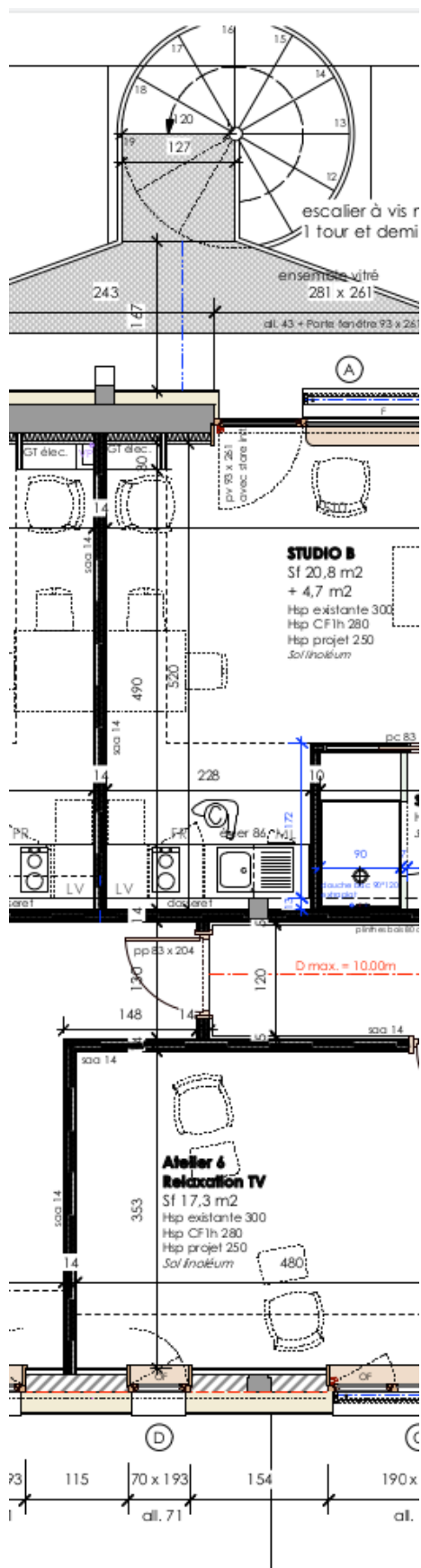


PROJET Bâtiments C1 et C2 Réhabilitation



GÉNÉRALITÉS ET HYPOTHÈSES PRINCIPALES

Programme et caractéristiques

Le propos de cette présente fiche est de présenter une synthèse, non exhaustive, des études menées en décrivant les phénomènes les plus caractéristiques des projets. Nous commençons ici par une mise en contexte et une énumération des hypothèses principales.

La philosophie de la réhabilitation reste identique à celle du bâtiment C3 et du pavillon soins. Il s'agit d'abord d'une amélioration drastique de la qualité de l'enveloppe avec des épaisseurs de laine de bois de 140 à 180 mm, voire 240 mm par endroit, rapportées sur les façades existantes (Isolation Thermique par l'Extérieur) ainsi que des murs à ossature bois (145 + 60 mm d'isolants). Par endroit, une Isolation Thermique Intérieure (ITI) remplace ou complète cette isolation de façon à supprimer tout pont thermique. Les balcons sont également maintenus pour préserver le style architectural poteaux-poutres ; des précautions particulières ont été prises pour éviter toute condensation superficielle. Les menuiseries extérieures sont composées avec des doubles vitrages performants ($U_g = 1,0 \text{ W/m}^2/\text{K}$) sur des cadres bois ($U_f = 1,4 \text{ W/m}^2/\text{K}$). Sauf cas particulier, les vitrages sont clairs ($S_g = 51\%$) de façon à profiter des apports solaires. Elles sont équipées de protections solaires extérieures ou intérieures pour se protéger du soleil d'été.

L'objectif ambitieux d'étanchéité à l'air $Q_{4Pa\text{-surf}} < 1,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ est repris également tout en visant une meilleure performance. Rappelons qu'en cours de chantier, un score de $0,28 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ a été obtenu dans l'ancienne infirmerie (soit $n_{50} = 0,66 \text{ h}^{-1}$, compatible rénovation Passivhaus EnerPHit).

Des centrales doubles-flux de très haut rendement (label Passivhaus) assurent le renouvellement de l'air. Couplées aux fortes étanchéités des enveloppes, elles permettent de limiter très fortement les déperditions aérauliques.

Des générateurs thermodynamiques (géothermie en option) assurent la production de chauffage ainsi que l'Eau Chaude Sanitaire (ECS). Les radiateurs de chauffage sont alimentés en basse température. Les consignes de chauffage prises en compte sont issues de la réglementation thermique RT2012 (scénarios Th-BCE). La température de confort est de 19 °C la nuit pour les chambres et en période d'occupation pour les ateliers. Les taux d'occupation sont également issus des règles Th-BCE. Cependant, seuls 2 ateliers ont été supposés occupés (13 occ. max./atelier) pour rester au plus proche de l'usage envisagé.

