

Le bâtiment frugal

les guides iceb
lanceurs d'avenir

Sommaire

Contexte	4
1 Le bâtiment frugal	6
Du passif au frugal.....	7
Le standard PASSIV'HAUS.....	9
Quelques définitions.....	10
2 Une méthodologie de conception : la signature bioclimatique.....	16
Retour sur la signature énergétique.....	17
Extension à la conception bioclimatique du confort thermique.....	17
3 Travailler sur le confort et l'usage.....	22
Elargir la zone de confort.....	23
Réinterroger les standards de confort d'hiver.....	23
Réinterroger les standards de confort d'été.....	24
Définition de la température de non chauffage et de la température de non rafraîchissement.....	25
Première approche stratégique : le choix de l'isolation.....	25
Deuxième question stratégique : double flux et /ou ventilation naturelle.....	28
Prise en compte du confort d'été.....	30
4 La signature bioclimatique appliquée à l'éclairage et à la ventilation naturels	32
La signature bioclimatique en éclairage naturel.....	33
La signature bioclimatique en ventilation naturelle.....	34
5 Prise en compte de l'environnement du bâtiment.....	36
Concevoir avec le végétal, la parcelle et le territoire.....	37
Concevoir avec le vent.....	38
6 Quelques questions sur le bâtiment frugal.....	42
Le bâtiment frugal est-il forcément très vitré ?.....	43
Le bâtiment frugal est-il forcément équipé d'une ventilation mécanique double flux ?.....	45
Le bâtiment frugal est-il forcément inconfortable en été ?.....	46
Le bâtiment frugal est-il forcément compact ?.....	48
Le bâtiment frugal a-t-il forcément recours aux énergies renouvelables ?.....	48
Comment limiter les consommations d'ECS ?.....	50
7 Vivre dans un bâtiment frugal	52
Usage et gestion.....	53
Un bâtiment frugal est-il sensible à l'usage ?.....	53
Peut-on se passer de chauffage dans un bâtiment frugal ?.....	54
Un bâtiment frugal est-il adapté à de longues périodes d'inoccupation ?.....	55
Est-il judicieux de mettre des réduits de température lors de l'inoccupation dans un bâtiment frugal ?.....	55
La surisolation augmente-t-elle le phénomène de surchauffe ?.....	56
Et l'énergie grise ?.....	56
8 Conclusion	60
Un bâtiment inscrit dans une vraie stratégie dans son territoire.....	61
Un bâtiment adopté au futur contexte.....	62
Un bâtiment performant et désirable.....	64
9 Exemples.....	66
Ecole maternelle et primaire de Monoblet dans le Gard : un bâtiment basse consommation construit avec des matériaux locaux et la participation de tous.....	67
Maison à Wervicq-Sud : le passif écoresponsable.....	72
Centre œnologique Viavino : low-tech en climat méditerranéen.....	78
43 logements collectifs à Lyon Confluence : confort et frugalité.....	82
Bureaux 2226 de l'agence Baumschlager & Eberle à Lustenau (Autriche) : aucun système énergivore (clim, chauffage, ventilation).....	84
Groupe scolaire « Résistance » à Montreuil (93).....	86
Concept TAKI : un concept modulaire en bois qui permet de construire des maisons, des extensions, des surélévations d'immeubles.....	92

Cet ouvrage est le fruit des réflexions d'un groupe de travail de l'ICEB, animé par Sophie BRINDEL BETH et Alain BORNAREL

et auquel ont participé

Antoine BOULLA
Pierre BOURRELLIS
Frédéric BOURY
Hugues DELCOURT
Denis FREHEL
Vanessa GROB
Christine LECERF
Emmanuelle PATTE
Bernard SESOLIS

Ils soutiennent activement cette démarche

Sonia CORTESE | ADSC
Francis GALLOIS MONTBRUN | ATELIER GALLOIS MONTBRUN
Dominique INGOLD et Denise PRADEL | CP&O - les m² heureux
L'équipe de | GESTION CONSEIL BÂTIMENT
Christine LECERF | AILTER
Nicolas LUTTON | EODD
Nicolas MOLLE | ÉTAMINE
Emmanuelle PATTE | MÉANDRE ETC

Contexte

Nous sommes tous préoccupés par l'avenir de notre planète et de nos enfants.

Dans ce contexte, nous avons formé un groupe de travail, au sein de l'ICEB, dans le but de trouver des réponses quant à la conception de bâtiments adaptés.



L'impasse

L'impasse dans laquelle nous nous trouvons est décrite dans de nombreux écrits. En voici trois.

Une civilisation se termine et nous devons en bâtir une nouvelle ²

« Nous sommes pris au piège de la dynamique perverse d'une civilisation qui ne fonctionne pas si elle ne croît pas et qui, avec sa croissance, détruit les ressources naturelles qui la rendent possible. Notre culture, qui idolâtre la technologie et le marché, oublie que nous sommes, fondamentalement, dépendants des écosystèmes, et inter-dépendants.

La planète ne peut pas soutenir la société productiviste et consumériste¹. Nous avons besoin de bâtir une nouvelle civilisation capable d'assurer une vie dans la dignité pour une énorme population humaine (aujourd'hui, plus de 7,2 milliards de personnes), en constante croissance, qui habite un monde dont les ressources sont en déclin. Ce but ne peut être atteint que si nous changeons radicalement de mode de vie, de formes de production, de conception des villes et d'aménagement du territoire.

Et, plus que tout, il ne peut être atteint qu'au moyen de changements radicaux dans les valeurs qui orientent ces notions. Nous avons besoin d'une société axée sur la récupération de l'équilibre avec la biosphère et pour qui la recherche, la technologie, la culture, l'économie et la politique sont des moyens pour avancer vers cet objectif. Pour y arriver, toutefois, nous aurons besoin de toute l'imagination politique, de toute la générosité morale et de toute la créativité technique dont nous disposons.²»

Robert Kurz, à la fin de son Livre noir du capitalisme rappelle quelques évidences ainsi que les opportunités à saisir collectivement à l'occasion de ce bouleversement à venir :

« Les problèmes que nous devons résoudre sont d'une simplicité vraiment saisissante. Il s'agit, premièrement, d'employer les ressources existantes (et plus que suffisantes) en matériaux naturels, moyens de production et, avant tout, capacités humaines, de façon à garantir à tous les hommes une bonne et agréable vie libérée de la misère et de la faim. Il va sans dire que ce serait depuis longtemps réalisable sans difficulté si la forme d'organisation de la société ne faisait pas systématiquement obstacle à cette revendication élémentaire.

Deuxièmement, il convient de mettre un terme à la dissipation catastrophique des ressources, dans la mesure où celles-ci sont en règle générale mobilisées de manière capitaliste, à travers des projets pharaoniques insensés et des productions destructrices. Inutile de préciser que le responsable de cette "mauvaise affectation" aussi flagrante que dangereuse pour la collectivité n'est autre que l'ordre social dominant. Et troisièmement, enfin, il est a fortiori d'un intérêt primordial de convertir le temps social disponible – qui, étant donné les forces productives de la microélectronique, s'est aujourd'hui accumulé en quantités colossales – en un loisir de même durée pour tous, au lieu d'un "chômage de masse" pour les uns et d'une accélération des cadences pour les autres.

Enfin, Patrick Viveret situe autour du bien vivre les issues à cette fin de cycle

« ...une fin de cycle. Antonio Gramsci la définissait ainsi : « La crise se produit lorsque le nouveau monde tarde à naître. L'ancien monde tarde à disparaître, et dans ce clair-obscur des monstres peuvent apparaître. » Nous sommes à ce moment-là de l'histoire.

Évidemment, si nous sommes centrés sur l'ancien monde et sur les monstres qui sont apparus – sans parler des candidats monstres qui se présentent au portillon –, le sentiment de sidération, d'impuissance, de peur, va être maximal.

Si nous prenons l'exemple des fondamentalistes, il est essentiel de sortir du sentiment de sidération, faire agir notre discernement et comprendre les derniers événements comme la cristallisation violente d'une fin de cycle.

Si nous nous tournons du côté de la germination créative du nouveau monde qui est en train de naître, quand on regarde l'immense créativité dans le monde entier, et y compris dans notre pays, la France, on voit bien que le nouveau cycle est déjà apparu. Ce n'est pas simplement qu'un autre monde est possible, comme on le disait dans les forums sociaux mondiaux, c'est qu'un autre monde est déjà là.

[...]

Dans le monde entier, des initiatives créatives jaillissent qui sont en résistance contre ce système dominant, et de nouvelles formes d'organisation sont en expérimentation dans tous les domaines. Qu'il s'agisse de la finance solidaire, des circuits courts dans le domaine alimentaire, de l'habitat groupé, du rapport à la santé. Dans tous les domaines, la créativité apparaît.

Et puis il existe une vision différente, c'est pour ça qu'on parle de ce qu'on appelle le « trépied du RÈV » : le rapport entre le R de la résistance, le E de l'expérimentation, et le V de la vision transformatrice. Quand on est dans cette perspective-là, pour répondre une dernière fois à la question du « comment », il faut se libérer soi-même des effets de sidération de la novlangue en se donnant le droit de dire : Il est possible de créer de la valeur comme force de vie, de développer des activités bénéfiques, de penser que ce qui constitue la richesse c'est ce qui compte pour nous et pas ce que l'on compte.

Associons cela à des logiques de coopération, de résistance créative, d'expérimentation et de vision transformatrice... Là, on commence à avoir une idée de la façon d'aller vers cette métamorphose. Bien plus qu'une révolution, on vit une transformation profonde dans notre rapport au pouvoir, à la richesse, mais aussi dans nos propres postures de vie. Nous revenons à ce par quoi nous avons commencé, notre rapport aux quatre dimensions fondamentales : nature, autrui, nous-mêmes et rapport au temps. La différence essentielle est entre le bien vivre et le mal de vivre.⁴ »

1. En 2010, l'émission de CO² atteignait 4,4 tonnes par habitant pour l'ensemble de la planète, mais 17,3 tonnes par habitant pour les USA, 9,3 pour l'Allemagne, 7,0 pour les pays européens membres de l'OCDE, 5,4 pour la Chine, 1,4 pour l'Inde et 0,9 pour l'Afrique. Source : Agence internationale de l'énergie (<http://www.iea.org/>).

2. Extrait de l'article vu http://www.wedemain.fr/Une-civilisation-se-terme-et-nous-devons-en-batir-une-nouvelle_a602.html du 30 juillet 2014, traduction du « dernier appel » lancé en Espagne.

3. Extrait de « Au pied du mur. De l'origine commune aux crises écologique et économique », par Claus Peter Ortlieb (Exit !), publié par Palim Psao, 12 juin 2014. (<http://www.palim-psao.fr/article-droit-dans-le-mur-de-l-origine-commune-des-crisis-ecologique-et-economique-par-claus-peter-ortlieb-12388916.html>).

4. Extrait de **Le Bonheur en marche**, de Patrick Viveret, 2015.



Le bâtiment **frugal**

Le groupe de travail a d'abord cherché à définir ce qu'on appelle couramment « bâtiment passif ». Il vient tout de suite à l'esprit une définition à partir de ses faibles besoins en énergie. L'indicateur est alors le kWh/m² et porte le plus souvent sur les besoins de chauffage.

Il nous semble que cette définition est trop simpliste pour être fructueuse. En effet, elle laisse de côté les questions de confort, elle gomme les arbitrages entre hiver et été, éclairage et solarisation, ce qui sous-tend, bien sûr, la prise en compte du contexte climatique... Elle passe à la trappe une bonne partie des consommations, ECS, autres usages, process... Enfin, elle néglige ce qui se passe en amont du chantier ou pendant celui-ci (choix constructifs, choix des matériaux, choix du lieu et du mode de leur production, choix de leur mise en œuvre,...) et qui prend une place grandissante (énergie grise, économie de ressources...).

Dès lors, le concept de bâtiment passif devient insuffisant et prête à confusion. C'est pourquoi nous avons préféré introduire le concept de **bâtiment frugal**, celui qu'il faudra construire à l'avenir pour répondre vraiment aux évolutions du climat, à la diminution des ressources, à la préservation de l'environnement.

Le bâtiment frugal ne va pas régler tous les problèmes de notre temps à lui tout seul. Mais s'il veut être crédible et utile, il doit s'inscrire dans une logique qui permette un changement de civilisation :

- > être un élément de solution, non pas un problème ;
- > faire sa part de colibri, non pas prendre la part du lion.

Du passif au frugal

Pour remplir les fonctions pour lesquelles il a été conçu, un bâtiment a besoin d'énergie. Nous répartirons cette énergie en cinq familles.

Trois représentent des consommations :

■ l'énergie « grise », nécessaire pour extraire, transformer et transporter les matières permettant la construction, le renouvellement et les gros travaux. Mais aussi l'énergie consommée pour la déconstruction et le traitement des déchets qu'elle produit ;

■ l'énergie « verte », celle des énergies renouvelables assurant la couverture d'une partie des besoins reliquats ;

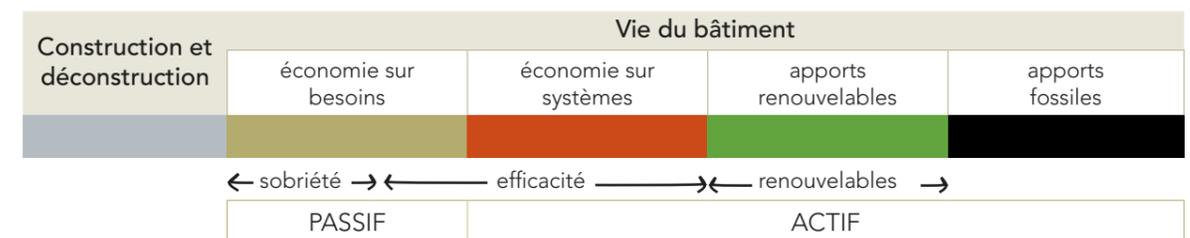
■ l'énergie « noire », énergies fossiles (charbon, gaz naturel, fiouls, nucléaire) assurant, si besoin, le complément de couverture.

Et deux des économies :

■ l'énergie « beige », économisée pour réduire les besoins du bâtiment au strict minimum incompressible. Pour ce faire, on peut agir sur la modification des pratiques, les comportements, les standards... C'est la sobriété énergétique.

On peut aussi agir sur une meilleure isolation, une conception bio-climatique, la récupération des pertes... C'est une partie de l'efficacité énergétique ;

■ l'énergie « rouge », économisée par une meilleure performance des équipements... C'est l'autre partie de l'efficacité énergétique.



Le passif est plutôt associé à la phase de vie du bâtiment, et même, de façon plus restrictive, la notion de passivité exclut l'impact des systèmes. En résumé, pris au sens strict, un bâtiment passif est un bâtiment qui n'a besoin, pour fonctionner, d'aucun système, ni d'aucun apport énergétique (appelé « apport actif »), ni fossile, ni même renouvelable. Cette définition demande, évidemment, quelques explications.

Tout d'abord, il faut bien constater que certaines fonctions ne peuvent absolument pas se passer ni de systèmes, ni d'apports énergétiques : la production d'ECS et tous les usages spécifiques de l'électricité (électro-ménager, bureautique, process...). D'autres, comme l'éclairage, peuvent bien être couverts par de la lumière naturelle en journée... difficilement en nuit ou dans les pièces aveugles.

Il reste, néanmoins, quelques fonctions, importantes, qui peuvent en grande partie se passer de ressources énergétiques extérieures. En grande partie seulement, mais pas en totalité. Même si on construit une maison fortement solarisée ou inerte, il existera sans doute quelques périodes, très froides, où la question du confort se posera. De même, un logement muni de protections solaires très efficaces et fortement ventilé peut connaître quelques périodes d'inconfort, en été. Un logement entièrement ventilé naturellement est toujours soumis à l'aléa des périodes sans vent, chaudes et ensoleillées, où il ne sera pas correctement ventilé. On comprend alors que la notion de passif soit étroitement liée aux standards de confort qui fixe cette limite au-delà de laquelle il y a inconfort sauf à recourir à des systèmes énergivores.

Et encore, même pour ces dernières fonctions, le recours à des systèmes énergivores est parfois nécessaire.

- > C'est le cas de la ventilation double flux avec récupération de chaleur qui permet de réduire fortement les besoins de chauffage et qui est prônée dans le standard Passivhaus.
- > C'est aussi le cas de la régulation (manuelle ou automatique) d'un système de ventilation naturelle par tirage thermique en hiver et du complément par ventilateur d'assistance en mi-saison.

Le passif ne serait-il donc qu'une utopie, théorique ? Faudrait-il inventer une catégorie de « bâtiments presque passifs », « nearly passive buildings » comme il existe des « nearly zero energy buildings » ?

Pour avancer sur cette interrogation, nous n'utiliserons plus, pour commencer, le terme « passif », qui est trop connoté par le standard Passivhaus des climats continentaux froids. Nous parlerons de **bâtiment frugal**.

Le bâtiment frugal pourrait donc se définir à deux niveaux, selon les fonctions du bâtiment concernées :

1 des fonctions pour lesquelles la stratégie de conception consistera à arbitrer entre confort et énergie en faisant en sorte de **pousser l'absence de système et d'apports énergétiques actifs le plus loin possible**¹ tout en assurant un confort acceptable en matière de :

- > confort hygrothermique d'hiver ;
- > confort hygrothermique d'été ;
- > ventilation et qualité de l'air ;
- > éclairage diurne.

2 des fonctions pour lesquelles la stratégie de conception consiste, souvent en arbitrage avec le confort, à **réduire les consommations énergétiques** et celles d'autres ressources non énergétiques par la sobriété (comportements) et l'efficacité des systèmes.

Cela concerne :

- > la production d'ECS et la consommation d'eau ;
- > l'éclairage nocturne et celui des pièces aveugles ;
- > les usages spécifiques de l'électricité (électro-ménager, bureautique, process...);
- > la construction et déconstruction du bâtiment (énergie grise, matières premières).

Pour mémoire, nous rappelons ce qu'est le standard Passivhaus.

Le standard Passiv'haus

Le Passivhaus se veut la référence en matière de bâtiment passif et propose un standard considéré comme applicable pour tous les pays européens, d'Europe centrale comme méditerranéens :

> **Chauffage** : les besoins annuels de chauffage ne doivent pas excéder 15 kWh/m² SRE. La SRE (surface de référence énergétique) est, la plupart du temps, égale à la surface habitable. Option alternative : puissance de chauffage ≤ 10 W/m².

> **Climatisation** : les besoins de climatisation sont compris dans les 15 kWh/m² ci-dessus, mais un dépassement est toléré pour la déshumidification et le consortium européen passive-on propose 15 kWh/m².an pour le chauffage et autant, en plus, pour la clim !

> **Énergie primaire tous usages** : la consommation ne doit pas excéder 120 kWh/m².an. Le calcul est effectué avec les coefficients d'équivalence en énergie primaire de la réglementation allemande :

- combustibles fossiles : 1,1
- bois : 0,2
- électricité : 2,7
- photovoltaïque : 0,7

> **Étanchéité à l'air** : 0,6 vol/h sous 50 Pa, ce qui correspond à peu près à un Q4 de 0,15 m³/h.m² en maison individuelle à 0,3 en collectif.

> **Confort thermique** : température résultante ≥ 20°C en hiver et ≤ 26°C dans les locaux climatisés. Dans les locaux non-climatisés, confort d'été conforme à la norme EN15251 (confort d'été autoadaptatif).

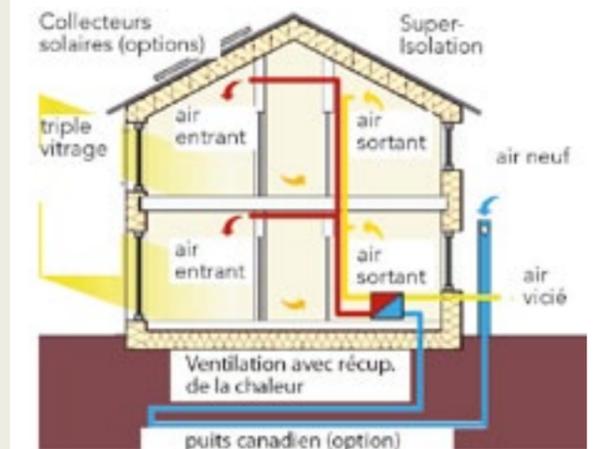
> **Outil de calcul** : PHPP.

