 0 Peu Assez Très						
	1	2	3	4	5	6	7
Séjour	1	2	3	4	5	6	7
Chambre parents	1	2	3	4	5	6	7
Chambre enfants	1	2	3	4	5	6	7

MERCI DE VOTRE PARTICIPATION !

L'étude thermique

Le diagnostic thermique avant travaux

Les problématiques de surchauffe estivale dans les logements des bas de la Réunion sont récurrentes. Dans un premier temps, il faut se donner les moyens de comprendre pourquoi le bâtiment n'est pas performant sur cet aspect :

- > Manque de protection solaire ?
- > Trop faible taux de renouvellement d'air ?
- > Apports internes trop importants ?

Pour cela, il peut être envisager de réaliser un audit instrumenté sur le confort. Il s'agit alors de placer des capteurs enregistreurs de température et d'humidité à l'intérieur des logements et de voir comment le bâtiment se comporte d'un point de vue thermique. Par la suite, le BET réalisant ce travail, proposera des solutions d'optimisations à travers la réalisation d'une étude de prédictions du confort du type Batipéi ou outil STD.

Quand ?

Le diagnostic thermique est réalisé en amont de la programmation de MOE

Qui ?

Ce travail doit être réalisé par un BET spécialisé en thermique du bâtiment

Combien ?

Le coût de ce type d'étude varie de 3.000 à 10.000 € selon le nombre de logements

Durée ?

La campagne de mesure dure à minima une semaine. Elle peut être prolongé pour avoir une plus grande variabilité de conditions météorologiques permettant de mieux comprendre le comportement thermique du bâtiment

Impact sur les usagers ?

Des capteurs sont placés à l'intérieur du logement tout au long de la campagne de mesure, ce qui nécessite un accord des usagers.

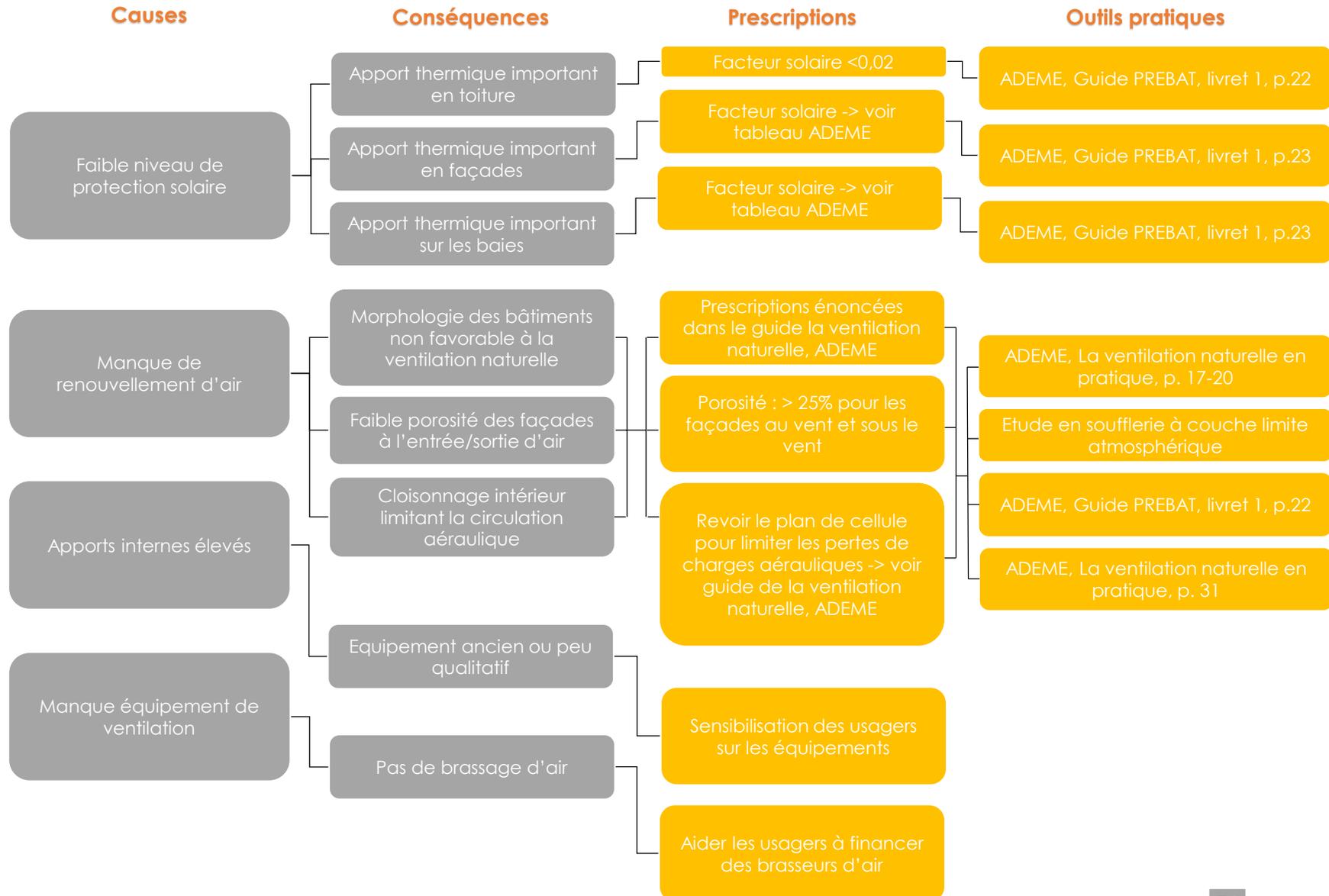
La finalité ?