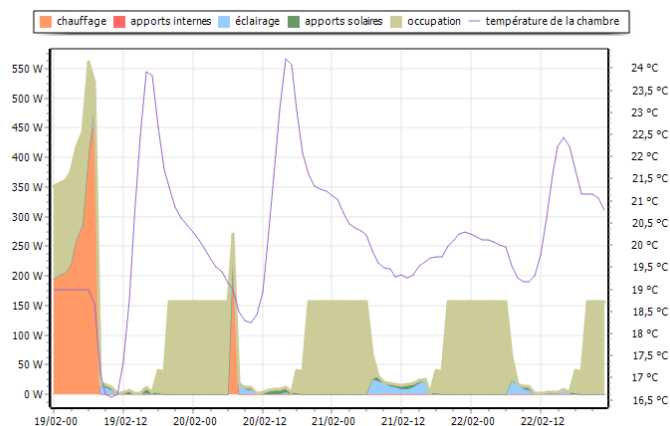
Plus de données ici 



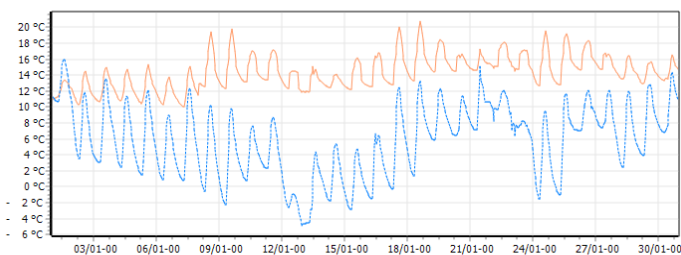
BESOINS DE CHALEUR

Faibles besoins, faibles consommations

Fortement isolés et bien orientés (sud-sud-ouest), les bâtiments C1 et C2 ont de faibles besoins de chauffage (15 à 25 kWh/m²/an) et ne sollicitent que peu les systèmes. Dans les ateliers sud du C1, le chauffage est assuré plus de 80 % du temps par les apports gratuits (occupants, éclairage et apports solaires). Dans les chambres de même orientation du C2, les taux sont identiques, au risque de dépasser les 23 °C en journée lorsque la température extérieure dépasse 12 °C, même par ciel couvert. Ce phénomène sera, cependant, diminué par la *récupération de fraîcheur* éventuelle des centrales d'air (non modélisable actuellement). ▼

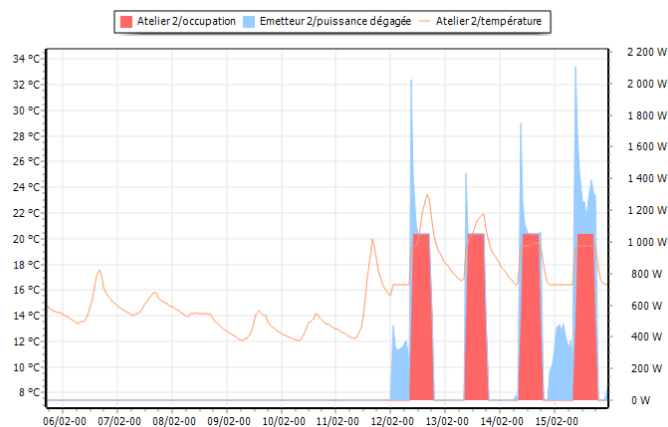


La récupération de chaleur est pour beaucoup dans ce maintien du confort en période froide, on constate par exemple que l'air soufflé n'est jamais à une température inférieure à 10 °C quand bien même il fait moins de 0 °C à l'extérieur. ▼

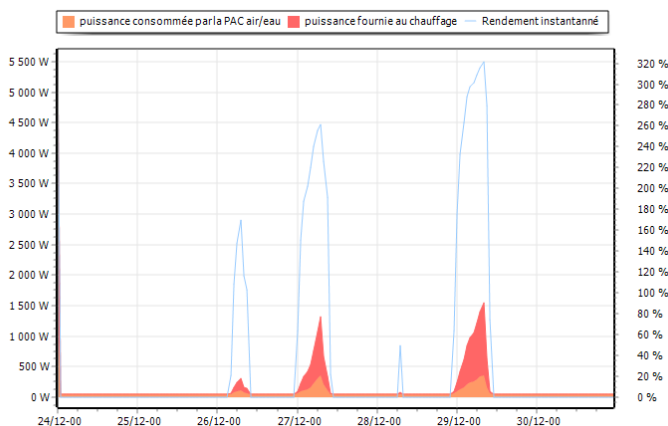


On compte moins de 3 200 h cumulées (soit 132 jours équiv.) de fonctionnement de la pompe à chaleur dans le bâtiment C1 (contre plus de 5 300 h actuellement). À

l'image de ce qu'il se passe dans l'atelier 2, les émetteurs ne chauffent quasiment jamais en journée. ▼

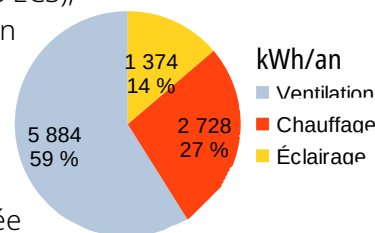


Ces faibles besoins entraînent de faibles consommations, d'autant plus limités que les générateurs choisis, thermodynamiques, sont capables de coefficients de performance élevés. Ils peuvent, en effet, dépasser 3 en hiver et même 5 en intersaison (pompe à chaleur air/eau). ▼