> **Impact du standard** sur les préconisations :

> **Ventilation avec système de récupération de chaleur** hautement efficace (WRG ≥ 75%, d'après certification PHI Passivhaus Institut), avec une consommation électrique ≤ 0.4 W/m³ d'air transporté ;

> **Pertes de chaleur minimisées** lors de la production et la distribution de la chaleur ;

> **Utilisation optimisée** de l'électricité.



Standard Passivhaus du bâti

- > isolation $U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- > vitrage $U \leq 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, avec un coefficient de transmission de chaleur $g \geq 50\%$
- > fenêtres $U \leq 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- > suppression des ponts

1. Le confort acoustique, qui peut se réaliser sans consommation énergétique, entre dans cette catégorie.

Quelques définitions

NégaWatt¹ définit une démarche de maîtrise énergétique en plusieurs étapes, que nous avons étendue à l'échelle du bâtiment. Les étapes sont les suivantes :

La sobriété

Selon negaWatt, la sobriété « consiste à interroger nos besoins puis agir à travers les comportements individuels et l'organisation collective sur nos différents usages de l'énergie, pour privilégier les plus utiles, restreindre les plus extravagants et supprimer les plus nuisibles ».

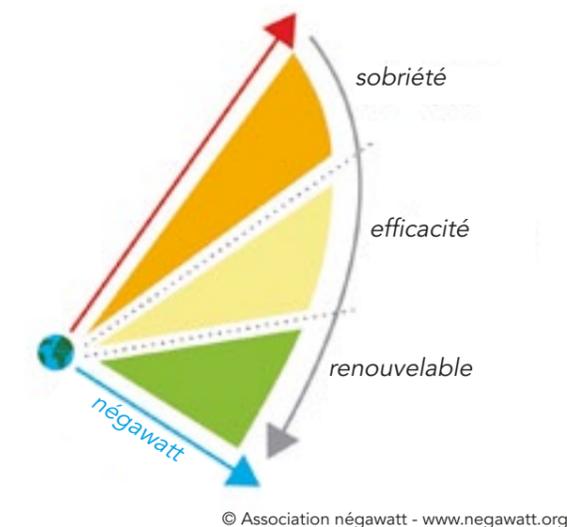
À l'échelle du bâtiment, la sobriété recouvre toutes les actions comportementales agissant sur le confort thermique (habillement, occupation des locaux, températures de consigne), mais aussi les modes d'usage économe du bâtiment et de ses équipements (éteindre dans des pièces inoccupées, prendre des douches plutôt que des bains, couper les consommations de veille des appareils non utilisés...). Du domaine du collectif relèvent les changements d'heure saisonniers, la réorganisation des horaires, ainsi que les incitations diverses (publicité, aides financières) aux modifications des usages et des cultures (valorisation de la clim, incitation à la multiplication des appareils noirs et blancs...), ou, au contraire, la réalisation par des usages alternatifs de certains besoins (machine à laver collective)...

L'efficacité du bâti

Elle est du ressort de nous, concepteurs, et couvre le domaine des actions sur l'enveloppe, du bioclimatique et du frugal : morphologie, récupération des apports solaires, protection contre le soleil d'été, optimisation de la transparence à la lumière naturelle, de la porosité pour la ventilation naturelle... Entrent aussi dans l'efficacité du bâti, des actions de programmation comme la mise à disposition d'un espace pour le séchage du linge évitant l'achat d'un appareil énergivore, la disposition de prises commandées pour éviter les consommations de veille...

L'efficacité des systèmes

Également de notre ressort, elle porte sur les rendements des générateurs, sur la limitation des pertes diverses (génération, stockage, distribution...), sur la sensibilité des systèmes de gestion, sur l'efficacité des échangeurs...



Bioclimatique

Se dit d'un bâtiment qui tire de son environnement climatique l'essentiel des ressources nécessaires à son fonctionnement, et qui sait se protéger des nuisances liées à ce climat. On parle aussi d'« architecture bioclimatique ». On peut étendre la notion de bioclimatique au-delà du climat envers les autres ressources (eau, matériaux, savoir-faire...) du site et de l'environnement immédiat du bâtiment : on parlera alors de « bioclimatique élargie ».

Bâtiment passif

Se dit d'un bâtiment qui est chauffé par le seul recours aux solutions architecturales et aux techniques bioclimatiques (apports solaires et internes, isolation, récupération des pertes...). Par extension, la notion de passif peut s'appliquer aux autres fonctions du bâtiment : confort d'été, éclairage, aération... Il s'agit alors d'un concept théo-

rique et il faudrait plutôt parler de « bâtiments presque passifs ».

À ne pas confondre avec un « bâtiment basse consommation » qui limite les consommations aussi bien grâce aux systèmes (actif) que grâce au bâti (passif).

Bâtiment zéro énergie

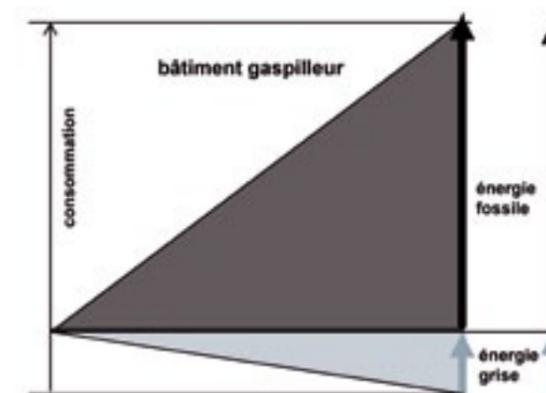
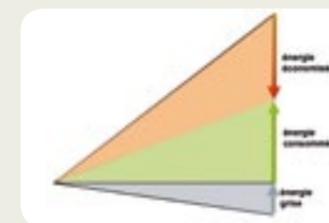
Se dit d'un bâtiment qui produit lui-même, sur l'année, autant d'énergie qu'il en a besoin pour son fonctionnement tous usages confondus. Il serait plus précis de parler de « bâtiment zéro énergie fossile ». Cet équilibre est réalisé en bilan annuel : il s'agit habituellement d'un bâtiment raccordé qui, à certaines périodes, fournit de l'énergie au réseau ou aux bâtiments voisins, et à d'autres périodes en retire. S'il assure lui-même, par stockage, cette régulation annuelle, on peut parler de « bâtiment autonome ».

Un bâtiment qui produit plus qu'il ne consomme est appelé « bâtiment à énergie positive ». Par usurpation, sont ainsi désignés des bâtiments qui n'assurent l'équilibre que sur les seuls usages réglementés par la RT 2012, ou qui assurent l'équilibre à une tolérance près. Il faudrait plutôt parler, comme le font les Anglo-saxons, de « bâtiment presque zéro énergie » (nearly zero energy buildings).

La notion zéro énergie ne parle que de l'équilibre production / consommation. Elle ne dit rien sur le niveau des consommations qui peut être faible ou non. Habituellement, le concept zéro énergie ne dit rien, non plus, sur l'énergie grise consommée pour la fabrication des produits mis en œuvre.

Mode d'emploi des figures suivantes

Sur les figures suivantes, on part du bâtiment gaspilleur, sans effort particulier et on progresse jusqu'au bâtiment frugal. En ordonnée sont représentées les consommations d'énergie (vecteurs vers le haut) ou les économies d'énergie (vecteurs vers le bas). Les gains ou consommations d'énergie pour le fonctionnement du bâtiment sont positionnés au-dessus de l'axe des abscisses. Ceux concernant les autres phases (énergie grise) sous le même axe. Les couleurs des vecteurs et des secteurs se reportent aux différentes catégories de gains ou de consommations.

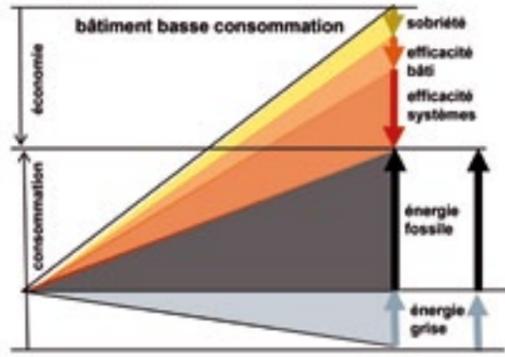


Cas 1

Le bâtiment « gaspilleur » n'utilise pas les apports gratuits dont il peut disposer, ni d'énergie renouvelable.

Il est caractérisé par ses consommations d'énergie liées à sa construction, son énergie grise, et à son usage, ses consommations d'énergies fossiles.

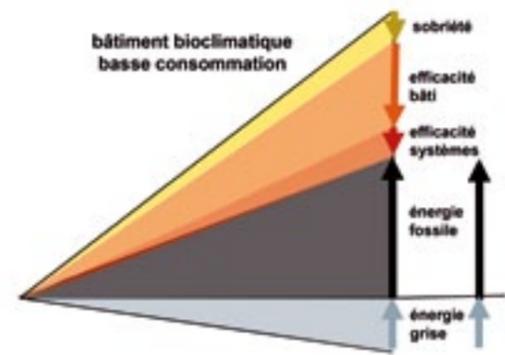
1. Association de type loi 1901, négaWatt est un groupe d'études, de propositions et d'actions pour une politique énergétique fondée sur la sobriété et l'efficacité énergétique et un recours plus affirmé aux énergies renouvelables. Elle est à l'origine de scénarios énergétiques pour atteindre le facteur 4. Elle est animée par la Compagnie des négaWatts, un collège d'une vingtaine d'experts et praticiens, autour de laquelle, ce sont plus de 1000 membres adhérents (particuliers comme professionnels) qui soutiennent cette démarche et ces actions. (<http://www.negawatt.org>).



Cas 2

Le bâtiment « basse consommation »

limite ses consommations, en étant peu déperditif (isolation) et en utilisant des systèmes de ventilation, de chauffage, de rafraîchissement et d'éclairage performants.

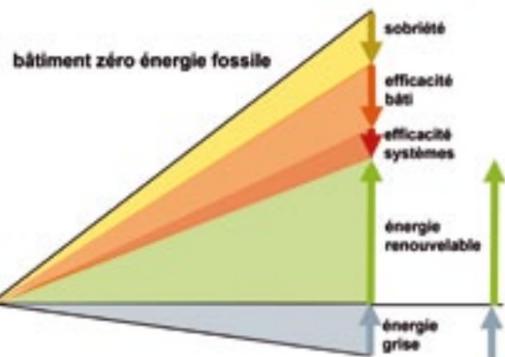


Cas 3

Le bâtiment « basse consommation bioclimatique »

utilise les baies vitrées pour améliorer l'autonomie du bâtiment vis-à-vis de l'éclairage électrique et pour augmenter les apports solaires utilisables pour le chauffage, l'inertie pour stocker la chaleur en hiver et la fraîcheur extérieure en période chaude.

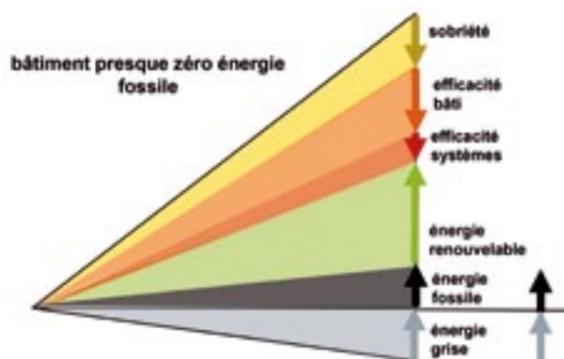
Le recours aux systèmes est plus limité.



Cas 4

Le bâtiment « zéro énergie fossile »

est un bâtiment « basse consommation bioclimatique » qui utilise essentiellement des énergies renouvelables pour alimenter les systèmes.

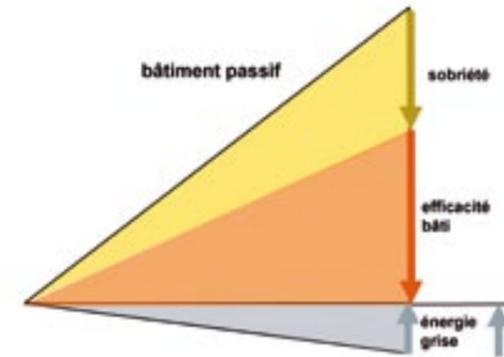


Cas 5

Le bâtiment « presque zéro énergie fossile »

est un bâtiment « zéro énergie fossile » avec une tolérance plus ou moins importante de consommation d'énergie fossile.

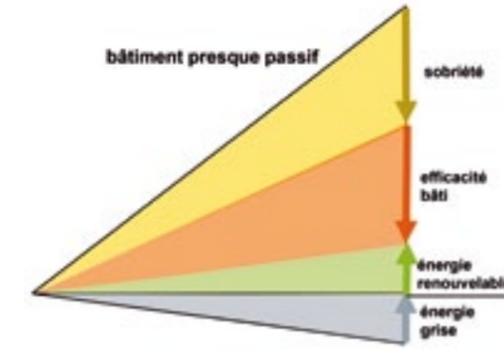
Le BEPOS entre dans cette catégorie.



Cas 6

Le « bâtiment passif » est un bâtiment « basse consommation bioclimatique » qui n'a plus de consommations d'usage, donc plus besoin d'avoir recours à des systèmes.

Ce modèle est rarement atteignable, si bien qu'il faut considérer le cas suivant.

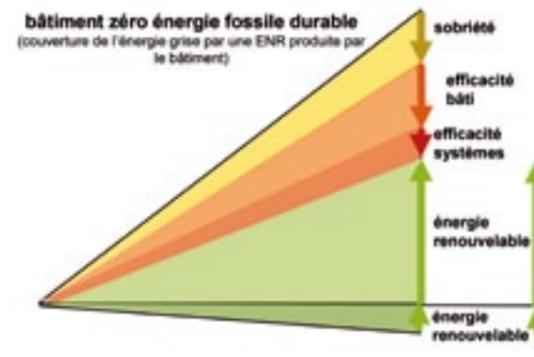


Cas 7

Le « bâtiment presque passif »

est un bâtiment « basse consommation bioclimatique » qui utilise un peu d'énergie, de préférence renouvelable pour alimenter les systèmes.

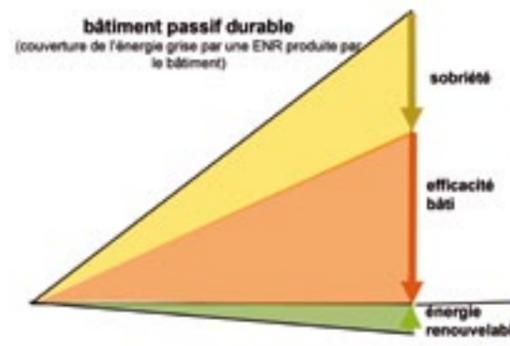
Si l'on prend en compte l'énergie grise, deux cas se dégagent :



Cas 8

Le bâtiment « zéro énergie fossile durable »

produit des énergies renouvelables pour compenser ses besoins énergétiques en phase d'utilisation et l'énergie grise qu'il a embarquée.