Le rapport de diagnostic permettra d'identifier les sources de l'inconfort et proposera des orientations sur la conception future des bâtiments. Exemple : ajouter des protections solaires sur les baies en façade Ouest, changement les menuiseries coulissantes par des jalousies, etc.



Capteur enregistreur de température et d'humidité, Testo

L'étude thermique



L'optimisation aéraulique

L'optimisation aéraulique d'un plan masse et de cellule de logements

Les mécanismes aérodynamiques et aérauliques fondamentaux de la ventilation naturelle d'un espace d'activité ne sont qu'une conséquence finale d'un certain nombre d'évènements turbulents, tridimensionnels, interactifs et instationnaires, et vouloir les représenter et leurs associer un modèle de prévision avec une vision " figée et continue" (laminair notamment) ne peut être par "fondement physique" qu'une approche profondément irréaliste, et ne peut conduire qu'à des résultats erronés.

Pour ces raisons on ne peut que conseiller d'avoir recours à une approche significative et scientifique, par une modélisation physique (contrôlée) des phénomènes, avec des mesures directes de grandeurs expérimentales (pressions, vitesses, débits, etc.). Ainsi l'approche la plus réaliste, la plus "manœuvrante", la plus interactive et la plus pédagogique, et qui en outre a été largement validée, reste celle réalisée en soufflerie à couche limite turbulente sur maquette d'étude qui intègre l'environnement immédiat.

Note : N'oublions pas qu'actuellement c'est la seule approche utilisée, reconnue et fiable pour le dimensionnement sécuritaire des constructions et grands ouvrages (actions locales et actions d'ensemble, et comportement dynamique des structures avec maquettes aéroélastiques) qui ne "rentrent" pas dans les standards architecturaux et structurels des Codes de la construction (l'Eurocode par exemple).

Quand ?

Ces études doivent être initiés au démarrage de la phase APS d'un projet. Ceci permettra aux concepteurs d'optimiser leur architecture durant cette phase d'étude.

Qui ?

Une laboratoire possédant une soufflerie à couche limite turbulente.

Combien ?

15 000 à 30 000 € selon la taille et la complexité du projet

Durée ?

La durée d'une étude en soufflerie est l'ordre d'un mois.

Impact sur les usagers ?

Aucun impact

La finalité ?

Cette étude permettra l'optimisation du plan masse bâti et des cellules de logements.

La qualité sanitaire de l'air intérieur QAI

Le diagnostic QAI

La diagnostic QAI a pour but d'évaluer et de quantifier la qualité de l'air à l'intérieur des locaux. Pour cela, plusieurs paramètres peuvent être mesurés : concentration en CO₂, concentration en COV légers et/ou totaux (Composés Organiques Volatils), les particules fines, etc. Ainsi, il pourra être évalué s'il y a un problème sur :

- La qualité des matériaux : relargage de polluants ?
- Le comportement des usagers : non ouverture des fenêtres, produits ménagers, fumée de cigarette ?
- Mauvaise qualité de certains équipements : mauvaise combustion et positionnement des équipements de cuisine ?

A l'issue de ce diagnostic, le BET en charge proposera au maître d'ouvrage des solutions afin d'optimiser la qualité sanitaire de l'air intérieur.

Quand ?

Le diagnostic QAI est réalisé en amont de la programmation de MOE

Qui ?

Le travail d'analyse des données doit être réalisé par un BET spécialisé.

Combien ?

Le coût de ce type d'étude varie de 5.000 à 10.000 € selon le nombre de logements

Durée ?

La campagne de mesure dure à minima une semaine. Elle peut être prolongée pour avoir une plus grande variabilité de conditions météorologiques permettant de mieux comprendre le comportement des usagers et les éventuelles sources de pollution

Impact sur les usagers ?

Des capteurs sont placés à l'intérieur du logement tout au long de la campagne de mesure, ce qui nécessite un accord des usagers.

La finalité ?

Le rapport de diagnostic permettra d'identifier les sources potentielles de pollution de l'air. Des propositions d'améliorations seront énoncées par le BET spécialisé en QAI.