Il en résulte que le poste chauffage ne représente plus la première consommation mais seulement la deuxième dans le bâtiment C1 (hors ECS), loin derrière la ventilation et tout près de l'éclairage artificiel. ▶

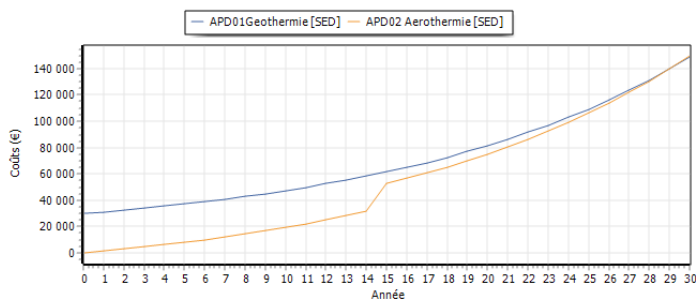
Notons, tout de même, que la consommation de la ventilation est estimée pour un débit de ventilation minimum, en inoccupation, de 1 400 m³/h. Si le maître d'ouvrage décidait de couper la ventilation durant les périodes d'inoccupation, les



PROJET Bâtiments C1 et C2 Réhabilitation

consommations seraient à revoir nettement à la baisse (divisées par 2 min.).

L'option géothermique sur la production de chauffage couplée à une régime de distribution d'eau très basse température (35/30°C) permettrait une réduction de la consommation associée importante. Sur le bâtiment C1, elle est évaluée à environ 40 % du fait d'un rendement meilleur et plus stable sur l'année (et, conséquemment, d'un temps de fonctionnement 10 % inférieur). Cette valeur relative est importante mais en valeur absolue, cela représente moins de 1 200 kWh/an, soit seulement un peu plus de 100 €/an compte tenu des tarifs actuels de l'électricité réseau. Le surinvestissement nécessaire (environ 30 k€) pour adopter cette solution est tel qu'il n'est pas possible d'envisager de rentabilité économique en moins de 30 ans sauf à supposer une durée de vie deux fois moindres pour la PAC air/eau et une inflation énergétique de plus de 7 %/an. ▼



Si ce scénario n'est pas totalement improbable, cette analyse démontre surtout que le critère économique n'est pas décisif ni même pertinent. La rentabilité économique ne peut être, nulle part, le seul critère de décision. Rappelons d'ailleurs que les niveaux d'isolation proposés ici ne sont pas des optimums économiques. Quand l'énergie n'est pas chère, isoler n'est pas rentable. En revanche, le philosophie de rénovation adoptée limite très fortement les dimensions comme le recours aux systèmes (cf. plus haut). L'objectif est la résilience et non l'opportunité économique, ce devrait être un truisme du fait du dérèglement climatique en cours.

Comme pour le bâtiment C3, l'Eau Chaude Sanitaire sera assurée par le système thermodynamique qui assure déjà le chauffage. Notons que dans le cas d'une pompe à chaleur géothermique, il est préférable qu'il y ait une

période assez longue de vacance pour permettre au sol de régénérer sa capacité calorifique. De la même façon, le rafraîchissement passif (*geocooling*) permettrait de réstocker des calories dans le sol en période chaude.

D'un point de vue énergie primaire (Th-CE Existant), la réduction des consommations est colossale. Elle est évaluée par Th-CE existant à près plus de 90 % pour le bâtiment C1. C'est évidemment dû à l'amélioration drastique de l'enveloppe, au choix des équipements les plus performants à ce jour, à l'usage de l'électricité plutôt qu'à des énergies fossiles mais également à la nouvelle vocation du bâtiment (enseignement) dont l'occupation, diurne, est plus favorable à de moindres consommations. Remarquons que les simulations, plus proches de l'occupation attendue annoncent des consommations 150 % plus élevées pour le projet rénové (43 kWhEP/m²/an au lieu de 28).

Ces résultats permettent de faire passer le bâtiment d'une classe énergétique D à la classe A (28 kWhEP/m²/an), et de la classe gaz à effet de serre E également à la classe A (moins d'1 kg équiv. CO₂/m²/an)*. Cela représente 250 kg équiv. CO₂/an, soit ce qui est émis par un véhicule hybride (type Toyota Prius) au bout de seulement 2 700 km (contre 405 200 avant rénovation). Ou 1 800 km avec un véhicule diesel de moins de 10 ans. À ce niveau de performance, il apparaît clairement que le bilan carbone du site devient très nettement dépendant des déplacements de ses usagers et non de l'exploitation des bâtiments rénovés.

* Performance obtenues pour des consommations d'ECS nulles.

BESOINS DE RAFRAÎCHISSEMENT

Préparer la résilience

S'agissant de parler de besoins de rafraîchissement, une mise en contexte s'impose. L'été 2018 a eu le grand avantage de nous donner un avant-goût des températures estivales que nous serons amenés à supporter d'ici la deuxième moitié du siècle voire beaucoup plus tôt. D'après un rapport publié le 6 août 2018 dans la revue *Proceedings of the national academy of sciences*, une légère augmentation de deux degrés sur les prochaines décennies pourrait, en effet, avoir des conséquences dramatiques transformant notre planète en étuve invivable, du fait d'un franchissement d'un *point de non-retour*. Rappelons que sur les dernières années, les anomalies moyennes mesurées frôlent déjà le degré et que l'on constate un accroissement du phénomène.