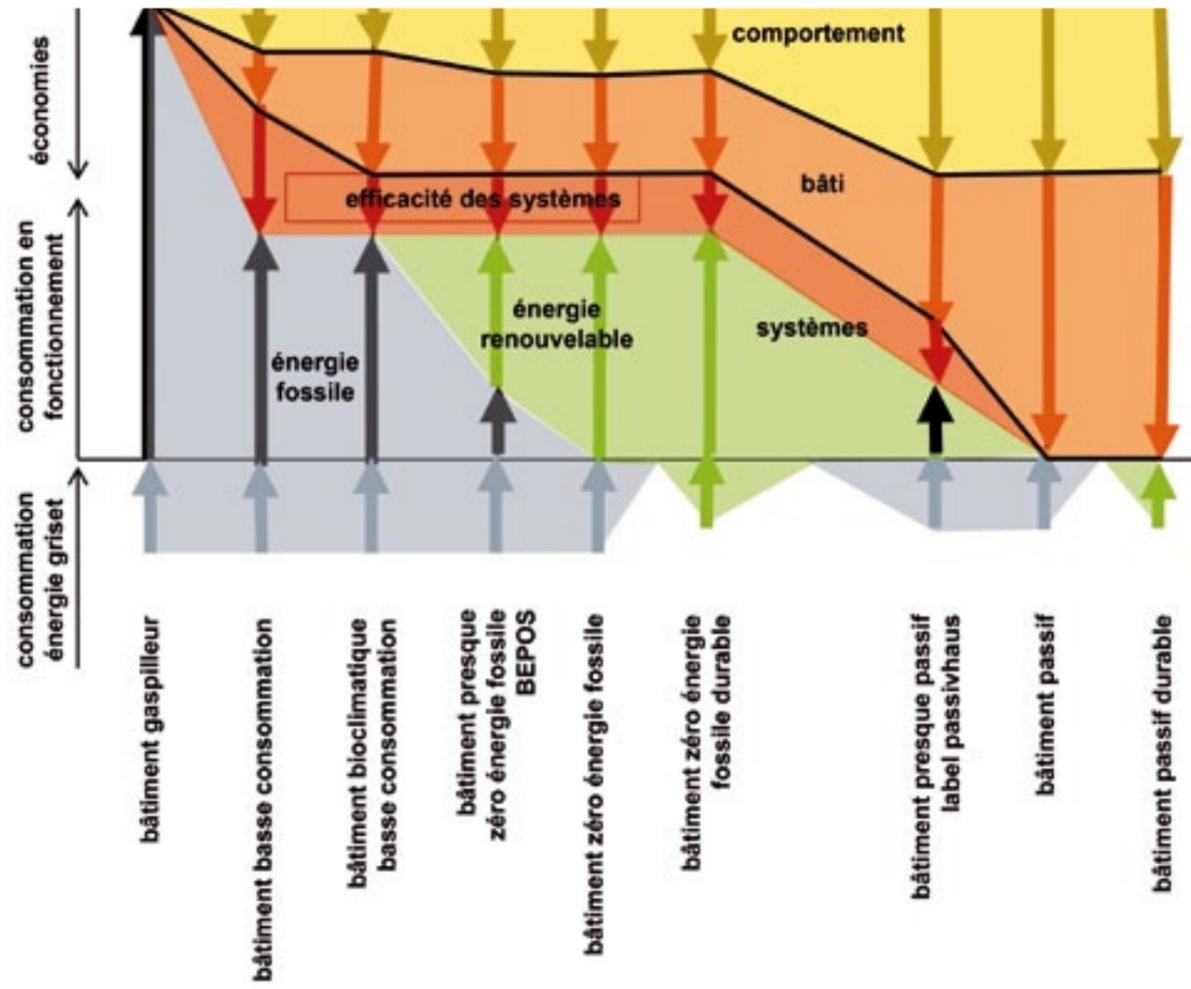
Cas 9

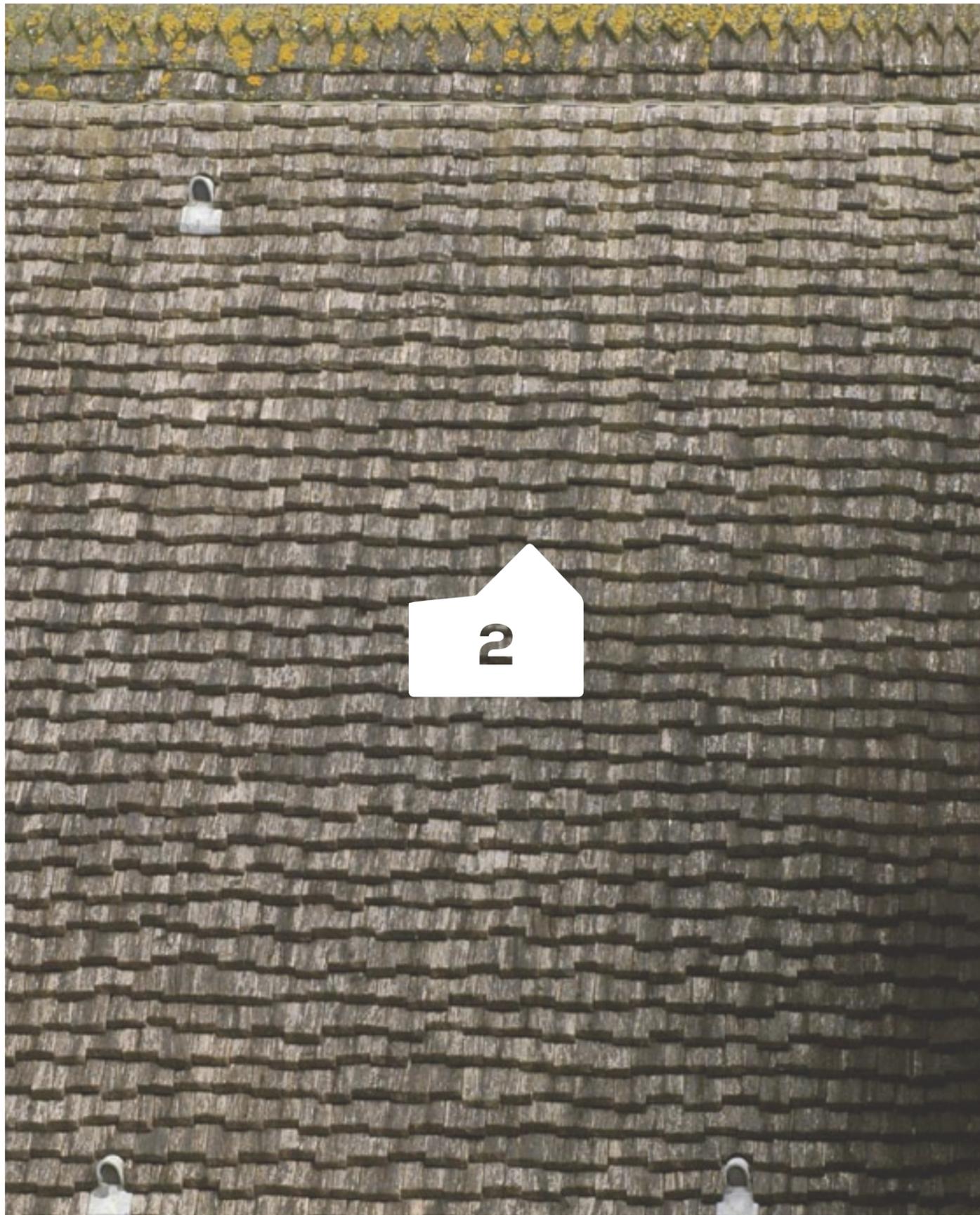
Le bâtiment « passif durable »

est un bâtiment « basse consommation bioclimatique » qui n'a plus de consommations d'usage, donc plus besoin d'avoir recours à des systèmes et qui compense l'énergie grise qu'il a embarquée par des énergies renouvelables produites sur place.

La figure ci-dessous résume les 9 cas de figure décrits dans les pages précédentes

Évolutions du bâtiment gaspilleur au bâtiment frugal





Une méthodologie de conception : la signature bioclimatique

L'objet de ce document est de définir le bâtiment frugal et les stratégies pour l'atteindre. Pour éclairer cet objectif, il nous a paru important de définir le concept de signature bioclimatique qui est une réponse à la question : sur quels indicateurs s'appuyer pour concevoir la bioclimatique d'un bâtiment et, ainsi, aller vers le bâtiment frugal ? Il n'est évidemment pas question de faire de la conception à l'aide du Bbio, outil réglementaire qui n'est pas fait pour ça. Nous proposons, dans les pages qui suivent, une méthodologie construite autour d'un outil, la signature bioclimatique. Celle-ci a l'avantage de ramener une problématique énergétique à des critères de confort et peut être appliquée à différents aspects du bioclimatique : thermique, éclairage naturel, ventilation...

Retour sur la signature énergétique

C'est une méthode d'analyse et de contrôle des consommations énergétiques développée en Suisse et en Belgique. Elle consiste à corréliser les consommations d'un bâtiment avec le climat. Par exemple, en reportant sur un même graphique les couples température extérieure/consommation (sur le graphique ci-contre à l'échelle de la journée), on obtient un faisceau de points facilement réduit par corrélation linéaire à une droite, la signature de référence. Ces données peuvent être le résultat de mesures lors d'un suivi, ou de simulations thermiques dynamiques en conception. Les paramètres de la droite (pente, intersection avec l'axe

La signature énergétique

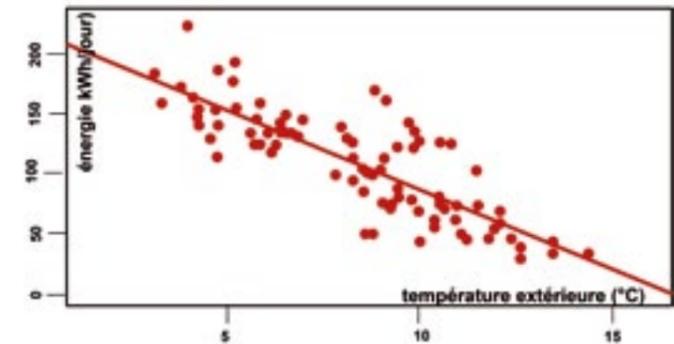


Diagramme besoins journaliers = f (température extérieure)

horizontal...) sont caractéristiques d'un bâtiment. Les points aberrants signalent des dysfonctionnements.

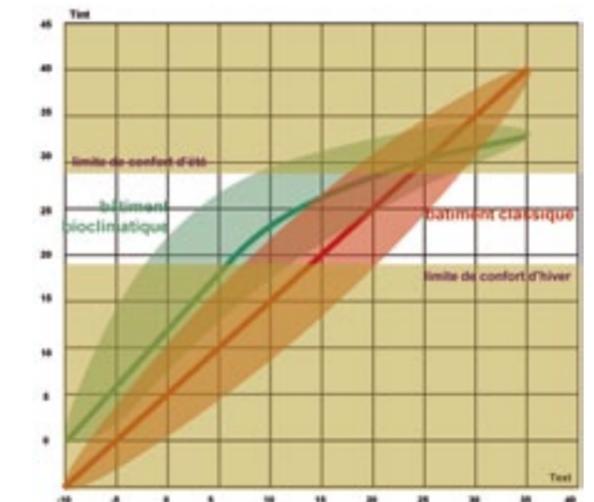
Extension à la conception bioclimatique du confort thermique

Nous proposons d'étendre cette approche à la conception bioclimatique du confort thermique. Le graphique représente, en ordonnée, la température intérieure opérative d'un bâtiment en **évolution libre**, sans usage d'équipements de chauffage ou de rafraîchissement actifs, et en abscisse, la température extérieure. Les simulations thermiques dynamiques permettent d'obtenir un faisceau annuel de 8 760 points, mais on peut aussi le dessiner à partir de températures moyennes journalières ou mensuelles.

On repère sur le graphique les zones d'inconfort standardisé, par exemple $\leq 19^\circ\text{C}$ en hiver et $\geq 28^\circ\text{C}$ en été. On constate bien que la zone de confort (en blanc) est très limitée.

Le bâtiment classique, moyennement isolé, peu solarisé et peu protégé en été atteint sa température de non-chauffage aux alentours de 14°C .

La signature bioclimatique



Température opérative dans le bâtiment laissé en évolution libre (sans systèmes) obtenue en fonction de la température extérieure.

Sa signature bioclimatique est presque linéaire, comme la signature énergétique. Le bâtiment bioclimatique, mieux isolé, bien solarisé en hiver, bien protégé et bien ventilé en été voit sa température de non-chauffage baisser de quelques degrés et le faisceau s'infléchir en été.

À partir de la signature d'un bâtiment classique, il faudra travailler sur la conception même du bâtiment, le bioclimatique, pour atteindre un bâtiment frugal, mais aussi sur les standards de confort pour étendre la zone de confort passif.

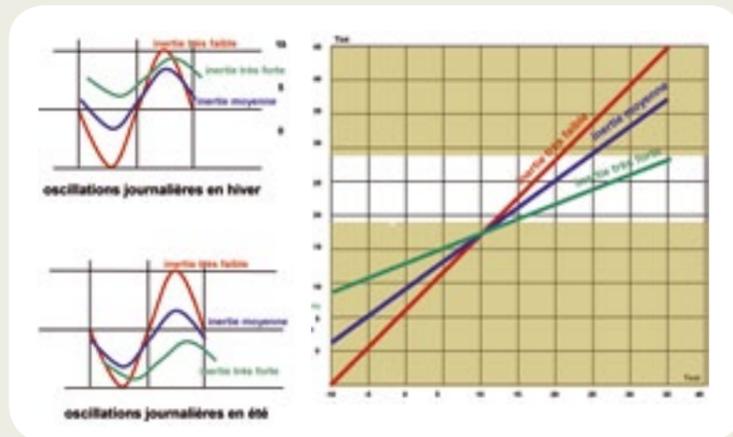
L'intérêt d'un bâtiment bioclimatique est d'élargir la zone de points compris dans la zone de confort.

Cela permet d'améliorer le fonctionnement passif, soit sans équipement, du bâtiment.

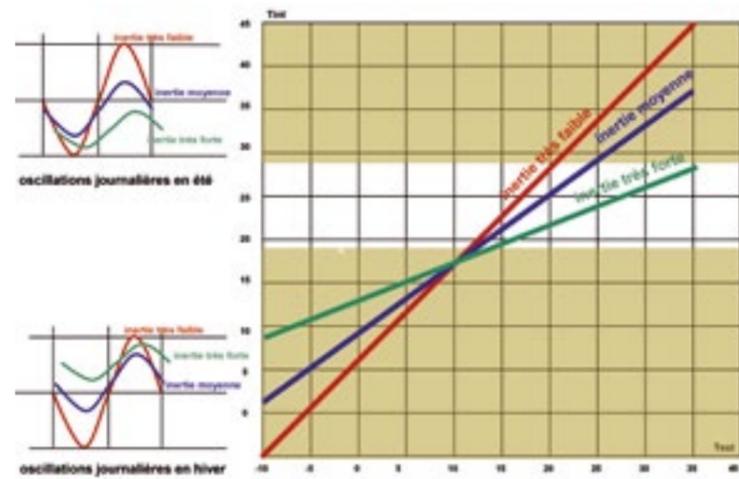
Le premier temps de la conception consiste à pousser tous les curseurs disponibles dans le sens de ce fonctionnement passif du bâtiment. La signature bioclimatique permet de visualiser les impacts de chacun des choix effectués.

Mode d'emploi des figures suivantes

Les figures suivantes repèrent, par leur signature énergétique, diverses actions en phase-conception, depuis un bâtiment de conception classique vers la recherche de la frugalité. Les deux groupes de sinusoides à gauche de chaque figure, représentent les oscillations journalières de températures en fonctionnement d'hiver (en bas) et d'été (en haut).



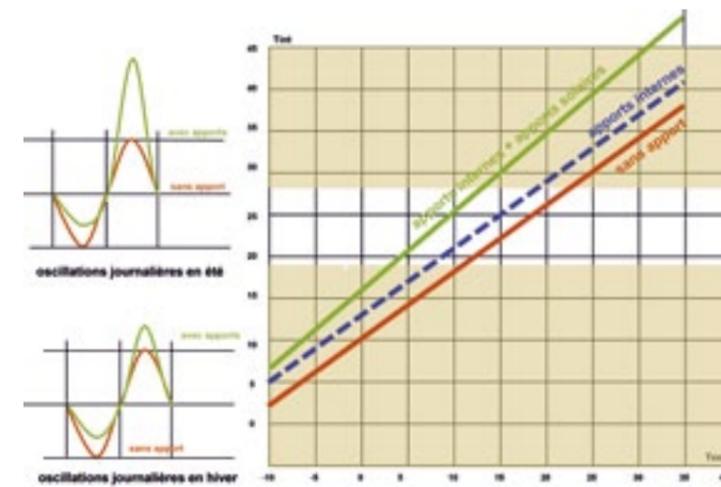
Sensibilité à l'inertie



L'inertie écrase les oscillations journalières des températures et les surchauffes dans l'ambiance intérieure dues aux apports solaires. Quand elle est suffisamment forte, elle peut aussi écraser les oscillations saisonnières et tirer la courbe journalière vers le bas en été et vers le haut en hiver. Par ailleurs, l'inertie peut aussi décaler les pointes et donc tirer la courbe journalière vers la droite. L'inertie moyenne apporte un amortissement journalier, et l'inertie forte permet un stockage sur un temps plus long. Globalement, l'inertie va

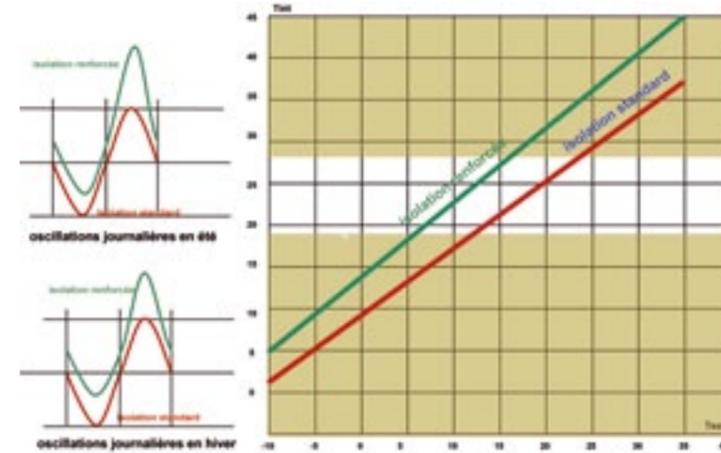
donc réduire la pente de la droite de référence de la signature bio-climatique et rapprocher les points extrêmes de la zone de confort.

Sensibilité aux apports



Les apports internes, en admettant qu'ils sont à peu près constants au cours de l'année, vont déplacer la droite de signature vers le haut. **Les apports solaires** également, mais de façon différenciée entre l'hiver (faibles apports) et l'été (forts apports). Les apports vont donc, comme prévu, réduire la température de non-chauffage et faciliter l'accès à la zone de confort en hiver et le défavoriser en été.

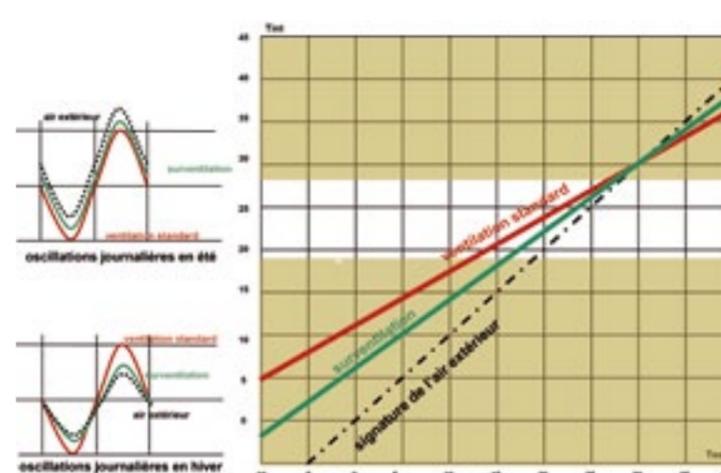
Sensibilité à l'isolation



L'isolation a comme effet de limiter les déperditions d'hiver et les apports d'été. Si les apports et les températures étaient identiques en hiver et en été, un renforcement de l'isolation se traduirait par un simple décalage vers le haut de la droite signature. Mais le delta de température intérieur/extérieur est plus faible en été, par contre les apports sont plus importants : deux phénomènes contradictoires qui ne permettent pas d'anticiper l'évolution de la pente de la droite. Quoi qu'il en soit, un renforcement de l'isolation induira toujours une baisse de la température de non-chauffage et, toutes choses égales par ailleurs (apports identiques et fenêtres fermées notamment), une dégradation du confort d'été.

une dégradation du confort d'été.

Sensibilité à la ventilation



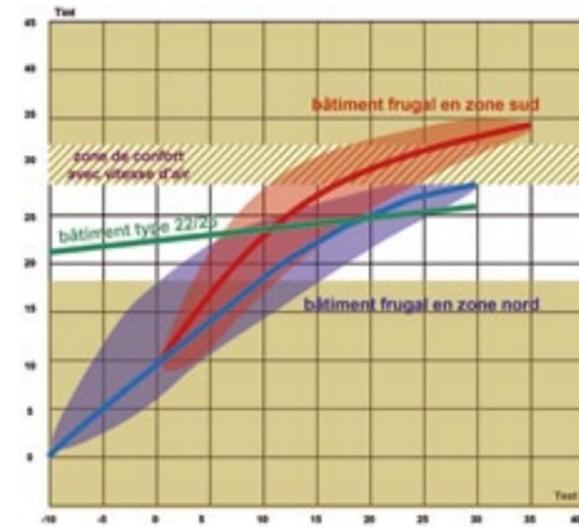
La ventilation agit comme un mélange entre air extérieur et air intérieur. Elle va donc rapprocher la signature d'une surventilation des caractéristiques de l'air extérieur. La signature va se transformer en une droite du faisceau constitué par la droite de référence et la droite $T_{int} = T_{ext}$. Ce faisant, la **surventilation** évacue les surchauffes, si l'air extérieur est plus frais que l'air intérieur. La figure ci-contre montre donc deux configurations différentes. En hiver, la surventilation est toujours défavorable. En été, elle peut être favorable si l'air extérieur est plus frais que l'air intérieur surchauffé, défavorable dans le cas contraire.

La banane bioclimatique. Après interaction des différents choix de conception, le fuseau de la signature bioclimatique a la forme d'une banane dont on a tenté de grignoter les deux bouts. Elle permet notamment de définir une température moyenne de non-chauffage et de non-clim. Les températures de non-chauffage sont respectivement, sur la figure ci-dessous, de 10°C au nord et 6°C au sud. Il n'y a jamais de clim au nord et la température de non-climatisation est au sud de 17°C si on ne prend pas en compte la vitesse de l'air et 27°C si on la prend en compte¹. Une fois réinterrogée la zone de confort, on comptabilise alors le nombre d'heures d'inconfort. Si celui-ci est conséquent, pas d'hésitation, un système de chauffage et/ou de climatisation sera nécessaire, mais nous aurons sérieusement réduit le nombre d'heures de fonctionnement de ces équipements.

Si le nombre d'heures d'inconfort est faible, la question qui nous est alors posée est la suivante : faut-il aller plus loin dans la conception passive ou gérer par d'autres moyens ces dépassements ? Les autres moyens sont de l'ordre du comportemental (habillement, aménagement des horaires, zonage des activités...) ou du dispositif d'appoint (chauffage d'appoint par cheminée, brasseur d'air à très grande vitesse...).

Dans le bâtiment 22/26 de Baumschlager et Eberle à Lustenau, la température oscille entre 22°C et 26°C sur l'année sans chauffage, sans rafraîchissement et sans ventilation mécaniques et énergivores, mais en bénéficiant, en hiver des apports internes venant de leur important équipement informatique et, en été,

Les bananes climatiques

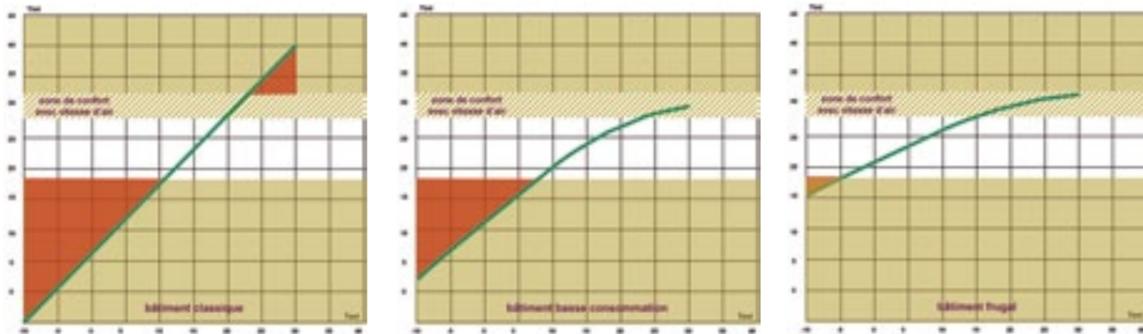


de l'inertie du bâtiment et de flux d'air balayant bien le bâtiment et profitant, notamment des nuits toujours fraîches dans cette région.

La signature bioclimatique fait apparaître le « logiciel » du bâti, les invariants qui déterminent son fonctionnement et dont il ne faut pas rater la conception : l'inertie, le niveau d'isolation, la solarisation d'hiver en logement et les protections solaires d'été dans tous les cas, la ventilation hygiénique et la ventilation de confort d'été...

C'est signé ! On ne reviendra pas dessus. Toute amélioration du confort se traduira obligatoirement par des systèmes et des consommations énergétiques (en rouge sur la figure ci-dessous) :

Plages de consommation d'énergie sur la signature bioclimatique



1. Le confort d'été, dans un bâtiment non climatisé, dépend fortement de l'effet rafraîchissant lié à la vitesse de l'air. Voir plus bas « Réinterroger les standards de confort d'été ».



Travailler sur le confort et l'usage

Élargir la zone de confort

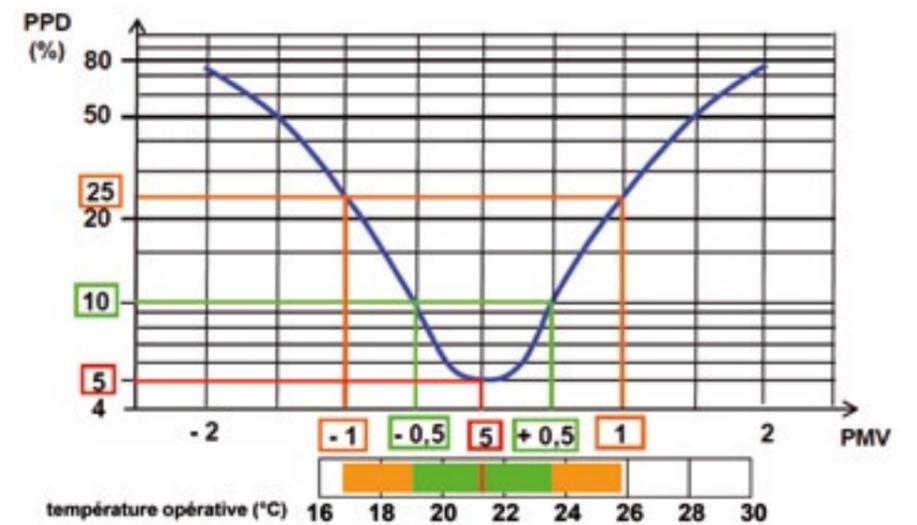
La zone de confort classique est réduite à une bande d'une dizaine de degrés au mieux. En effet, en confort d'hiver, la température limite basse de 19°C (limite réglementaire) est souvent introduite

dans les calculs mais, dans la réalité, c'est plutôt 20°C voire bien plus. En confort d'été, la température maximale de 28°C s'impose dans de nombreux programmes d'opérations durables. Mais c'est très souvent beaucoup moins : au mieux 26°C (limite réglementaire), au pire 22°C à 24°C.

Le dimensionnement habituel des installations repose sur l'idée de confort optimal défini par les indicateurs PMV¹ et PPD² de la norme ISO 7730. Que signifient ces indicateurs ?

La figure ci-contre représente, sur un diagramme PPD/PMV, les plages de confort d'hiver en température opérative selon la norme ISO 7730 (25%, 10% et 5% de mécontents), pour un individu habillé à 1 clo (vêtements d'hiver) et qui a une activité de bureau sédentaire. On constate, en conservant la logique de la norme 7730, mais en s'éloignant de l'optimum énergétiquement coûteux, qu'une ambiance à 17°C reste dans la zone de moindre confort, mais

Corrélation PMV/PPD



Réinterroger les standards de confort d'été

Sur cette question, une partie du travail a déjà été fait par le groupe de travail confort d'été passif (voir guide « Confort d'été passif », rédigé par l'ICEB et édité par l'Arene), en s'appuyant sur le confort d'été auto-adaptatif (EN 15251), qui étend, en période de fortes chaleurs, la zone de confort jusqu'à 32°C voire 33°C, ou sur le diagramme de Givoni qui permet d'atteindre à peu près les mêmes limites grâce à la vitesse d'air créée par une forte surventilation naturelle

(solution passive) ou par un brasseur d'air (solution active à faible consommation énergétique).

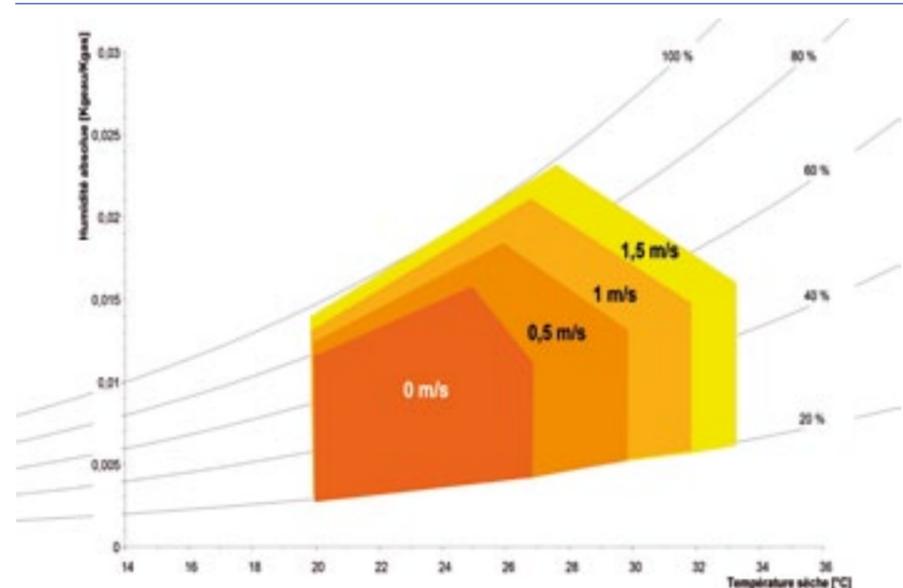
- Le confort thermique dépend de 4 paramètres :
- > la température résultante qui dépend de la température de l'air et de la température de rayonnement des parois ;
 - > l'humidité relative ;
 - > la vitesse de l'air.

Ces paramètres ont été croisés et les zones de confort sont définies sur le diagramme de l'air humide. Ces zones ont été mises en évidence par Givoni et Milne (B. Givoni, L'Homme, l'architecture et le climat, Éditions du Moniteur, 1978).

1. Le PMV (Predicted Mean Vote, « Indice de sensation moyenne prévisible ») est le résultat d'un modèle mathématique de calcul prévisionnel de sensation de confort en fonction des paramètres classiques du confort (activité, habillement, température, hygrométrie, vitesse d'air).
 2. Le PPD (Predicted Percentage Dissatisfied, « Pourcentage prévisible d'insatisfaits ») est un paramètre statistique corrélé au PMV.

Réinterroger les standards de confort d'hiver

Diagramme de Givoni



Pour un air calme (avec une vitesse maximum de 0,2 m/s, vitesse en dessous de la sensation de courant d'air), la plage de confort est comprise entre une température opérative de 19°C à 26°C et une humidité relative de 30 à 70% si la température ne dépasse pas 23°C et 60% quand la température atteint 26°C. Le poids d'eau dans l'air ne doit pas excéder 12 g.

L'augmentation de la vitesse d'air (0,25 m/s) permet d'étendre cette zone à la zone comprise entre les points suivants :

- [19°C, 30 à 90%] - [28°C, 20 à 50%] ;
- [19°C à 24°C, 90%] ;
- [26°C, 80%] à [28°C, 50%].

Le poids d'eau dans l'air ne doit pas excéder 17 g.

En portant la vitesse de l'air jusqu'à 1 m/s (vitesse ressentie comme un courant d'air, non propice au travail, puisque les papiers commencent à voler), cette zone de confort peut être étendue à :

- [32°C, 20% à 60%] - [27°C, 80% à 95%].

Le poids d'eau dans l'air ne doit pas excéder 22 g.

Si un de ces paramètres ne correspond pas à la zone de confort, il faut le corriger, et cette correction est généralement source de consommations d'énergie.

La stratégie que nous allons adopter est donc la suivante :

- > concevoir le bâtiment pour qu'il réponde à ces critères de confort avec le moins de corrections possible ;
- > effectuer ces corrections en utilisant le moins d'énergie possible.

La norme EN 27730-ISO 7730, basée sur le « vote prédictif moyen », PMV, indique, pour une activité, les conditions les plus satisfaisantes. Il définit trois catégories de confort : la A satisfait 94 % des personnes, la B, 90 % et la C, 85 %. Elle répond aux cas des bâtiments chauffés et climatisés. Elle ne correspond pas au cas des bâtiments non climatisés.

Les catégories A et B conduisent à des conditions à maintenir par des équipements qui peuvent être considérées comme luxueuses. Elles sont au centre de la zone de confort.

Plus les conditions à maintenir sont larges, plus il sera possible de réaliser un bâtiment frugal. Il est donc nécessaire de bien définir les besoins des futurs occupants. Si on envisage des conditions limites de la zone de confort, voire même de la zone de confort élargie, il faut s'assurer que les occupants les accepteront.

Définition de la température de non-chauffage et de la température de non-rafraîchissement

Les activités qui se déroulent dans le bâtiment vont dégager de la chaleur à l'intérieur des locaux. Ces apports, solaires et internes, peuvent couvrir une partie des besoins de chauffage et la température à partir de laquelle il n'y a plus besoin de chauffage est appelée « température de non-chauffage ».

Il existe des bâtiments dont la température de non-chauffage est proche de 0°C (bâtiments très vitrés et à forts apports internes).

De même, en période chaude, les apports s'ajoutent à la chaleur de l'air extérieur et les besoins de rafraîchissement augmentent. Cela peut être traduit par la température de non-rafraîchissement.

Pour arriver à un bâtiment frugal, il faudrait, pratiquement, arriver à une température de non-chauffage au plus égale à la température moyenne minimale du lieu et celle de non-rafraîchissement, supérieure ou égale à la température moyenne maximale du lieu.

Première approche stratégique : le choix de l'isolation

En hiver, c'est la température opérative qui est importante alors qu'en été c'est le couple température de l'air neuf/débit d'air neuf, donc vitesse de l'air, qui est le paramètre majeur du confort.

Pour le confort, la température de surface des parois déperditives doit être à moins de 3K de la température intérieure.

Si l'air a bien une vitesse limitée à 0,2 m/s, la température moyenne de surface des parois et de la température de l'air interviennent à parts égales.

Exemples :

- > Chambre ou bureau 2,7 X 4,5 m²
- > Débit d'air 30 m³/h
- > Surface vitrée 2,5 x 2,5 ou 2 X 1,5
- > Uw double-vitrage : 1,5 W/m².K
- > Uw triple-vitrage : 1,0 W/m².K
- > U1 paroi : 0,20 W/m².K
- > U2 paroi : 0,15 W/m².K
- > U3 paroi : 0,10 W/m².K

Températures de surface par 0°C, -5°C, -10°C, -15°C

Température extérieure	0°C	-5°C	-10°C	-15°C
Double-vitrage	16,36	15,45	14,54	13,63
Triple-vitrage	17,40	16,75	16,10	15,45
Paroi 1	19,61	19,35	19,22	19,09
Paroi 2	19,74	19,51	19,42	19,32
Paroi 3	19,97	19,68	19,61	19,55

La surface des parois vitrées est donc froide quand les températures extérieures sont négatives. Néanmoins, le ressenti des personnes, donc le confort dépend de la température de l'air (ici, en hypothèse, maintenu à 20°C) et de la température des autres parois (à 20°C aussi). De ce fait, la température ressentie à proximité du vitrage pour une façade complètement vitrée et avec un air intérieur à 20°C est la suivante :

Températures opératives par 0°C, -5°C, -10°C, -15°C

Température extérieure	0°C	-5°C	-10°C	-15°C
Double-vitrage	18,18 °C	17,73 °C	17,27 °C	16,82 °C
Triple-vitrage	19,94 °C	18,38 °C	18,05 °C	17,73 °C

Dans ce tableau, les températures atteintes signalées en rose sont ressenties comme inconfortables par la plupart des gens et en gris, uniquement pour les personnes sensibles. Pour elles, le triple-vitrage devient nécessaire. De toute façon, dans le cas d'accueil de personnes sensibles, il importe de ne pas les laisser s'installer le long des parois vitrées :

Température ressentie au milieu de la pièce avec une façade complètement vitrée et avec un air intérieur à 20°C

Température extérieure	0°C	-5°C	-10°C	-15°C
Double-vitrage	19,39	19,24	19,09	18,94
Triple-vitrage	19,98	19,46	19,35	19,24

Dans ce tableau, on voit qu'au centre de la pièce, l'effet de paroi froide venant de la façade vitrée abaisse la température de 1 degré (1K) maximum.

IL IMPORTE AUSSI DE LIMITER LES PAROIS VITRÉES DE LA FAÇADE.

Température moyenne de la façade avec 3 m² de double-vitrage et 3,25 m² de paroi opaque et avec un air intérieur à 20°C

Température extérieure	0°C	-5°C	-10°C	-15°C
Paroi 1 : 0,20 W/m ² .K	17,98	17,48	16,97	16,47
Paroi 2 : 0,15 W/m ² .K	18,05	17,56	17,08	16,59
Paroi 3 : 0,10 W/m ² .K	18,12	17,65	17,18	16,71

Et avec du triple-vitrage :

Température moyenne de la façade avec 3 m² de triple-vitrage et 3,25 m² de paroi opaque et avec un air intérieur à 20°C

Température extérieure	0°C	-5°C	-10°C	-15°C
Paroi 1 : 0,20 W/m ² .K	18,48	18,10	17,72	17,34
Paroi 2 : 0,15 W/m ² .K	18,55	18,19	17,82	17,46
Paroi 3 : 0,10 W/m ² .K	18,62	18,27	17,93	17,58

De ce fait, la température ressentie le long de la façade avec double-vitrage est la suivante :

Température ressentie près de la façade avec 3 m² de double-vitrage et 3,25 m² de paroi opaque et avec un air intérieur à 20°C

Température extérieure	0°C	-5°C	-10°C	-15°C
Paroi 1 : 0,20 W/m ² .K	18,99	18,74	18,49	18,23
Paroi 2 : 0,15 W/m ² .K	19,03	18,78	18,54	18,29
Paroi 3 : 0,10 W/m ² .K	19,06	18,82	18,59	18,35

Et avec du triple-vitrage :

Température ressentie près de la façade avec 3 m² de triple-vitrage et 3,25 m² de paroi opaque et avec un air intérieur à 20°C

Température extérieure	0°C	-5°C	-10°C	-15°C
Paroi 1 : 0,20 W/m ² .K	19,24	19,05	18,86	18,67
Paroi 2 : 0,15 W/m ² .K	19,27	19,09	18,91	18,73
Paroi 3 : 0,10 W/m ² .K	19,31	19,14	18,96	18,79

Et, la température ressentie au centre de la pièce avec une façade avec double-vitrage est la suivante :

Température ressentie au centre de la pièce avec 3 m² de double-vitrage et 3,25 m² de paroi opaque et avec un air intérieur à 20°C

Température extérieure	0°C	-5°C	-10°C	-15°C
Paroi 1 : 0,20 W/m ² .K	19,66	19,58	19,50	19,41
Paroi 2 : 0,15 W/m ² .K	19,68	19,59	19,51	19,43
Paroi 3 : 0,10 W/m ² .K	19,69	19,61	19,53	19,45

Et avec du triple-vitrage :

Température ressentie au centre de la pièce avec 3 m² de triple-vitrage et 3,25 m² de paroi opaque et avec un air intérieur à 20°C

Température extérieure	0°C	-5°C	-10°C	-15°C
Paroi 1 : 0,20 W/m ² .K	19,75	19,68	19,62	19,56
Paroi 2 : 0,15 W/m ² .K	19,76	19,70	19,64	19,58
Paroi 3 : 0,10 W/m ² .K	19,77	19,71	19,65	19,60

Si on a des locaux standards, ce raisonnement s'applique. Dans le cas contraire, il faut étudier le cas spécifique en suivant le même raisonnement.

Stratégie pour le choix de l'isolation :

- > éviter le tout-vitrage et se l'interdire si on accueille des personnes fragiles ;
- > réserver le triple-vitrage pour des lieux où la température extérieure descend en dessous de -10°C ;
- > ne pas surisoler.

À noter que les volets fermés permettent la nuit d'arrêter le rayonnement infrarouge venant des bâtiments chauds vers la voûte céleste. Ceci est pris en compte dans le coefficient U_{jn} qui peut être utilisé dans les calculs mais, attention il faut, dans ce cas, trouver une solution pour permettre la ventilation traversante.

Deuxième question stratégique : double flux et /ou ventilation naturelle

Le comparatif fait ici porte sur les besoins de chaleur apportés par le renouvellement d'air. La prise en compte de la récupération des apports gratuits est exclue ici. En cas de choix d'un double flux, nous considérons qu'il est équipé d'un échangeur de chaleur.

Bilan de la VMC double flux sur la saison de chauffe en zone H1

Zone H1	Chambre	Bureau
Rendement échangeur	90%	80%
Degrés-heures de chauffage	63 000	30 000
Besoins dus à l'air neuf	$30 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \times 0,1 \times 63 \text{ kWh} = 64,26 \text{ kWh/an}$	$30 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \times 0,2 \times 30 \text{ kWh} = 61,20 \text{ kWh/an}$
Consommation des ventilateurs 0,6 W/m ³ /h	18 W X 4340 h = 78 kWh	18 W X 2000 h = 36 kWh
Consommation en énergie primaire (1kWh Chauffage = 1 kWh _{ep} , Électricité = 2,58 kWh _{ep})	265,5 kWh _{ep}	154,1 kWh _{ep}

Le double flux est toujours justifié en zone bruyante : la ventilation naturelle doit être envisagée en zone non bruyante.

Bilan de la ventilation naturelle sur la saison de chauffe en zone H1

Besoins dus à la ventilation naturelle	$30 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \times 1 \times 63 \text{ kWh} = 642,6 \text{ kWh/an}$	$30 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \times 1 \times 63 \text{ kWh} = 642,6 \text{ kWh/an}$
---	---	---

Il est difficile de couper la ventilation naturelle la nuit. Elle est donc continue sur la période de chauffage. Avec une ventilation naturelle assistée, on peut limiter l'augmentation des débits d'air en hiver. Néanmoins, le double flux s'impose en hiver lorsque le double flux ne fonctionne qu'en période d'occupation et de chauffage.

Lorsque le double flux fonctionne toute l'année :

Bilan de la VMC double flux sur l'année entière en zone H1

Zone H1	Chambre	Bureau
Besoins dus à l'air neuf	64,26 kWh/an	61,20 kWh/an
Consommation des ventilateurs 0,6 W/m ³ .h	18 W X 8760 h = 157,68 kWh	18 W X 4000 h = 72 kWh
Consommation en énergie primaire	471,1 kWh _{ep}	257,8 kWh _{ep}

Il reste justifié en zone H1, mais il faut tenir compte du coût d'entretien : changement des filtres et nettoyage de l'échangeur, et du risque sanitaire, s'il n'est pas fait.