Année	2016	2015	2017	2014	2010	2013	2005	2009	1998	2012
Anomalie de Température en °C	0,95	0,91	0,85	0,74	0,70	0,67	0,66	0,63	0,63	0,62

Les 10 années les plus chaudes depuis 1880 par rapport à la normale 1901-2000

Source : NCDC: Global Surface Temperature Anomalies

Même en stoppant net aujourd'hui nos émissions, nous ne pourrions pas empêcher le réchauffement en cours du fait d'une très forte inertie de cette dynamique. Le dérèglement est dû aux gaz à effet de serre déjà présents dans l'atmosphère et faire descendre les niveaux de CO₂ dans l'air est hors de portée.

En 2018, 293 villes du monde ont enregistré des records de température. Des records absolus dépassant les 45°C ont été atteints en Algérie (51,3 °C à Ouargla), en Inde (48,6 °C à Khajurâho), aux États-unis (47,8 °C à San Bernardino) ou encore au Portugal (46,8 °C à Alvega). Lille a connu un maximum historique de 37,6 °C.

"Aujourd'hui, on se retrouve avec des étés étouffants. Mais avec l'augmentation actuelle des émissions de CO₂, il faudra s'y habituer car les épisodes caniculaires deviendront la norme."

— Robert Vautard
à franceinfo

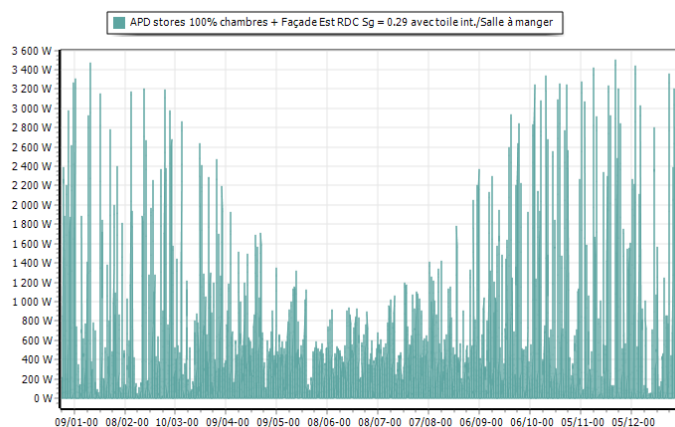


Consciente de cette situation, notre équipe de maîtrise d'œuvre s'évertue à mettre en place des solutions de résilience dans tous nos projets. Nous privilégions toujours les solutions passives, c'est-à-dire celle qui ne nécessitent pas ou très peu d'énergie de façon à ne pas nourrir indirectement le réchauffement climatique. La climatisation est, en effet, responsable d'une hausse de 3 à 4% des émissions par °C supplémentaire par rapport aux normales saisonnières !

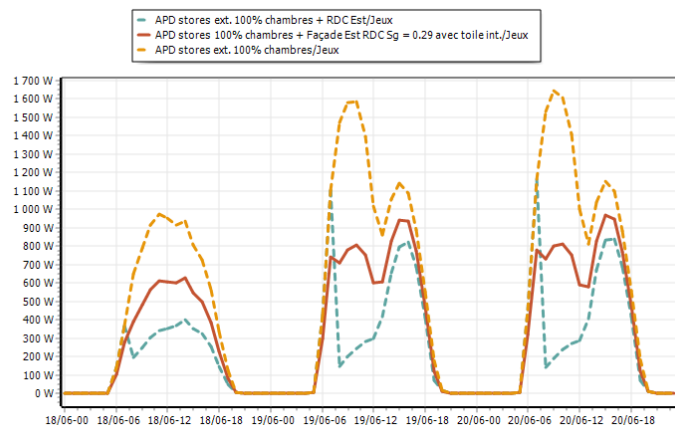
Comme la climatologue Martine Rebetez, nous plaillons pour une adaptation de l'architecture, et ce, dès aujourd'hui : «L'isolation et le choix des matériaux utilisés, mais aussi la possibilité de protéger les fenêtres contre le rayonnement solaire avec des volets ou un avant-toit, sont autant de solutions permettant de réduire fortement les besoins en climatisation». C'est très loin d'être une utopie puisque dans nos précédentes réalisations isolées en paille, les températures mesurées ne dépassent jamais les 27 °C à 28 °C sans climatisation et sans activation du *freecooling* (sur-ventilation nocturne) !

Sur cette opération, aucune botte de paille ne sera mise en place mais, pour autant, nous avons privilégié des isolants lourds, à forte masse thermique (déphasage de près de 7 h contre à peine 1 h pour 140 mm d'ITE en laine de bois plutôt que PolyStyrène Expandé graphité). Si leur impact est mineur à l'échelle du bâtiment, c'est un choix vertueux pour apporter une certaine protection au gros œuvre. En effet, pour une variation de température de 20 °C sur la surface extérieure, la surface intérieure de l'isolant, en contact avec la brique) ne voit varier sa température que de 7 °C (contre 19,3 °C avec du PSE graphité). Une telle stabilité des températures, avec un écart thermique très mesuré par rapport à l'intérieur, est gage de pérennité.

Du fait du seul maintien du balcon sud et des persiennes fixes, les pièces du RDC, à l'exemple de la salle à manger ci-dessous, bénéficient d'apports solaires, gratuits, plus importants en hiver qu'en été. ▼



Mais nous avons également mené un important travail de choix des protections solaires. Partout où c'est possible et pertinent, des protections solaires extérieures (stores à lamelles métalliques) sont prévues. Ailleurs, nous avons opté pour des vitrages à contrôle solaire (facteur solaire réduit de 43 %) et/ou des toiles intérieures réfléchissantes garantissant la meilleure protection possible. Quoique la protection offerte soient bien moindre, les propriétés annoncées par les fabricants laissent entrevoir une forte réduction du rayonnement solaire transmis (le facteur solaire de la menuiserie passe de 45 % à environ 10 % avec une toile réfléchissante devant un vitrage à contrôle solaire).



▲ Les protections intérieures restent toujours un pis-aller, leur efficacité ne peut se comparer à celles de protections extérieures comme on le voit ci-dessus. À 9h du matin, le rayonnement solaire transmis à la salle de Jeux à travers les menuiseries protégées par les stores est jusqu'à 4 fois inférieur à celui transmis avec une protection intérieure devant un vitrage à contrôle

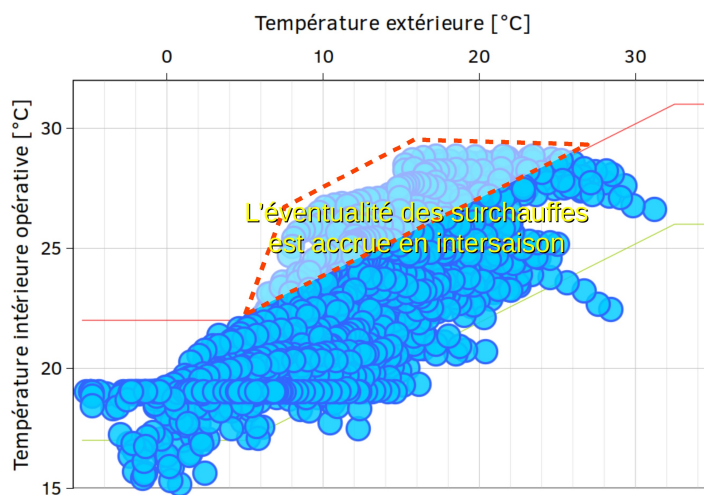
solaire. Cette dernière valeur étant, elle-même, déjà 2 fois moindre que celle sans protection.

“La persistance de températures élevées la nuit pose un gros problème de santé car on sait que pendant les périodes de forte chaleur, le corps a besoin de se reposer la nuit.”

— Robert Vautard, climatologue à franceinfo



Les solutions mises en place ne peuvent prétendre être aussi efficaces qu'une climatisation énergivore. Cependant, on constate que le confort obtenu reste particulièrement honorable en s'appuyant uniquement sur les protections solaires et l'ouverture des fenêtres en début de soirée. Durant 80 à 90 % du temps d'occupation, principalement nocturne, des chambres et studios, les températures restent dans la zone de confort — dit adaptatif — du diagramme de Brager ci-dessous (ici la chambre 4 du bâtiment C2). ▼



En réalité, dans les chambres, l'essentiel de l'inconfort relevé se situe dans la période intermédiaire, en intersaison. Cela se produit, par exemple, en fin de journée au mois d'avril ou d'octobre, quand personne n'a l'idée ou la possibilité d'abaisser les stores ou d'ouvrir la fenêtre. Si l'on ne considère pas ces moments alors l'inconfort représente moins de 3 % du temps dans la chambre 4 du bâtiment C2, par exemple.

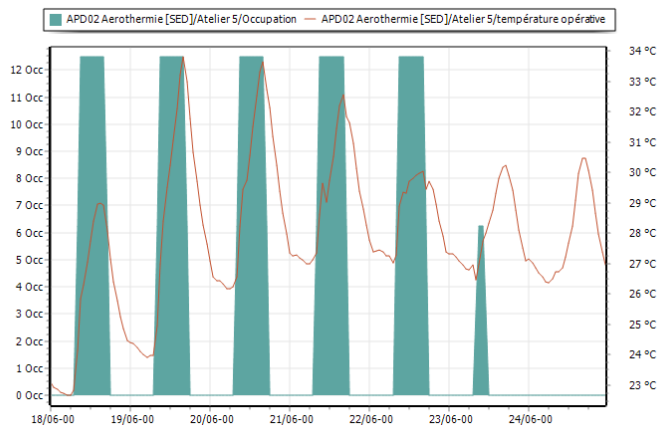
PROJET Bâtiments C1 et C2 Réhabilitation

En période chaude, quand il fait plus de 26°C à l'extérieur, on constate que les températures restent très modérées*, du fait de l'usage actif des protections solaires (fermées à 100 % en journée) et de l'ouverture nocturne éventuelle des fenêtres. Les persiennes fixes positionnées devant des ouvrants vitrés ont été conçues pour cet usage en permettant de ventiler sans risques d'intrusion même en inoccupation.