Bilan de la VMC double flux sur la saison de chauffe en zone H2

Zone H2	Chambre	Bureau
Rendement échangeur	90%	80%
Degrés-heures de chauffage	51 000	24 000
Besoins dus à l'air neuf	$30 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \times 0,1 \times 51 \text{ kWh} = 52,0 \text{ kWh/an}$	$30 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \times 0,2 \times 24 \text{ kWh} = 49,0 \text{ kWh/an}$
Consommation des ventilateurs 0,6 W/m ³ /h	18 W X 3200 h = 57,6 kWh	18 W X 1500 h = 27 kWh
Consommation en énergie primaire (1kWh Chauffage = 1 kWh _{ep} , Électricité = 2,58 kWh _{ep})	200,6 kWh _{ep}	118,7 kWh _{ep}

Bilan de la ventilation naturelle sur la saison de chauffe en zone H2

Besoins dus à la ventilation naturelle	$30 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \times 1 \times 51 \text{ kWh} = 520,2 \text{ kWh/an}$	$30 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \times 1 \times 51 \text{ kWh} = 520,2 \text{ kWh/an}$
---	---	---

Il est difficile de couper la ventilation naturelle la nuit. Elle est donc continue sur la période de chauffage. Avec une ventilation naturelle assistée, on peut limiter l'augmentation des débits d'air en hiver. Néanmoins, le double flux s'impose en hiver lorsque le double flux ne fonctionne qu'en période d'occupation et de chauffage.

Lorsque le double flux fonctionne toute l'année :

Bilan de la VMC double flux sur l'année entière en zone H2

Zone H2	Chambre	Bureau
Besoins dus à l'air neuf	52 kWh/an	49 kWh/an
Consommation des ventilateurs 0,6 W/m ³ /h	18 W X 8760 h = 157,68 kWh	18 W X 4000 h = 72 kWh
Consommation en énergie primaire	458,8 kWh _{ep}	234,8 kWh _{ep}

Il n'est pas justifié en zone H2 en logement, d'autant qu'il faut tenir compte du coût d'entretien : changement des filtres et nettoyage de l'échangeur, et du risque sanitaire, s'il n'est pas fait.

En bureau et en nuit d'été, une ventilation naturelle, associée aux fenêtres (ou à des ouvrants spécifiques) protégés contre la pluie et l'intrusion, permet d'assurer les 10 vol/h nécessaires à une bonne sur-ventilation nocturne.

Bilan de la VMC double flux sur la saison de chauffe en zone H3

Zone H3	Chambre	Bureau
Rendement échangeur	90%	80%
Degrés-heures de chauffage	37 000	18 000
Besoins dus à l'air neuf	$30 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \times 0,1 \times 37 \text{ kWh} = 37,8 \text{ kWh/an}$	$30 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \times 0,2 \times 18 \text{ kWh} = 36,7 \text{ kWh/an}$
Consommation des ventilateurs 0,6 W/m ³ /h	18 W X 2500 h = 45 kWh	18 W X 1000 h = 18 kWh
Consommation en énergie primaire (1kWh Chauffage = 1 kWh _{ep} , Electricité = 2,58 kWh _{ep})	153,9 kWh _{ep}	83,2 kWh _{ep}

Bilan de la ventilation naturelle sur la saison de chauffe en zone H3

Besoins dus à la ventilation naturelle	30 m ³ /h x 0,34 x 1 x 37 kWh = 377,4 kWh/an	30 m ³ /h x 0,34 x 1 x 37 kWh = 377,4 kWh/an
--	--	--

Il est difficile de couper la ventilation naturelle la nuit. Elle est donc continue sur la période de chauffage. Avec une ventilation naturelle assistée, on peut limiter l'augmentation des débits d'air en hiver. Néanmoins, le double flux s'impose en hiver lorsque le double flux ne fonctionne qu'en période d'occupation et de chauffage.

Lorsque le double flux fonctionne toute l'année :

Bilan de la VMC double flux sur l'année entière en zone H3

Zone H2	Logement	Bureau
Besoins dus à l'air neuf	45 kWh/an	18 kWh/an
Consommation des ventilateurs 0,6 W/m ³ /h	18 W X 8760 h = 157,68 kWh	18 W X 4000 h = 72 kWh
Consommation en énergie primaire	451,8 kWh _{ep}	203,8 kWh _{ep}

En zone H3 en logement, le double flux consomme trop : il faut soit le couper en dehors de la période de chauffage, soit passer à la ventilation naturelle. Le coût d'entretien (changement des filtres et nettoyage de l'échangeur, et du risque sanitaire, s'il n'est pas fait) doit être évalué. En bureau et en nuit d'été, la remarque faite pour la zone H2 reste valable.

Stratégie concernant le choix du renouvellement d'air

- > la ventilation naturelle se justifie en hiver en zone chaude (H3 et une partie de H2) ;
- > il faut néanmoins sélectionner un système de chauffage et des entrées d'air permettant d'éviter les effets de courant d'air froid dans les pièces ;
- > si on augmente les débits d'air (souci de qualité de l'air intérieur ou forte occupation, comme les salles de classe), le double flux avec échangeur devient de plus en plus justifié, en hiver.

Stratégie concernant la perméabilité à l'air

- > le système de ventilation assure un bon renouvellement d'air : le bâtiment ne doit pas laisser passer de l'air parasite. Ceci se gère bien en construction neuve, mais est plus complexe pour les bâtiments existants ;
- > cette perméabilité à l'air est beaucoup moins importante en zone méditerranéenne où la stratégie d'été est déterminante.

Prise en compte du confort d'été

En été, ce qui importe pour le confort, ce sont les protections solaires, la vitesse d'air et le débit d'air neuf.

La ventilation traversante ou le puits canadien permettent de limiter les apports en été.

Ces solutions sont compatibles avec l'utilisation, pour le renouvellement d'air, en hiver :

- > d'un simple flux, dans toutes les zones climatiques où le double flux en hiver ne s'impose pas ;
- > dans le cas contraire, d'un double flux.



La signature bioclimatique appliquée à l'éclairage et à la ventilation naturels

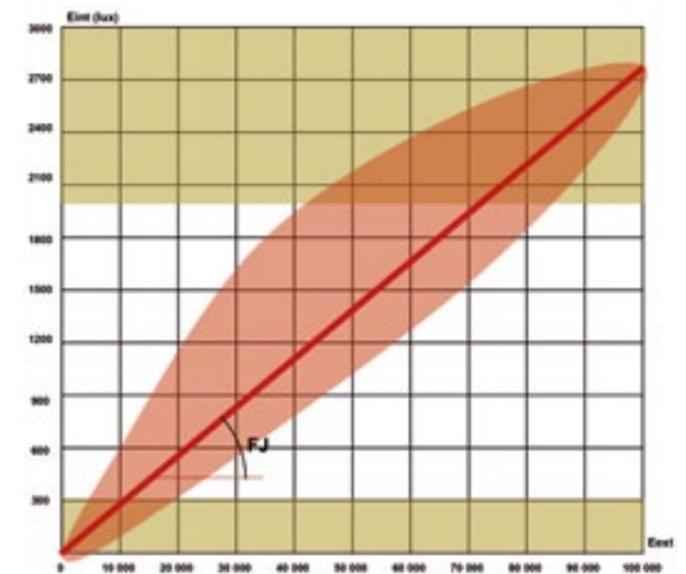
Pour les autres fonctions, on procède de la même façon que pour le confort thermique. Pour chaque fonction, il faut définir le paramètre climatique et le paramètre de confort à reporter sur le diagramme. De sorte qu'ils donnent une figure la plus simple possible caractéristique du bâtiment.

La signature bioclimatique en éclairage naturel

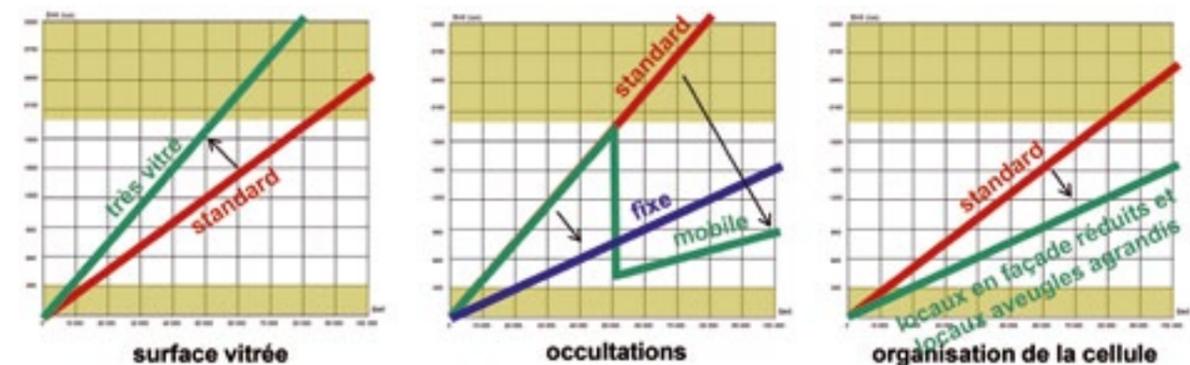
Pour ce qui est de l'éclairage naturel, les paramètres naturels du diagramme sont l'éclairement du ciel (en lux) et l'éclairement intérieur (en lux également). La corrélation éclairage extérieur/éclairage intérieur est linéaire. La pente en est le facteur de lumière de jour. Le faisceau des points représentatifs, plus enflé vers le haut que vers le bas, traduit la différence entre un ciel réel et le ciel forfaitaire uniforme utilisé pour le calcul du facteur de jour. On peut, par exemple, exprimer un éclairement moyen sur un local, ou sur la zone d'usage d'un local, ou encore une moyenne des éclairagements sur toutes les pièces d'un local, y compris les pièces aveugles comptant pour zéro lux. La zone de confort s'exprime par un seuil minimum d'éclairement intérieur, par exemple 300 lux et un seuil maximum correspondant à un risque d'éblouissement important, par exemple 2000 lux.

De la même façon que pour la signature thermique, divers choix d'amélioration, tendant vers une plus grande autonomie en lumière naturelle, peuvent être proposés.

La signature bioclimatique en éclairage naturel



Divers choix de conception lus sur la signature bioclimatique



Augmentation de la surface vitrée

En corrélation avec la recherche de solarisation d'hiver. Le facteur de lumière de jour, donc la pente de la droite de référence, augmente. Cela réduit le nombre de points mal éclairés. Réduction légère car on se situe dans les zones de faibles éclairage de ciel, celles qui ont la plus faible densité d'occurrences. Parallèlement, on augmente le nombre de points à risque d'éblouissement et il faudra travailler sur les occultations (voir ci-dessous).

Pose d'occultations

Si les occultations sont fixes, leur effet va être de réduire le facteur de lumière de jour donc d'augmenter le nombre de points insuffisamment éclairés. En

revanche, si elles sont mobiles, on gardera la même droite de référence pour les éclairages de ciel les plus bas et on n'en réduira la pente qu'au-delà d'un certain éclairage de ciel. La figure illustre une stratégie de tout ou rien, avec fermeture du store quand la lumière naturelle devient gênante.

Organisation des locaux

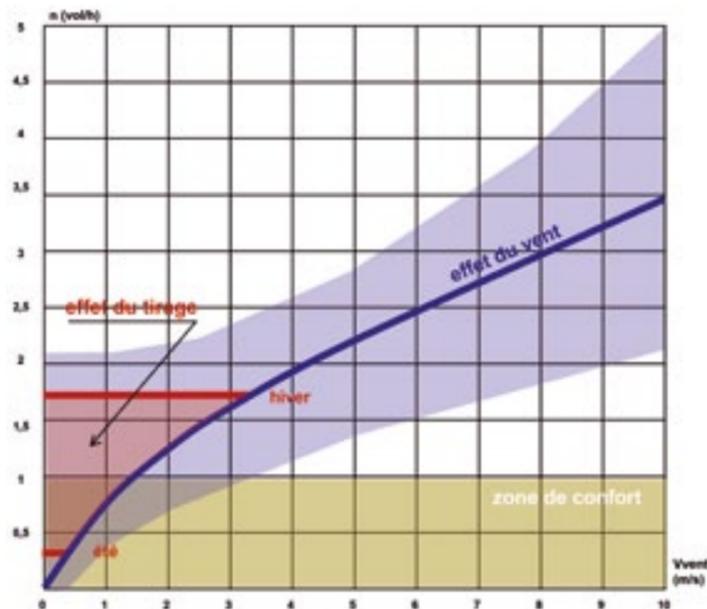
Il s'agit du travail sur la morphologie du bâtiment. Si on raisonne à profondeur de bâtiment constante, une réduction de la profondeur des locaux en façade va augmenter leur éclairage mais, par conséquent, va augmenter la part des locaux aveugles. Dans la plupart des cas, cela se traduit par une réduction globale de l'éclairage moyen tous locaux confondus.

La signature bioclimatique en ventilation naturelle

La température pèse sur les débits de ventilation naturelle par l'effet du tirage thermique. Néanmoins, le vent est sans doute le phénomène climatique déterminant de la ventilation naturelle. Nous choisissons donc comme paramètre climatique la vitesse du vent. Le débit de renouvellement d'air (n en volumes/heure) s'impose comme paramètre représentatif du confort.

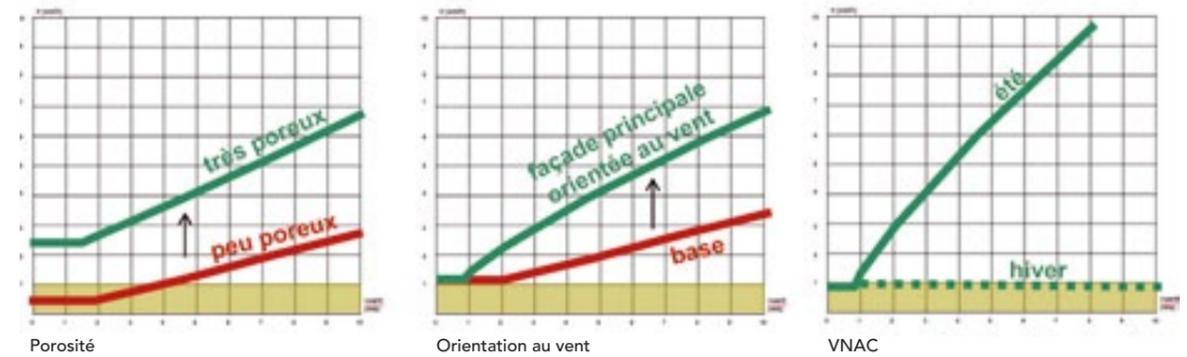
La ventilation naturelle est la composition de deux phénomènes. L'un est lié à la vitesse du vent et produit des effets en termes de débits variant de façon parabolique avec la vitesse du vent. L'autre, liée au tirage thermique, est indépendante du vent et ne dépend que de la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur (et de la différence de hauteur entre l'entrée et la sortie d'air). Ce dernier phénomène est particulièrement important avec des dispositifs à cheminée, mais existe aussi, sans cheminée entre le bas et le haut de la fenêtre.

La signature bioclimatique en ventilation naturelle



La zone de confort est définie par un débit minimum, qui peut être judicieusement fixé en application de la norme EN 13779.

Divers choix de conception lus sur la signature bioclimatique



Les figures ci-dessus illustrent quelques études de sensibilité aux paramètres de conception :

Porosité

Les débits de ventilation sont directement proportionnels aux surfaces ouvrantes entrée et sortie, donc à la porosité. Une amélioration de porosité se traduira donc par une homothétie sur chacune des deux courbes de référence : tirage de base et effet du vent. C'est la première intervention pour amener le fonctionnement du bâtiment en totalité hors de la zone d'inconfort.

Orientation au vent

La rotation d'un bâtiment pour amener sa façade verticale perpendiculaire à la direction du vent va se traduire par une homothétie de la seule courbe des effets du vent. En effet, le tirage thermique ne dépend pas du vent.

VNAC

(Ventilation naturelle assistée et contrôlée). Elle est dimensionnée pour assurer, en période de chauffe, le débit nécessaire même sans vent, sur le seul tirage thermique. Par contre, en été et mi-saison, on laisse filer les débits liés au vent.



Concevoir avec le végétal, la parcelle et le territoire

Le bâtiment frugal n'est pas un objet isolé en soi : il est implanté sur une parcelle, sur un territoire et les relations du bâtiment avec cette parcelle et ce territoire constituent la première marche de la conception. Le bâtiment frugal est souvent implanté en milieu urbain, et il le sera de plus en plus si on veut préserver les espaces ruraux. Or, le milieu urbain se caractérise, entre autres, par le phénomène qu'on appelle « îlot de chaleur urbain » (ICU). La ville minérale stocke de la chaleur en journée et la réémet la nuit. Les usages urbains (trafic, déperditions des bâtiments en hiver, rejets des installations frigorifiques en été...) aggravent encore ce phénomène. L'absence ou la faiblesse des vents le pérennise en l'enfermant dans une sorte de « dôme » thermique virtuel.

L'îlot de chaleur urbain est donc essentiellement un phénomène d'été et même de nuit d'été. Il crée des différences de température entre centre et périphérie urbaine de quelques degrés, qui peuvent dépasser la dizaine dans certaines conditions.

Le premier souci, dans la conception d'un bâtiment frugal, sera de lutter contre ce phénomène

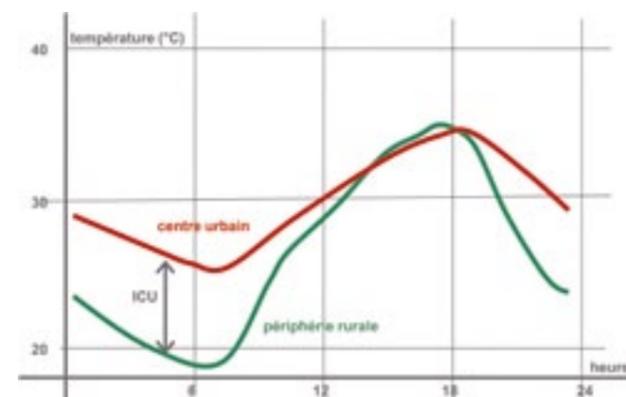
en concevant des îlots de fraîcheur. C'est évidemment à l'échelle du territoire et de l'urbanisme que ce travail est le plus efficace. Mais il ne faut pas négliger, loin de là, les impacts à l'échelle de la parcelle. L'accès aux vents, la morphologie du bâti (par rapport au piégeage du rayonnement solaire), les revêtements de surface (couleur, albedo, émissivité), la présence de l'eau ... sont autant de paramètres impactant sur l'efficacité de cet îlot de fraîcheur.

Mais la végétation est sans doute le paramètre le plus performant et le plus intéressant pour un concepteur. Elle va peser de diverses façons sur la création d'un îlot de fraîcheur :

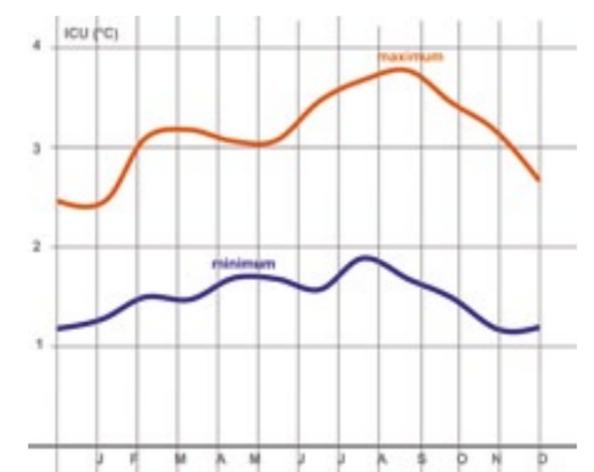
- > par la réalisation d'un bon compromis entre albedo et émissivité qui limite fortement la réémission par les sols et parois végétalisées à environ un tiers du rayonnement incident ;
- > par la création d'ombrages complémentaires¹ au rayonnement solaire, sur le sol et sur les façades ou la toiture ;
- > et surtout par l'évapo-transpiration des feuilles qui, comme tout phénomène d'évaporation (transformation d'eau en vapeur d'eau) s'accompagne d'un rafraîchissement.