Mais si on fait l'impasse sur les stores, on s'expose à une forte montée en température, avec, par exemple, jusqu'à 33°C dans le studio B, début septembre (volets demi-clos).

Dans les ateliers, la problématique est assez différente. Il y a, en effet, un lien très clair entre densité d'occupation et montée de la température intérieure. Les protections solaires permettent simplement, ici, de ne pas empirer les situations.

sol en période chaude, garantissant un meilleur rendement du chauffage en hiver.



Dans ce cas, seule un rafraîchissement actif pourra permettre de limiter les surchauffes. Les besoins sont faibles, 3 à 4 kWh/m²/an (consigne de 27 °C). Nous ne proposons donc pas de solution de climatisation sauf à choisir l'option géothermique. Dans ce cas, il y a effectivement la possibilité de faire du *geocooling*, c'est-à-dire un rafraîchissement quasi-passif, par simple activation des circulateurs sans démarrage des compresseurs de la pompe à chaleur. Ce fonctionnement a l'avantage de recharger en calories le

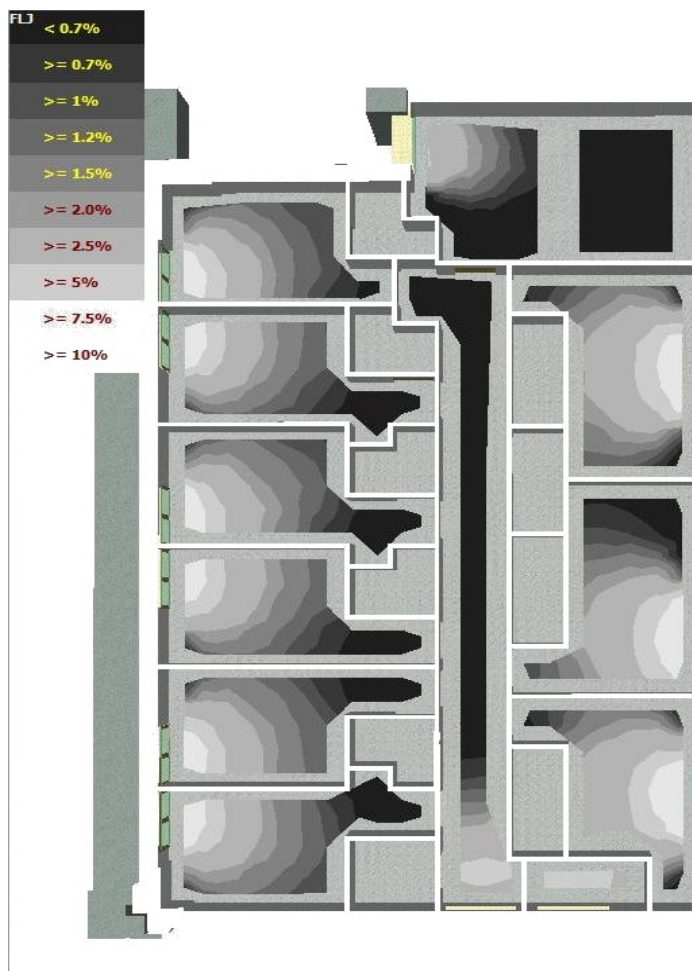
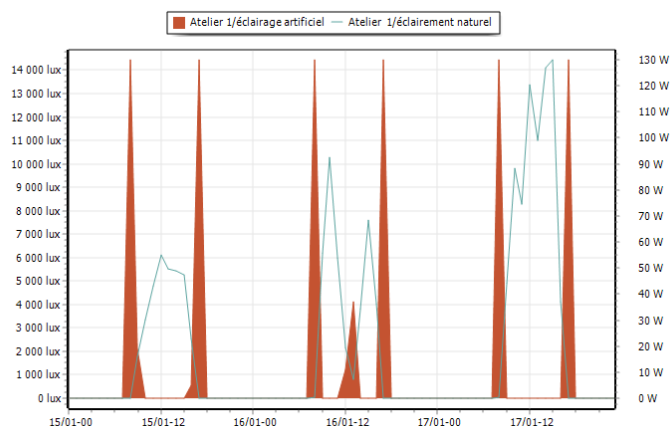
* On relève entre 28,0 et 28,8 °C max. dans la chambre 4, par exemple, durant 65 h cumulées, principalement repérées par séquences longues fin juin. À cette époque, les températures extérieures faibles (< 22 °C) la nuit n'invitent pas, en effet, les usagers à ouvrir les fenêtres.

ÉCLAIREMENT NATUREL

Une enveloppe isolante mais ouverte sur l'extérieur

Les bâtiments réhabilités conservent un accès privilégié à la lumière naturelle. Les 8 chambres du bâtiment C2 affichent toutes un Facteur Lumière du Jour moyen supérieur à 2,5 voire 3 pour les moins profondes. C'est très largement supérieur aux exigences HQE de la région Rhône-Alpes pour les chambres d'internat ($FL_{\text{moyen}} > 1,0$).