Profils de températures liées à l'îlot de chaleur urbain

Températures relevées à Grenoble (été 2007)



Moyennes mensuelles 1971-1980 en région parisienne (étude Cantat)



Prise en compte de l'environnement du bâtiment

1. Il n'est toutefois pas conseillé d'utiliser la végétation, beaucoup trop soumise à des aléas, comme principale protection solaire.

Il faut ensuite utiliser les données mensuelles, car cela permet d'élaborer des stratégies d'hiver et d'été différentes. Pour l'hiver, il est souvent nécessaire de se protéger des vents dominants.

En été et mi-saison, en revanche, le vent peut être utilisé pour améliorer le confort d'été en balayant les apports de chaleur pouvant conduire à des surchauffes et en aidant à stocker dans les parois inertes de la fraîcheur.

Pour créer la différence de pression permettant de faire passer l'air à travers un bâtiment, **deux types de moteurs sont utilisables :**

> **Le tirage thermique :**

$\Delta P = 0,044 \times h \times (t_i - t_e)$ avec

P pression utilisable, en pascals (1Pa = 1 N/m²) ;

h hauteur entre l'entrée d'air en façade et la sortie, si possible en toiture, en m ;

t_i température intérieure, en °C ;

t_e température extérieure, en °C.

> **La pression du vent :**

Constante X Pression dynamique du vent

$P = C \cdot V^2 / 1,63$

Ou $P = C \cdot \frac{1}{2} \rho V^2$

avec ρ masse volumique de l'air, en kg/m³.

La masse volumique du vent ρ est généralement considérée égale à 1,225 kg m⁻³, soit celle de l'air sec à 15°C, sous une pression atmosphérique normale.

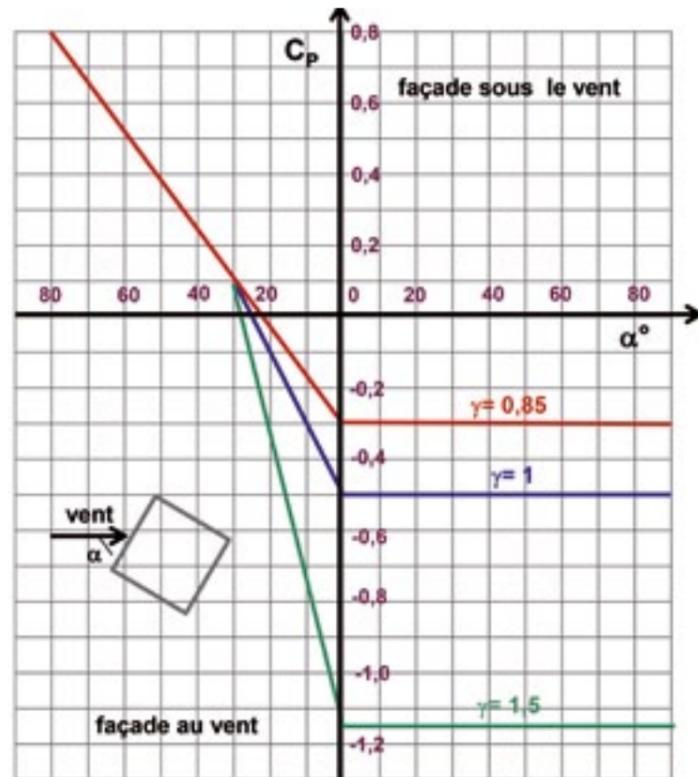
Le coefficient C est déterminé uniquement de façon expérimentale. Il s'agit d'un nombre relatif : lorsque la partie du bâtiment considérée est au vent le coefficient C est positif et, lorsqu'elle est sous le vent, il est négatif.

En site dégagé, la constante C dépend de l'exposition au vent de la façade (α angle du vent et de la façade).

Lorsque le vent ne traverse pas la construction le coefficient C est égal à +0,8 pour la face au vent, si le vent est perpendiculaire à la façade.

Pour les faces sous le vent, il faut faire intervenir un coefficient γ qui tient compte de facteurs aérodynamiques dépendant des proportions, de l'orientation de la construction, de sa forme, notamment de la forme de la toiture. Pour les formes simples, les règles Neige-Vent proposent des diagrammes qui permettent de trouver la valeur de γ en fonction de la longueur du bâtiment, de sa hauteur et de sa largeur, et des abaques pour des types différents de bâtiment.

Exemple d'abaque donnant le coefficient de pression Cp en fonction de l'orientation du vent et de la forme du bâtiment



Source : NV 65

L'abaque ci-contre n'est valable que pour un bâtiment au sol d'emprise carrée. Il n'est qu'approché pour les autres cas de figure. γ est un coefficient de forme. Pour un bâtiment d'emprise carrée, $\gamma=0,85$ correspond à $h=a/4$, $\gamma=1$ à $h=3a$ et $\gamma=1,5$ à $h>10a$. a étant le côté du carré et h la hauteur au faîtiage.

Valeurs de la constante C en fonction de l'orientation du vent

α	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	+15	+30	+45	+60	+75	+90
C	0,8	0,8	0,65	0,4	0	-0,25	-0,4	-0,48	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5

Le tirage thermique est une pression souvent faible par rapport à celle du vent.

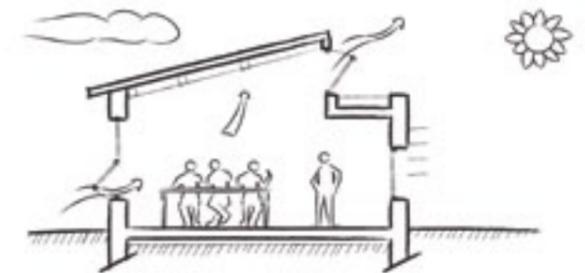
Ces deux pressions peuvent s'annuler :

- > Pour le tirage thermique, ceci arrive quand les températures intérieures et extérieures ont peu de différence. C'est le cas notamment en mi-saison. Pour éviter cet inconvénient, il est possible de s'assurer de pressions plus fortes en posant sur l'orifice de sortie d'air, lorsqu'il est prévu en toiture, une cheminée solaire, un accélérateur statique, une tourelle à vent ou un accélérateur de débit. Ce dispositif métallique s'échauffe au soleil et est mis en mouvement par le vent. Pour garantir un flux d'air, il est possible d'équiper la sortie d'un ventilateur électrique qui ne fonctionne que lorsque la pression n'est pas suffisante. C'est le système connu sous le nom de « ventilation hybride », parfois improprement appelé « ventilation naturelle assistée ».

- > Pour la pression du vent, elle s'annule, bien évidemment, quand il n'y a pas de vent, mais aussi lorsque le coefficient C est nul (direction du vent faisant un angle de 30° par rapport à la façade exposée au vent).

Le vent peut être utilisé pour pousser de l'air frais à travers le bâtiment, pour augmenter la vitesse de l'air intérieur, ce qui permet d'augmenter la zone de confort à des températures intérieures plus élevées (1 m/s => -4°C en ressenti, voir plus haut le diagramme de Givoni) et pour qu'il puisse, en se stockant dans les parois, rafraîchir pendant un certain temps les locaux. Cet effet est plus important si on le combine avec le tirage thermique : la pression du vent augmente l'effet cheminée. Pour s'assurer de toujours utiliser la pression du vent, la sortie d'air permet au vent de tirer l'air sortant par effet cheminée. L'orifice est orienté dans le sens du vent par une girouette.

Exemple de ventilation naturelle par tirage thermique



Exemple de girouettes utilisées pour les logements square Delzieux à Saint-Nazaire – Philippe Madec, architecte





Quelques questions sur le bâtiment frugal

Un certain nombre de principes sont couramment édictés comme les meilleures solutions de bâtiments économes en énergie. Il s'agit ici d'examiner les plus reçus, en s'interrogeant sur leur pertinence.

Le bâtiment frugal est-il forcément très vitré ?

Très solarisé, donc très vitré et fortement orienté vers le sud. Telle est l'image classique du bâtiment frugal. Qu'en est-il en réalité ?

Les diagrammes présentés ci-dessous sont issus de l'étude de plusieurs configurations de maisons individuelles frugales. Ils montrent que :

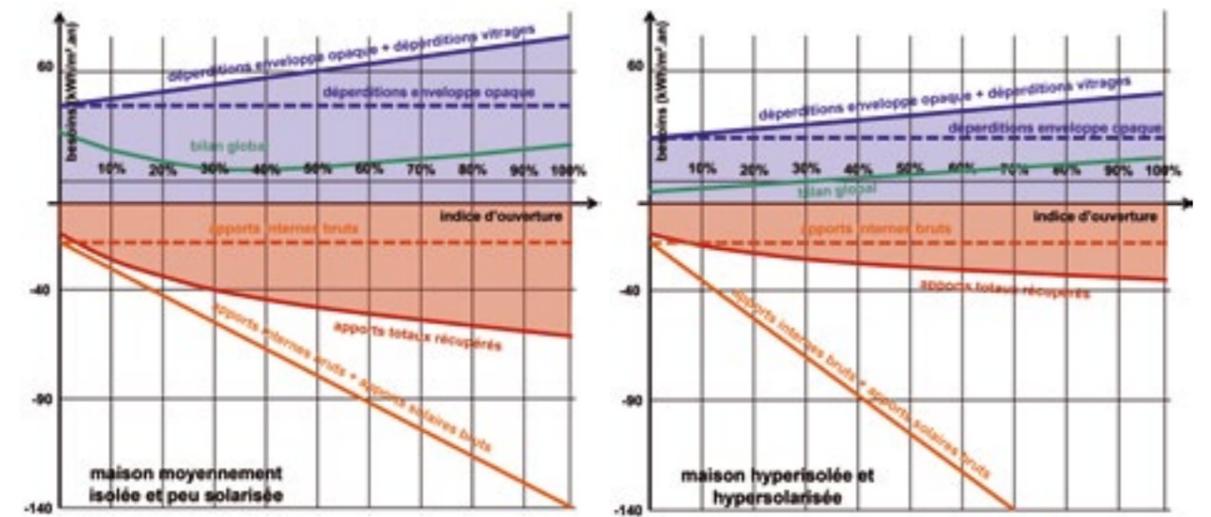
- > sur des bâtiments hyperisolés et quelle que soit la zone, les besoins varient quasi linéairement avec l'indice d'ouverture. Ce sont les déperditions par les vitrages qui l'emportent ;
- > sur des bâtiments à moins faibles besoins (moins isolés ou en ventilation naturelle), il apparaît un optimum qui se situe, pour les cas de figure simulés, entre 0 et 20% d'indice d'ouverture.

Cet optimum est le résultat d'un arbitrage entre les déperditions et les apports récupérés. Sur les bâtiments bioclimatiques des années 1980, peu isolés, cet optimum correspondait à des indices d'ouverture très élevés (bâtiments très vitrés et très solarisés). Puis, une double évolution a profondément modifié le phénomène :

- > D'une part, les déperditions, des vitrages comme des parties opaques, ont fortement baissé devant des besoins bruts très faibles.
- > D'autre part, les apports internes ont sensiblement augmenté avec le développement de l'électroménager et de l'audiovisuel. En même temps, sur les maisons bioclimatiques, une meilleure répartition des vitrages entre orientations également a augmenté les apports solaires.

Logique de la sensibilité des besoins de chauffage à la taille des surfaces vitrées

Source : TRIBU



En ordonnée positive, les déperditions (en bleu), en ordonnée négative les apports (en rouge). Le bilan global (en vert) représente les besoins de chauffage.

Plus les besoins sont faibles et plus les apports sont grands, moins efficace est la récupération des apports. En effet, une part de plus en plus grande de ceux-ci se transforme en surchauffe inutile. Cet effet est mal rendu par certains logiciels de STD qui récupèrent systématiquement la quasi-totalité des apports, ce qui est loin de traduire la réalité.

Les standards de la RT 2005 ou de la RT 2012 ont ramené l'optimum vers des indices d'ouverture de 20 à 25%. La recherche de l'hyper-isolation, de la récupération par double flux et d'une forte solarisation baisse encore la plage de l'optimum (autour de 10%), voire ne fait plus apparaître du tout d'inflexion sur la courbe des besoins. Cette caracté-

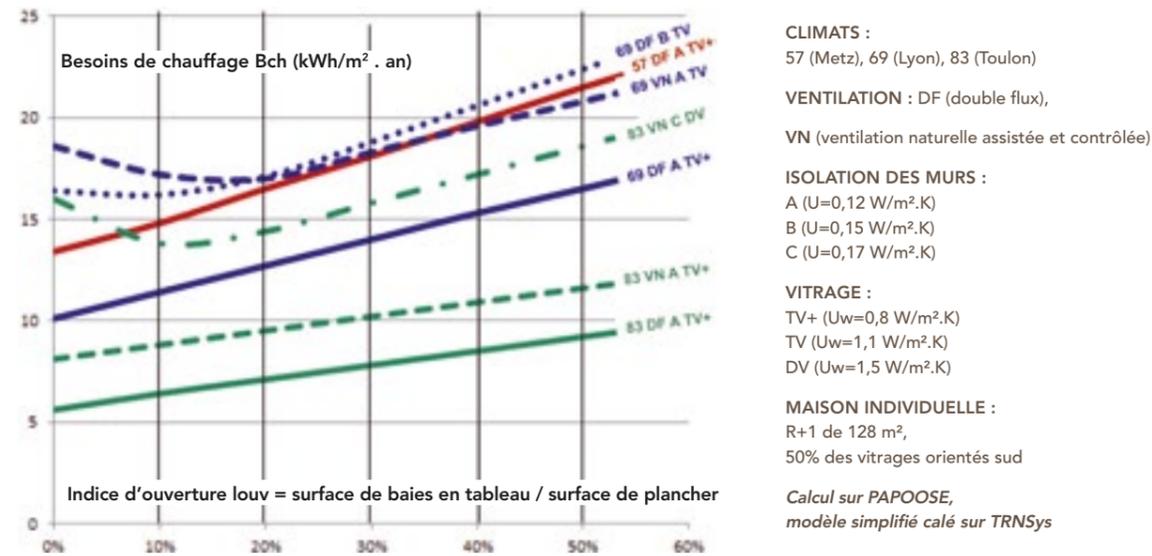
téristique est encore plus repérable dans les régions sud à forts apports solaires.

La figure ci-dessous rend compte de ce phénomène.

Ces simulations montrent que pour les configurations conduisant aux besoins les moins faibles¹, en

ventilation naturelle par exemple, un optimum apparaît à Lyon entre 10 et 20% d'indice d'ouverture. Il n'est plus visible à Toulon. Cet optimum reste visible à Toulon pour des solutions moins isolées et avec double-vitrage mais disparaît avec le triple-vitrage...

Sensibilité des besoins de chauffage à la taille de la surface vitrée pour différentes configurations climatiques et d'isolation



Il est évident que l'on ne peut accepter des indices de vitrages aussi faibles. Ce serait fortement préjudiciable à l'accès à la lumière naturelle et au plaisir de vivre dans cette maison. C'est donc plutôt l'éclairage naturel qui dimensionnera les vitrages d'une maison frugale. La plage d'indice d'ouverture correspondant à un bon éclairage naturel est plutôt autour de 20 à 30%. On notera l'intérêt à situer au plus juste ce besoin en surfaces vitrées car on est dans la zone où toute surface vitrée supplémentaire induit des besoins de chauffage supplémentaires. Une telle modération des surfaces vitrées est, par ailleurs, favorable au confort d'été : au-delà de 30% d'indice d'ouverture, pour une maison très solarisée, même avec de bonnes protections solaires, les risques de surchauffe sont importants.

Ces résultats portent sur une maison individuelle. Ils ne seraient pas les mêmes pour d'autres typologies de bâtiments. Mais les mêmes tendances peuvent être repérées. En résidentiel collectif frugal, beaucoup plus compact, les besoins sont encore plus faibles qu'en individuel et les apports récupérés seront réduits en proportion. D'autant plus

que de tels bâtiments sont souvent situés en milieu urbain où l'accès au soleil est plus difficile. En tertiaire de bureau ou en scolaire, les morphologies peuvent induire des besoins importants mais une part prépondérante de ceux-ci seront couverts par les apports internes et donc la récupération d'apports solaire est moins primordiale.

En résumé, dans un climat à forts apports solaires, et dans les bâtiments dont nous avons autrefois l'habitude, médiocrement isolés, l'importance des besoins sans apports laissait une large marge de manœuvre au potentiel de couverture des besoins par des apports récupérés. C'est beaucoup moins vrai pour des bâtiments très isolés et donc à très faibles besoins.

Dans ces bâtiments médiocrement isolés, la recherche de l'optimum de solarisation pouvait constituer le critère de dimensionnement des surfaces vitrées. Dans des bâtiments très isolés, l'optimum est à un niveau beaucoup trop bas : c'est l'accès à la lumière naturelle qui constituera le critère de dimensionnement.

1. Ce qui ne signifie pas que ce sont forcément les solutions les plus économes. En effet, le poids des consommations d'électricité du double flux peut inverser la hiérarchie des consommations.

Le bâtiment frugal est-il forcément équipé d'une ventilation mécanique double flux ?

Au cours des années 1970, le développement fulgurant des systèmes de ventilation mécanique traduit l'hégémonie d'une foi aveugle dans la technique et d'une culture du tout-contrôle, que seule la VMC semble en mesure de réaliser.

En réalité, il n'en est rien, et de multiples facteurs (défauts de mise en œuvre, difficultés de gestion automatisée, absence d'entretien...) font que le résultat n'est pas toujours à la hauteur des espérances et que, finalement, des systèmes non mécaniques de ventilation ne feraient ni mieux, ni moins bien. Surtout si on les accompagne de dispositifs améliorant l'information de l'utilisateur

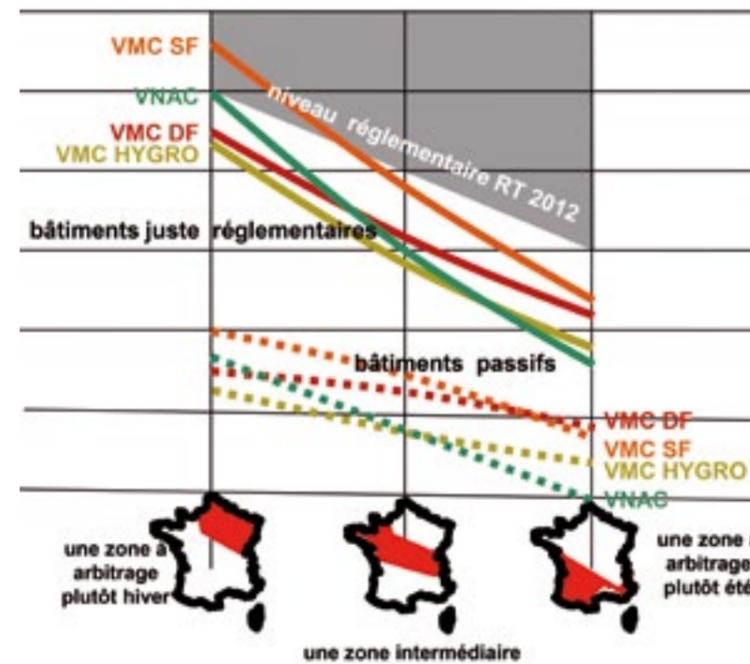
(concentration en CO², débits, consommations en temps réel...). Le bâtiment frugal devrait d'abord se débarrasser de cette culture technique du tout-contrôle.

En hiver

Le double flux avec récupération de chaleur et batterie chaude est un incontournable du standard Passivhaus. Il a un double intérêt : réduire fortement les besoins de chauffage, et éviter une installation spécifique de chauffage en utilisant l'air insufflé comme vecteur caloporteur. C'est même cette dernière fonction qui dimensionne les fameuses 15 kWh/m².an. C'est le choix du double flux qui rend indispensable une très forte étanchéité à l'air de l'enveloppe.

Qu'en est-il dans le contexte hexagonal et sur le double critère de l'énergie et de la qualité de l'air intérieur ?

Comparaison énergétique de plusieurs systèmes de ventilation



Comparaison, pour 3 zones climatiques et 2 niveaux de performance, des consommations cumulées (chauffage + ventilation, en énergie primaire) de 4 systèmes de ventilation.

Source TRIBU

La figure ci-contre résume une comparaison en énergie primaire (consommations de chauffage et de ventilation) entre quatre typologies de ventilation :

- > VMC simple flux autoréglable ;
- > VMC simple flux hygro-réglable B ;
- > VMC double flux ;
- > ventilation naturelle assistée et contrôlée (VNAC)¹.

Pour deux typologies de bâtiments résidentiels :

- > des bâtiments juste réglementaires RT 2012 ;
- > des bâtiments à très basse consommation.

Et dans trois climats (nord, centre et sud).

1. VNAC, ventilation naturelle par tirage thermique avec un dispositif permettant de réguler les débits aux niveaux réglementaires et une assistance naturelle (cheminée solaire, tourelle à vent...) du tirage quand il est insuffisant.

Le double flux est toujours bien placé en climat nord ; il y dispute la place du système le moins énergivore avec l'hygroréglable. Par contre, en climat sud, les gains sur la récupération de chaleur ne parviennent pas à compenser la surconsommation électrique pour les ventilateurs : le double flux est toujours mal placé. Et cet handicap est d'autant plus important que les besoins de chauffage sont plus faibles.

Si on superpose à cette approche purement énergétique un critère sur la qualité de l'air, la ventilation hygroréglable doit être systématiquement écartée pour la trop grande faiblesse des débits de renouvellement d'air (de l'ordre de 0,3 vol/h) qui fait, a contrario, son succès énergétique.

La ventilation mécanique double flux est donc parfaitement adaptée aux climats plutôt froids du nord et la ventilation naturelle aux climats plus chauds du sud et du centre. D'autant plus que le changement climatique à venir va faire remonter vers le nord cette différenciation climatique.

On peut, en outre, se poser la question de la généralisation de fortes étanchéités à l'air des enveloppes. Autant celles-ci sont nécessaires avec une ventilation double flux, autant elles ont moins d'intérêt avec des ventilations simple flux naturelles ou mécaniques.

Comme en été

On peut aussi s'interroger sur l'intérêt de maintenir une ventilation mécanique, double flux ou simple flux, et les consommations de ventilateurs qu'elle induit, en dehors de la saison de chauffe. L'avantage qu'apporte la ventilation mécanique dans la maîtrise des déperditions par renouvellement

d'air n'a plus lieu d'être. Il reste l'avantage d'une ventilation générale et permanente.

Une ventilation naturelle par ouverture des fenêtres est alors la solution simple et efficace, à condition que les pièces humides disposent d'un accès en façade. On économise ainsi la moitié des consommations de ventilation.

De toute façon, une ventilation naturelle, de préférence traversante, par ouverture des fenêtres ou d'orifices en façade, est à prévoir pour la surventilation nocturne de confort d'été. En effet, aucune ventilation mécanique dimensionnée pour un débit d'hiver de 0,5 à 1 vol/h ne permettra d'atteindre la dizaine de vol/h nécessaire pour l'été

Et pour les bâtiments non résidentiels

Sur les bâtiments à fort taux de renouvellement d'air (scolaire, spectacles...), le double flux garde, sans doute, tout son intérêt, en hiver, même pour de faibles besoins et même en climat sud, puisque l'essentiel des déperditions passe par l'air. En été, le double flux, est utile si le bâtiment a une forte inertie et s'il est associé à un puits provençal.

Par contre sur d'autres catégories de bâtiments, comme les bureaux, pour lesquels les taux de renouvellement d'air sont plus proches de ceux du logement, le raisonnement tenu plus haut concernant le logement, reste valable et les ventilations simple flux mécaniques et surtout naturelles gardent tout leur intérêt en zone sud et centre. La ventilation naturelle traversante, par les forts débits de renouvellement d'air qu'elle crée, est le seul système susceptible de réaliser un confort d'été passif, combiné à des dispositifs à très faible consommation énergétique (puits provençal, brasseurs d'air).

en allant du sud au nord de l'Hexagone. Avec un changement climatique très modéré (limité à 2°C), Nice se retrouverait avec l'hiver actuel de Rome, Metz avec celui d'Annecy et une saison de chauffe réduite de plus de un mois. C'est dire que, dès aujourd'hui, l'arbitrage entre les problématiques d'hiver, d'été et de mi-saison ne peut être le même d'un bout à l'autre de l'Hexagone.

Le bâtiment frugal est-il forcément inconfortable en été ?

Le tableau ci-dessous est explicite. La sévérité de la saison de chauffe varie du simple au double

Variation géographique et temporelle de la saison de chauffe (kDH)

	Nice	Lyon	Metz
Normale des kDH calculés en 2010	31	54	71
Avec changement climatique +2°C	20	43	58

Or, les stratégies d'hiver et d'été sont radicalement différentes, souvent contradictoires. Le bâtiment frugal, très faible consommateur en hiver, n'est pourtant pas forcément inconfortable en été...

A condition que les dispositifs choisis pour la stratégie d'hiver ne soient pas figés et puissent laisser place à ceux adaptés à l'été.

Isolation

Une isolation poussée, dictée par les conditions d'hiver, n'est pas préjudiciable en été. Au contraire, si la température intérieure est inférieure à la température extérieure, l'isolation réduit les « aperiptions » (flux de chaleur venant de dehors).

De même, une bonne isolation de la toiture permet de réduire fortement les apports solaires d'été par cette paroi opaque. Certes, une forte isolation piège les apports (internes et solaires) à l'intérieur, mais comme il est facile, en été, d'ouvrir une fenêtre !

Solarisation

C'est, évidemment, un thème sur lequel stratégies d'hiver et d'été sont inconciliables en résidentiel. Il faut laisser rentrer les apports solaires en hiver, les bloquer en été. Un dispositif fait pour réaliser facilement ce grand écart existe : la protection solaire, toujours extérieure et de préférence mobile. Sur un bâtiment frugal, toutes les surfaces vitrées exposées doivent être protégées. Sans oublier qu'une bonne partie du rayonnement solaire est diffus, et qu'une façade nord est toujours exposée au rayonnement direct, en été, le matin et le soir. Sans oublier, non plus, qu'un bâtiment très vitré est aussi beaucoup plus déperditif!

L'arbitrage est bien plus facile à trouver sur les bâtiments frugaux à très forts apports internes (scolaire, bureaux très équipés en informatique, certains bâtiments de process). La solarisation d'hiver y est moins indispensable et les choix peuvent être plus facilement dictés par la stratégie d'été.

Porosité

La porosité (orifices libres à l'air extérieur sur les façades et toitures) est le principal moyen à notre disposition pour traiter le confort d'été de façon passive. En effet, une surventilation permet d'évacuer les surchauffes internes,

voire de rafraîchir la structure du bâtiment et, mieux encore, favorise l'évapotranspiration et le confort d'été par la vitesse de l'air sur la peau. 6% de la surface de plancher d'un local laissé libre à l'air, et de préférence en traversant, est le minimum pour assurer une surventilation nocturne correcte.

Cette porosité naturelle et non contrôlée est contradictoire avec les dogmes hivernaux de la parfaite étanchéité à l'air des façades et de la dévolution aux seuls systèmes mécaniques de l'aération des locaux. Ce n'est pas très grave si ces dispositions sont réversibles en été. Les fenêtres doivent s'ouvrir. Les volets, souvent choisis pleins et étanches pour améliorer les déperditions d'hiver, doivent aussi laisser passer l'air en été, tout en assurant leur fonction d'obscurcissement et de protection anti-intrusion. Mieux encore, les systèmes mécaniques peuvent faire place, en été, à des systèmes naturels ; ce qui implique une ventilation (et donc un éclairage naturel) des pièces humides, donc une nouvelle réflexion sur la conception des cellules.

Inertie

Un bâtiment résidentiel frugal est inerte en hiver sans qu'il ait besoin d'inertie. L'isolation poussée piège les apports (internes, solaires et chauffage) à l'intérieur et les températures d'air évoluent peu. Cela tombe bien car cela permet de valoriser les solutions bois, par ailleurs très intéressantes en termes de maîtrise des ressources épuisables et de GES. Un peu d'inertie (de stockage/déstockage) ne peut qu'améliorer les choses, en particulier en optimisant la récupération des apports.

En été, au contraire, pour ce même bâtiment résidentiel, l'inertie est fortement recommandée. En effet, sous nos climats, s'est développée la stratégie de surventilation nocturne qui permet d'aller chercher la fraîcheur nocturne, presque toujours présente, de la stocker dans la structure (murs, sols, et surtout plafonds) pour la réémettre en journée et, ainsi, rafraîchir l'air intérieur. Cette stratégie nécessite un minimum d'inertie donc de matériau lourd sur les 10 premiers centimètres de parois.

Sur les bâtiments frugaux intermittents, la stratégie est plus complexe. En effet, l'inertie peut légèrement détériorer les performances énergétiques en hiver et même en été si le bâtiment est

1. Voir la question : « Un bâtiment frugal est-il forcément très vitré ? »

climatisé. Mais l'inertie reste indispensable pour un confort d'été passif et un temps, le plus long possible, de fonctionnement passif est toujours à concevoir, même sur des bâtiments et dans des zones climatiques où il faudra recourir, en appoint le plus exceptionnel possible, à la climatisation ou au rafraîchissement. Certains bâtiments¹ poussent à l'extrême cette logique d'inertie et parviennent ainsi à se passer de chauffage, de rafraîchissement actif et de ventilation mécanique.

Une autre forme d'inertie est à manier avec précaution, l'inertie de déphasage que procurent certains matériaux isolants (liège, laine de bois lourde). Déphaser d'une douzaine d'heures la pointe d'apports d'un après-midi d'hiver est intéressant en résidentiel. Mais ça décale d'autant la pointe d'été qui frappera alors en pleine nuit, à un moment où les occupants préféreraient peut-être bénéficier de la fraîcheur nocturne. Par contre, en bâtiment intermittent, ça a l'intérêt de repousser la pointe de charges solaires vers la nuit, à un moment où le bâtiment n'est pas occupé.

Le bâtiment frugal est-il forcément compact ?

Une maison individuelle présente de grandes surfaces déperditives proportionnellement à la surface d'usage. En stratégie d'hiver, la compacité doit être une préoccupation si on veut obtenir de très faibles niveaux de besoins de chauffage. On peut faire la même remarque pour certains bâtiments non résidentiels dont la morphologie est proche de celle de l'individuel (commerce, petit scolaire, petit bureau ...).

La recherche de compacité n'a pas tout à fait la même importance en immeuble résidentiel collec-

Le bâtiment frugal a-t-il forcément recours aux énergies renouvelables ?

Dans le bâtiment frugal, la couverture passive de certains besoins énergétiques (chauffage, rafraîchissement, ventilation, éclairage de jour) est

Techniques à très faible consommation d'énergie

Dans l'hypothèse d'une stratégie d'été de type « base passif et appoint actif », le recours à l'appoint actif peut encore être reculé, voire évité, par la mise en œuvre de certains systèmes techniques très faiblement énergivores.

Un puits provençal, par exemple, profite du stockage intersaisonnier de fraîcheur dans la profondeur du sol pour rafraîchir l'air entrant et la consommation nécessaire de ventilateurs est de l'ordre de 1 kWh/m² pour la seule saison d'été.

Un brasseur d'air plafonnier permet de pallier les aléas de la ventilation naturelle, quand celle-ci est trop faible. La vitesse d'air sur la peau est alors créée par un brasseur d'air mécanique. Celui-ci est généralement pourvu de plusieurs vitesses et certains permettent de créer 1 m/s de vitesse d'air ce qui augmente de l'ordre de 4° la zone de confort d'été. La consommation de brasseurs d'air (densité 1 appareil pour 10 m²) en période d'été est de moins de 1 kWh/m².an.

tif ou en tertiaire de moyenne ou grande hauteur. Par leur morphologie intrinsèque, ces bâtiments sont plutôt compacts et une certaine complexité de façade ou d'épannelage ne changera pas radicalement la question.

Mais attention, quel que soit le type de bâtiment, une trop forte compacité, avec des bâtiments trop profonds, peut être préjudiciable en éclairage naturel, en ventilation naturelle et donc en rafraîchissement naturel. La lumière naturelle, et l'air extérieur ont beaucoup de difficulté à pénétrer en quantité suffisante au-delà de 5 à 6 mètres de profondeur. Faire des logements traversants devient une prouesse sur des bâtiments dont la profondeur dépasse 15 à 16 mètres.

poussée au maximum raisonnable. La plupart du temps, il reste néanmoins un reliquat d'énergie à apporter. Et de toute façon, certains besoins ne peuvent être couverts de façon passive (éclairage de nuit, ECS, autres usages électriques...).

La question de couvrir ces besoins résiduels par des énergies renouvelables se pose et elle est légitime. On n'a que l'embarras du choix pour choi-

sir le meilleur bouquet renouvelable, compte tenu du site et des usages spécifiques à l'opération : solaire thermique pour l'ECS, photovoltaïque ou éolien pour produire de l'électricité, biomasse, biogaz ou huile végétale pure pour produire du chaud¹, recours à la cogénération pour combiner production de chaud et d'électricité² ...

C'est une question de budget. Prioritairement, il vaut mieux consacrer le budget disponible à la bioclimatique de l'enveloppe. C'est un avantage qu'on conservera trente, quarante ans ou plus. Alors que le moindre équipement technique ne dure guère plus qu'une vingtaine d'années. S'il reste des sous, il ne faut pas hésiter à les investir dans des énergies renouvelables. Sinon, ce n'est pas grave, on pourra faire ces travaux dans quelques années quand on aura reconstitué les fonds. Mais au moins, on le fera avec une enveloppe performante.

Mais, en réalité, la production de renouvelables au niveau du bâtiment ne marche bien que quand des conditions avantageuses de rachat par le réseau viennent compenser le surcoût de la production. La production en autoconsommation pose, dans le contexte actuel, de nombreux problèmes. La production est rarement cohérente avec les besoins, soit dans le temps (production photovoltaïque de jour, besoins étalés sur jour et surtout nuit en logement), soit en quantité (surface libre pour les panneaux PV souvent inférieure aux besoins) et les techniques de stockage propre ne sont pas encore au point. Pour ce qui est des biocombustibles, le stockage n'est pas toujours réalisable sur la parcelle et l'approvisionnement parfois difficile. Les techniques de filtrage des fumées pour le bois sont économiquement mal adaptées à de petites opérations... Le bâtiment n'est vraiment pas la bonne échelle pour optimiser production renouvelable et consommation, sauf pour la production d'eau chaude sanitaire solaire qui se justifie à l'échelle du bâtiment.

La bonne échelle est une portion de territoire, de l'îlot au quartier, sur laquelle production et consommation peuvent être mutualisées. Des bâtiments gros producteurs (par exemple à grande

surface de toiture) fournissent pour des bâtiments gros consommateurs et à moins grande capacité de production. Si le territoire accueille une mixité de fonctions, et de sources d'énergies, le foisonnement des besoins des différentes typologies de bâtiments sur la journée répond à un foisonnement de la production. Mais même dans ces conditions, un stockage quotidien, voire hebdomadaire ou même saisonnier, est nécessaire. Heureusement, l'effet d'échelle amortit l'impact économique de ce stockage, comme il amortit les dispositifs les plus efficaces de contrôle de la qualité des émissions.

Le stockage de chaleur est réalisé par des ballons de plus ou moins grande taille, ou encore dans le sol, dans les nappes ou en utilisant des matériaux à changement de phase. Si on dépasse les batteries plus ou moins performantes, le stockage de l'électricité fait appel à deux techniques : méthane ou hydrogène. En période de production surabondante, l'électricité est transformée en hydrogène par électrolyse, puis éventuellement en méthane par méthanation¹. Ceux-ci sont stockés sous pression. En période de faible production électrique, l'hydrogène peut alimenter une pile à combustible et le méthane un cogénérateur pour produire, dans les deux cas, de l'électricité et du chaud.

Deux types de réseaux permettent de relier, à l'instant t, bâtiments producteurs, bâtiments consommateurs et dispositifs de stockage. Ils permettent aussi de réguler l'offre et la demande. Ce sont les réseaux, dits « intelligents », électricité ou gaz. À moyen terme, le réseau national électrique sera alimenté en électricité renouvelable, par cette production très décentralisée qui complétera les barrages et les champs photovoltaïques, éoliens ou hydroliens qui ne manqueront pas de se mettre en place. Du côté des réseaux gaz, le méthane, résidu du stockage décentralisé ou centralisé de l'électricité, complété par du biogaz produit par méthanisation à partir de déchets agricoles ou urbains, devrait à terme remplacer le gaz naturel.

Dans ce schéma, la tâche impartie à notre bâtiment frugal serait de réduire ses besoins au strict minimum possible et de servir de support à une pro-

1. L'immeuble 2226, bureau de l'agence Baumschlager et Eberle à Lustenau, en Autriche, bénéficie de l'inertie de 70 cm de murs.

1. À condition de bien maîtriser la distance du lieu de production, les conditions d'exploitation de la ressource et la non-concurrence avec des cultures vivrières.

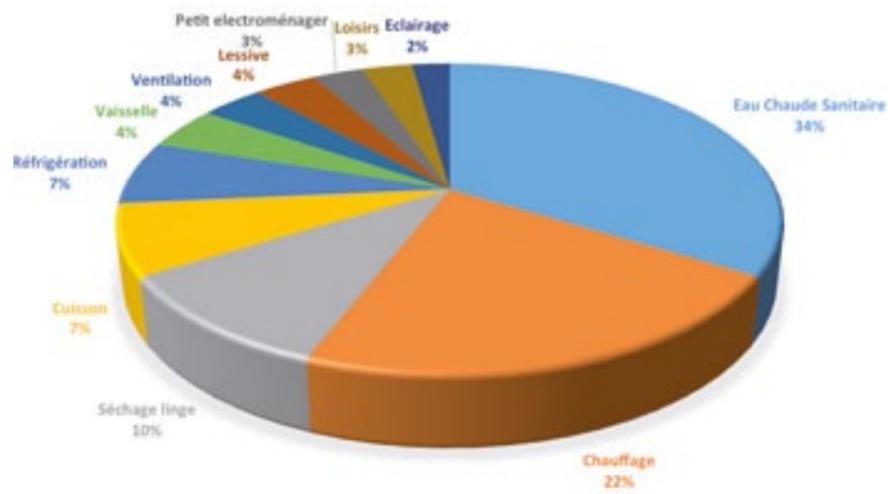
2. Nous n'avons pas inclus dans cette liste la géothermie de surface, sur nappe ou pieux de tubes enterrés, associée à une pompe à chaleur. En effet, seule l'énergie retirée du sol peut être considérée comme renouvelable (à condition que le cycle régénère l'état du sol d'une saison à l'autre). Le recours obligatoire à une pompe à chaleur, la plupart du temps électrique, induit une consommation électrique de l'ordre du tiers des besoins qui efface, en énergie primaire, les avantages retirés de la terre.

duction renouvelable. Nous, concepteurs, savons faire des bâtiments à très faible consommation. Les fournisseurs d'énergie et de services urbains savent faire, réguler et gérer des réseaux. Nos bâtiments frugaux sont plutôt low-tech et n'ont pas besoin

d'être très intelligents : ils bénéficient de l'intelligence de leurs habitants et n'ont guère nécessité de domotique gadget. Par contre, les réseaux ont besoin d'intelligence : ça tombe bien, les fournisseurs de services urbains savent en fabriquer.

Comment limiter les consommations d'ECS ?