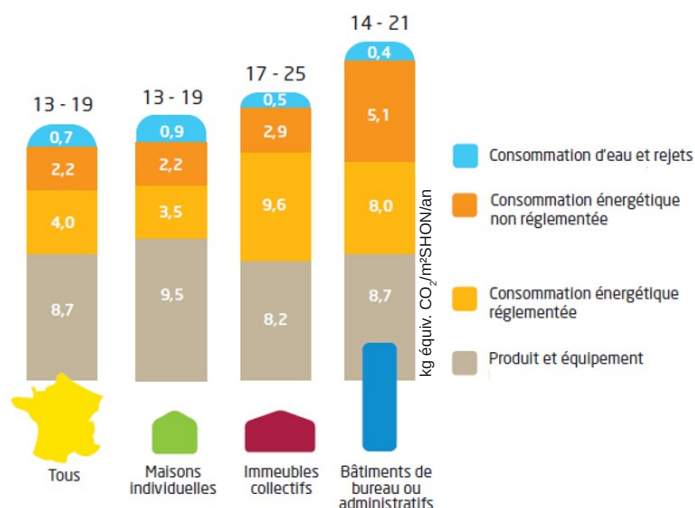
Dans les ateliers les mieux exposés, on constate que l'allumage de l'éclairage artificiel se borne à quelques heures en début et fin de journée (consigne de 300 lux). Cela représente à peine 200 h pour le mois de janvier et moins de 3 500 h sur une année. ▼



PROJET Bâtiments C1 et C2 Réhabilitation

EMPREINTE CARBONE

Ne pas reporter les émissions sur les matériaux et produits



▲ À l'exemple des résultats présentés ci-dessus (Association HQE et CSTB, 2010-2012), les études de cycles de vie démontrent un renversement de la source des émissions de gaz à effet de serre dans pratiquement toutes les typologies de bâtiments neufs. Les bâtiments génèrent plus de gaz à effet de serre du fait de leur construction (et démantèlement futur) que du fait de leurs consommations énergétiques « réglementaires » (RT). On constate également que les consommations énergétiques non prises en compte par les réglementations thermiques représentent une part non négligeable dans les émissions.

Le choix de réhabiliter plutôt que de reconstruire est un premier pas pour limiter les émissions. En faisant le choix de conserver le gros œuvre, on évite de créer de nouveaux matériaux et on ralentit la production entropique, conséquence et marqueur de toutes les consommations et déchets.

« Prenons un œuf, s'il tombe du plan de travail de la cuisine, il se brise. Le "désordre" augmente, et bien sûr c'est irréversible : on n'observera jamais la transformation inverse (l'œuf remonter du sol, se reconstituer, et retrouver sa place innocente sur le plan de travail). L'exemple est un peu grossier, mais le second principe de la thermodynamique, la création d'entropie, c'est ça. »

— Magazine l'Internaute

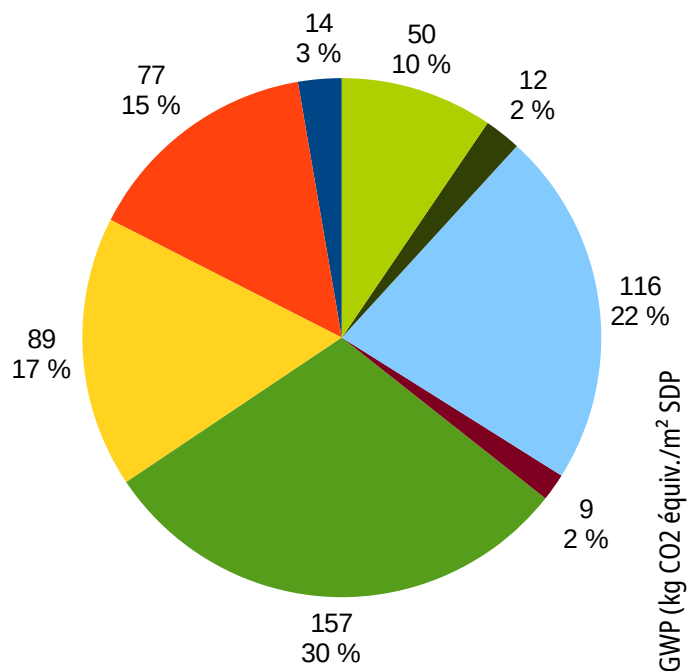
Selon la base INIES, 1 m² de brique de terre cuite représente 30 kg équiv. CO₂, c'est donc au moins 17 tonnes qui ont déjà été émises et ne sont pas renouvelés ici. Pour le béton, c'est encore pire, puisque chaque m³ est responsable de plus de 250 kg d'émissions équivalentes CO₂ soit 33 tonnes produites pour la primo-construction de seulement quelques dalles et quelques poteaux et poutres.

L'évaluation de la performance selon méthode PEBN définie pour le référentiel énergie-carbone E+C- classe le bâtiment directement au niveau *Carbone 2*, le plus élevé.

Plus que le score global, c'est la répartition des sources d'émissions de Gaz à Effet de Serre qui est intéressante.

Potentiel de réchauffement climatique produits de construction et équipements

- 3. Superstructure - Maçonnerie
- 5. Cloisonnement - Doublage - Plafonds suspendus - Menuiseries intérieures
- 6. Façades et menuiseries extérieures
- 8. CVC (Chauffage - Ventilation - Refroidissement - eau chaude sanitaire) FORFAITAIRE
- 9. Installations sanitaires FORFAITAIRE
- 10. Réseaux d'énergie (courant fort) FORFAITAIRE
- 11. Réseaux de communication (courant faible) FORFAITAIRE
- 14. Fluides frigorigènes



* Ce référentiel devrait constituer la future réglementation « thermique » pour les bâtiments neufs dès 2020.

PROJET Bâtiments C1 et C2 Réhabilitation

▲ L'écrasante majorité est à rechercher dans les produits et équipements. La stratégie bas carbone sur les consommations rend, en effet, ces dernières sources mineures en GES. Parmi les matériaux et équipements, ce sont les lots 8. CVC et 10. Réseaux d'énergie qui trustent les premières places (plus de la moitié des émissions à eux deux). Il s'agit de lots calculés forfaitairement mais c'est une approximation sans doute réaliste pour un bâtiment finalement pas moins équipé qu'un bâtiment neuf actuel.

Le traitement des façades constitue le poste suivant. À ce niveau, l'ITE en laine de bois contribue pour moitié aux émissions de GES. En réalité, il s'agit d'une donnée environnementale par défaut qui donne un potentiel de réchauffement climatique pour la laine de bois très supérieur à une laine minérale (quand la base de données autrichienne *Baubook* considère la laine de bois comme un puits de carbone!). Il n'y a donc pas d'alternative bas carbone selon la base INIES (si ce n'est la paille), sauf à attendre un produit garanti à faible potentiel de réchauffement climatique par un industriel.

Le lot 5. Cloisonnement, Doublage, etc. est le 4^{ème} poste d'émissions de GES (présenté plus haut avec pour isolant une laine minérale). La ouate qui a finalement été préférée présente un potentiel de réchauffement climatique 3 fois moindre.

Comme nous l'avions précédemment indiqué dans le compte rendu des bâtiments C3 et infirmerie, ces bilans

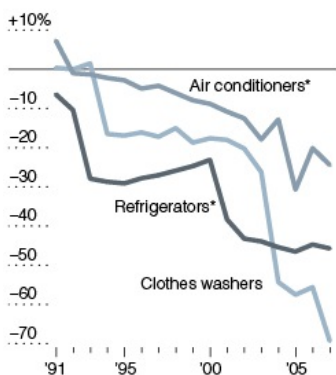
carbone mettent en avant que, quels que soient les matériaux utilisés, la super isolation de l'enveloppe a un impact faible par rapport aux équipements installés. Autant ne pas s'en priver ! Bien sûr, on peut se montrer critique quand à l'évaluation des potentiels des matériaux mais, quoiqu'il en soit, les équipements maintiendront leur place de premier contributeur.

Quoiqu'on en pense, la sobriété est donc le passage nécessaire et obligé pour diminuer notre empreinte carbone. Sur ce projet et encore plus sur les prochains, la maîtrise d'œuvre garde en tête que :

- le besoin et son fondement sont à considérer en priorité, bien avant toute idée d'équipements pour y répondre,
- les innovations et l'efficacité d'un équipement ne sont pas motif suffisant à l'adopter,
- l'innovation, même efficace, peut générer une croissance, fortement impactante, de nouveaux besoins de confort immotivés (à la manière des vols *low-cost* subventionnés dont l'impact sur le réchauffement climatique est patent),
- toutes les technologies nécessaires pour répondre à nos besoins existent déjà. Si des améliorations à la marge ne cessent de se mettre en place, il n'y a pas d'innovation *disruptive* à attendre.
- l'efficacité d'un projet ne repose pas sur un agglomérat d'équipements performants mais dans une conception globale intelligente.

Many appliances are more energy efficient ...

CHANGE IN ENERGY CONSUMPTION SINCE 1990

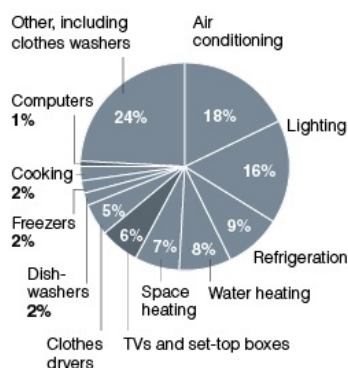


*1998 data unavailable

Sources: International Energy Agency (per capita consumption and energy use by appliance); Association of Home Appliance Manufacturers (decrease in consumption for some appliances); Ecos (TV power usage)

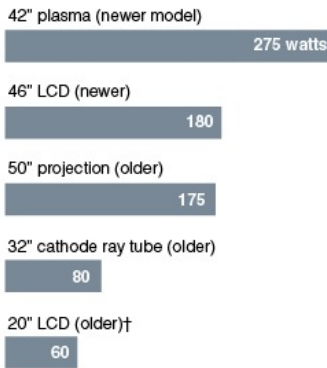
... but homes have more gadgets than before ...

AVG. U.S. RESIDENTIAL CONSUMPTION, 2005



... and new TVs are bigger energy users ...

EST. AVG. POWER USAGE FOR TV MODELS



†The technology is popular, but people usually buy bigger models now.

... which is causing consumption to rise.

U.S. PER CAPITA ELECTRICITY CONSUMPTION