Répartition par usages des besoins énergétiques d'un logement (passif)



Typologie Logement
Taux d'occupation (m²/pers.) 30
Taux de ventilation (m³/h.pers.) 30

	Besoins		Fréquence
	kWh/20j	kWh/ann.	
Eau Chaude Sanitaire	23,0	690	365
Chauffage	15,0	450	205
Séchage linge	7,0	210	365
Cuisson	5,0	150	365
Réfrigération	4,5	135	365
Valiselle	3,0	90	365
Ventilation	2,5	75	365
Lessive	2,5	75	365
Petit électroménager	2,0	60	365
Loisirs	2,0	60	365
Eclairage	1,5	45	365

TOTAL

Dont "réglementaire"	42,0	62%
Dont "domestique"	26,0	38%

Il est intéressant de ramener les besoins énergétiques à la personne, soit un ratio d'environ 2000 kWh/personne.an :

> l'eau chaude sanitaire est un besoin permanent qui représente plus du tiers du besoin total ;

> le chauffage est un besoin saisonnier qui représente moins du quart du besoin total.

Source : SYMOE

Le choix du système de production d'ECS devient l'enjeu principal, celui du chauffage secondaire. Ces systèmes peuvent-ils être mutualisés ? Oui,

dans une logique économique, plutôt non dans une logique d'optimisation des rendements des systèmes.

Comment produire de l'ECS de manière optimale ? En réinventant l'eau tiède !

En effet, il faut :

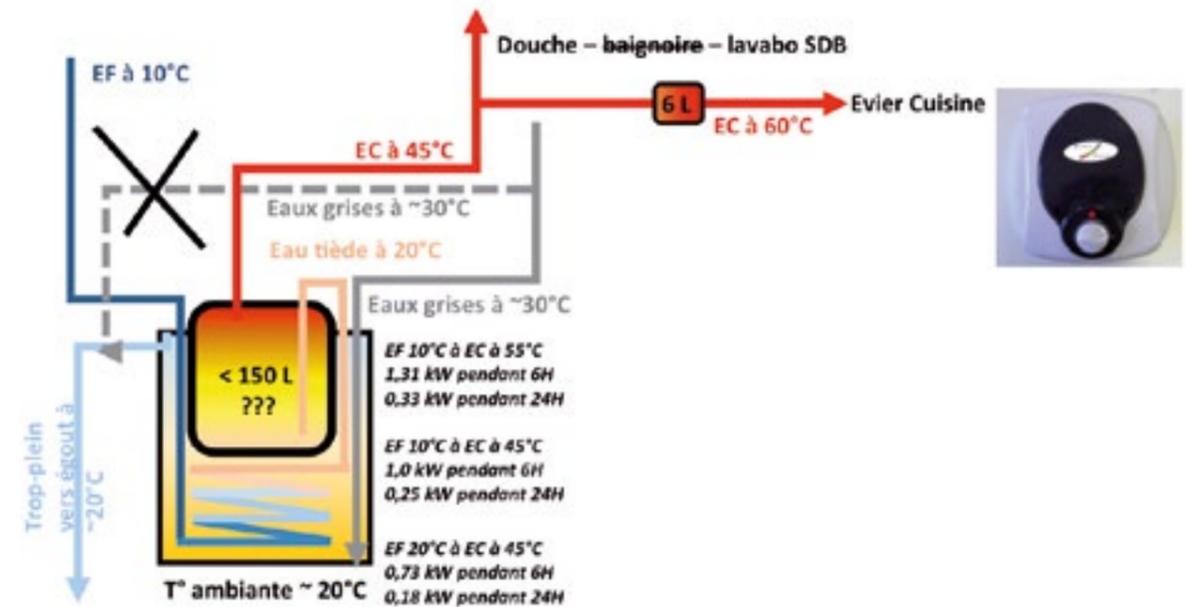
- > Réduire le volume d'ECS stocké au strict minimum nécessaire.
- > Réduire la température et, si besoin, ajouter une mini-production (6 l) décentralisée à 60°C en cuisine.

> Récupérer la chaleur des eaux grises (salle de bains à l'étage) pour préchauffer l'eau froide du réseau (résoudre le problème de simultanéité et d'efficacité de l'échange par un volume tampon) et/ou pour réduire les déperditions du ballon (environ moins 25%). C'est le principe du bain-marie (tank in tank).

La combinaison des trois solutions ci-dessus permettrait de réduire de 40% la puissance nécessaire et donc les consommations. Quant à la baignoire, c'est un non-sens thermique et écologique.

Optimiser la production d'ECS

Source : SYMOE



En utilisant des systèmes performants :

- > récupérateur de chaleur pour douche ou récupérateur de chaleur sur les eaux usées de la douche (si le bâtiment a au moins 1 étage) ;
- > récupérateur de chaleur sur tout ou partie des eaux grises (eaux usées) ;
- > production solaire de l'eau chaude sanitaire à l'aide de systèmes bien adaptés ;
- > production d'eau chaude sanitaire à l'aide de pompes à chaleur sur l'air rejeté/eau, sur le sol ou sur un captage solaire par panneaux.



Vivre dans un bâtiment frugal

Usage et gestion

Hiver comme été, l'usage d'un bâtiment frugal peut être simple mais avec des procédures très différentes d'une saison à l'autre.

En hiver, avec une VMC double flux, celle-ci fait tout et gère la régulation centrale du chauffage (sur l'air). Une régulation par pièce est inutile dans un tel bâtiment. Il ne reste à faire par l'utilisateur que la fermeture éventuelle des volets pour la nuit ou le déploiement d'un rideau intérieur pour limiter l'effet de paroi froide par très grand

froid. En ventilation naturelle non automatisée, l'utilisateur aura à maîtriser la gestion des ouvrants pour trouver le bon arbitrage entre qualité de l'air intérieur et énergie.

En été, ce n'est guère plus compliqué. En journée, les protections solaires doivent être en place et les ouvrants fermés ou juste entrouverts pour assurer une ventilation hygiénique permanente (celle correspondant aux polluants du bâti). Dès que le soleil disparaît et que la température extérieure fraîchit, tout doit être ouvert pour une sur-ventilation nocturne efficace.

Un bâtiment frugal est-il sensible à l'usage ?

Oui

Comme tout bâtiment, une construction passive est forcément sensible au comportement des utilisateurs et à l'usage qu'ils en font. Une très mauvaise gestion des protections solaires et de la ventilation en été confirmera l'idée reçue « les bâtiments frugaux sont inconfortables en été », une ouverture des fenêtres en continu l'hiver ne permettra pas d'atteindre une consommation de chauffage quasi nulle. Frugal ou pas, ces affirmations se vérifieront souvent dans de tels cas extrêmes, indépendamment de la qualité du bâtiment.

Mais

Un bâtiment frugal inerte disposera d'une certaine résilience permettant de limiter les effets rebonds et impacts des « choix » des utilisateurs. La bonne valorisation des apports et une très bonne isolation seront valorisables quel que soit l'usage fait du bâtiment. Que ce soit dans le cadre d'un bâtiment tertiaire ou de logements, la réalité physique est qu'une déperdition reste une déperdition.

Une personne souhaitant chauffer un logement énergivore à 21°C plutôt que 20°C risque de subir une augmentation de consommation de l'ordre

de 25 kWh/m².an. Dans un bâtiment frugal, l'écart sera seulement de l'ordre de 2 kWh/m².an !

Un bâtiment frugal est initialement conçu pour avoir un besoin de chaleur en chauffage extrêmement faible en région froide. Si au final il se trouve qu'au cours de sa vie l'usage change radicalement, la densité d'apports internes se trouvera grandement modifiée. En revanche le besoin de chaleur réel devrait rester dans une fourchette très performante, entre 5 et 25 kWh/m².an.

Le tableau ci-dessous résume les besoins de chauffage évalués à l'aide d'une simulation thermique dynamique sur deux bâtiments à forte inertie en région parisienne, dont le niveau d'isolation est celui d'un bâtiment frugal, et équipé d'une ventilation double flux extrêmement performante. La situation de base correspond à un chauffage constant à 20°C, une densité d'occupation « classique », et un débit de ventilation « réglementaire ».

Les besoins de chaleurs évoluent énormément en relatif (+/- 30% en logement et +/- 80% en tertiaire), mais ces variations restent en absolu très faibles, de l'ordre de quelques kWh/m².an.

Au final, non

Pour un usage donné, même en changeant les conditions d'occupation (densité, température de

Sensibilité des besoins énergétiques d'un bâtiment frugal aux dérives de certains paramètres

Besoin de chaleur*	Base	Densité *2	Densité /2	Consigne + 1°	Débit *1.5
Logements	10	7	12	11	10.5
Bureaux	10	2	18	12.5	12.5

*kwh/m²shab.an

consigne...) les performances d'un bâtiment frugal seront relativement stables en ce qui concerne le confort et les consommations hivernales. Un point bloquant pourra être le dimensionnement de la centrale de ventilation double flux qui ne pourra

augmenter ou baisser son débit que dans une certaine plage. En été, le confort pourra être assuré à condition de détenir des dispositifs de ventilation naturelle permettant d'assurer des débits à la hauteur du taux d'occupation et des apports internes.

Peut-on se passer de chauffage dans un bâtiment frugal ?

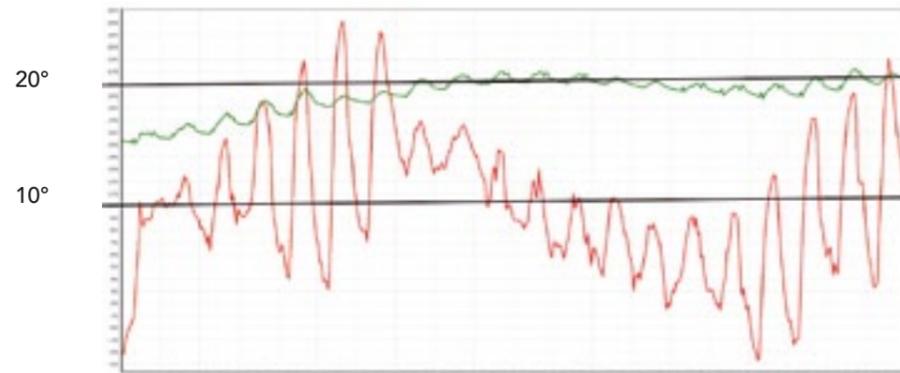
Si isolé soit-il et bénéficiant d'apports internes et solaires, un bâtiment ne pourra jamais garantir une température de 19 ou 20°C tout l'hiver. Une occupation prolongée ou un manque d'ensoleillement lors d'une période très froide entraînera inéluctablement une chute en température. Les températures au sein du bâtiment dépendront énormément du climat, des apports internes et so-

laires et de ses horaires d'occupation. La courbe suivante illustre les évolutions libres de la température dans un immeuble de bureaux occupé par 1 personne pour 10 m², à Nancy ou Trappes en mars.

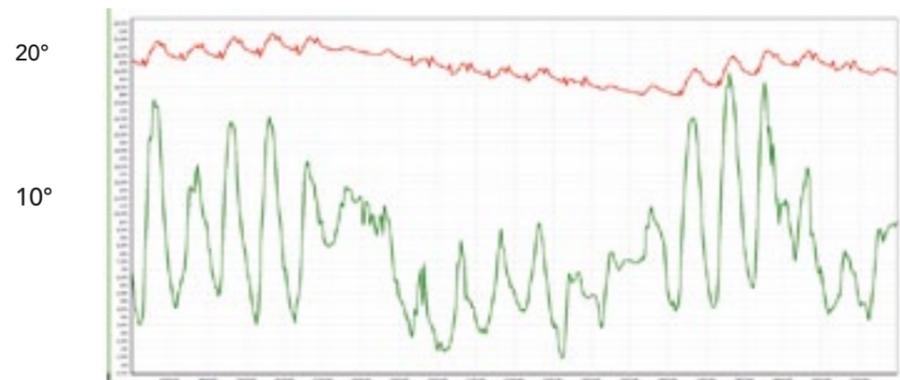
On observe que pour une température extérieure négative à Nancy, la température ressentie est de l'ordre de 15°C dans les bureaux. Cette température peut paraître difficilement acceptable dans le cadre d'un travail de bureau assis.

En revanche, dans le climat de Trappes, cette température limite La température minimale ressentie, au cœur de l'hiver, est supérieure à 18°C, c'est-à-

Évolution libre des températures intérieures dans un bureau frugal



Météo de Nancy



Météo de Trappes

Source : SYMOE

dire très proche de la zone de températures intérieures ne nécessitant pas de chauffage.

Mais la question de l'homogénéité des températures est aussi au cœur de la problématique. Alors qu'un plateau de bureau orienté au sud et bénéficiant d'apports solaires pourra maintenir une température agréable, son homologue orienté plein nord aura forcément une température inférieure de quelques degrés. Le problème est le même entre plusieurs logements d'un immeuble collectif, et même entre les différentes pièces d'une maison. Le choix de ne pas équiper le bâtiment de chauf-

fage, sans entrer dans des considérations légales, semble difficilement justifiable à Nancy. Par contre, il peut se poser à Trappes et, à plus forte raison, dans d'autres climats plus cléments.

En revanche, on peut s'interroger sur l'utilité de chauffer l'intégralité des pièces d'un bâtiment à 19°C ou 20°C, et limiter la mise en place d'émetteurs à certaines pièces. Dans la mesure où ceux-ci sont peu sollicités, il peut être envisagé qu'ils soient de type électrique, afin de limiter le coût d'investissement et d'exploitation et de justifier un investissement supplémentaire dans l'enveloppe.

Un bâtiment frugal est-il adapté à de longues périodes d'inoccupation

(Vacances, utilisation exclusivement le week-end...)?

Si l'on part du principe qu'un bâtiment frugal doit disposer de beaucoup d'inertie (afin de valoriser les apports gratuits), alors non, un tel bâtiment n'est pas adapté à des intermittences répétées de longue durée. L'inertie va considérablement augmenter le temps de montée en température du bâtiment ainsi que la puissance de relance de l'installation de chauffage. En découlent une surconsommation énergétique (le bâtiment va rester chaud longtemps même après le départ des utilisateurs alors qu'il n'est pas nécessaire de maintenir cette température), ainsi qu'un surinvestissement du poste génération de chaleur (plus grosse

puissance de la chaudière ou PAC, émetteurs plus nombreux, coût de l'abonnement énergétique potentiellement plus élevé).

L'objectif pour obtenir un bâtiment faiblement consommateur dans ce cas est donc d'avoir peu d'inertie pour que celui-ci soit très réactif. Il peut en revanche bénéficier des niveaux d'isolation et d'étanchéité à l'air d'un bâtiment frugal, mais l'utilité peut être alors contestable à la vue du taux d'utilisation. La consommation à l'exploitation étant relativement faible, il s'avère alors d'autant plus important de s'intéresser au contenu en énergie grise de la construction, dont la proportion va être démesurée par rapport à l'énergie d'exploitation. En termes de « cout énergétique global », il peut apparaître qu'il vaut mieux isoler un peu moins, et avec des produits à faible énergie grise, que de chercher des hautes résistances thermiques synonymes de fort volume d'isolant, ou d'isolant à base de matière plastique énergivore.

Est-il judicieux de mettre des réduits de température lors de l'inoccupation dans un bâtiment frugal ?

Lorsque le bâtiment a une forte durée d'occupation (logement, bureaux...), il apparaît qu'il est peu utile de mettre en place un dispositif de réduit (nuit, week-end...). En effet, le bâtiment est si bien isolé que le gain en consommation d'un tel dispositif sera marginal (de l'ordre de quelques

pourcentages d'une consommation déjà extrêmement faible). En revanche, les puissances appelées pour remettre le bâtiment à la température de consigne d'occupation vont considérablement augmenter, et de ce fait nécessiter la mise en place d'une installation plus coûteuse. De même la puissance souscrite au fournisseur pourra être diminuée entraînant une baisse parfois significative du prix d'abonnement.

Le gain énergétique et financier global d'un réduit dans un bâtiment frugal n'est pas assuré et sa mise en place ne sera donc plus aussi systématique que

par le passé. De manière générale, on pourra prendre comme hypothèse pour un bâtiment frugal une température de consigne constante, et

ne mettre en place un réduit que suite à une justification précise des gains énergétique et financier associés.

La surisolation augmente-t-elle le phénomène de surchauffe ?

On entend souvent qu'un bâtiment frugal est un bâtiment « thermos », inconfortable en été et que la surisolation est en partie responsable de cet inconfort.

Or, dans le cas où il fait plus chaud dehors que dedans, la surisolation aura toujours un impact positif sur le confort puisqu'elle empêchera la chaleur de pénétrer dans le bâtiment par les murs et les menuiseries. De même le double flux permettra de légèrement refroidir l'air neuf entrant, et donc de limiter l'apport de chaleur par la ventilation.

S'il se met à faire plus chaud à l'intérieur qu'à l'extérieur, le flux thermique s'inverse dans le mur et on accuse la surisolation de « piéger la chaleur » et d'augmenter la température intérieure. Or, l'impact de l'épaisseur est anecdotique sur la surchauffe à la vue d'autres paramètres (apports internes et solaires, taux de ventilation) et pratiquement similaire entre un

bâtiment RT2012 et frugal. Pour une température intérieure de 28°C et extérieure de 25°C, 1 m² de mur isolé au niveau RT2012 ayant un coefficient U=0.25 W/m².K va permettre de dissiper la chaleur vers l'extérieur à hauteur de 0.75 W. Un mur passif avec un U=0.15 W/m².K ne dissipera plus que 0.45 W. Cela a beau être 30% de moins qu'un mur RT2012, cette valeur reste infime et ne permet pas au bâtiment d'être rapidement en équilibre thermique avec l'extérieur. De plus, cette analyse trop simpliste se limite à considérer un U statique et n'intègre pas l'effet de l'inertie, qui modifiera l'influence de l'isolation en fonction de sa position. Dans tous les cas, ne comptez pas sur les murs pour dissiper vos apports métaboliques et la chaleur des ordinateurs ! Seul un fort taux de ventilation permettra de dissiper ces calories excédentaires et d'atteindre rapidement une température intérieure égale à celle extérieure.

Les bâtiments sont donc tous logés à la même enseigne face aux surchauffes, qu'ils soient peu ou très isolés. La gestion des surchauffes est avant tout histoire de limitation des apports (solaires et internes), de fort taux de ventilation et d'une utilisation adéquate de l'inertie.

Et l'énergie grise ?

Au moment où l'on veut réduire les consommations énergétiques des bâtiments, il devient nécessaire de se préoccuper de celles que le bâtiment lui-même a mobilisées.

L'ICEB a défini l'énergie grise d'un bâtiment comme la somme des énergies grises des matériaux et équipements qui le composent. Il s'agit des énergies qui ont été nécessaires à leur fabrication. On parle aussi d'« énergies incluses » ou « embarquées ».

À cette somme on ajoute :

> l'énergie nécessaire au déplacement de ces

matériaux et équipements entre l'usine et le chantier ;

> la consommation d'énergie du chantier ; les énergies grises liées au renouvellement des matériaux et des équipements d'une durée de vie inférieure à celle du bâtiment, y compris les peintures nécessaires ;

> l'énergie nécessaire à la déconstruction de l'ouvrage.

Elle ne comprend pas l'entretien, c'est-à-dire, le nettoyage et les petites réparations.

Ainsi, pour un immeuble de 54 logements (SHON = 3896 m² - SHAB = 3520 m²), soumis à la RT 2005, proposé pour un concours, sur un terrain situé à Brétigny (91), les consommations en énergie primaire étaient de 32,03 kWh/m²SHON.an, dont :

- > Chauffage 8,08 kWh/m².an
- > ECS..... 6,85 kWh/m².an
- > Éclairage 6,76 kWh/m².an
- > Ventilation..... 8,25 kWh/m².an (avec double flux)
- > Éclairage ext. 0,34 kWh/m².an (avec système de gestion)
- > Services généraux..... 1,75 kWh/m².an (dont Luminos).

Et l'évaluation que nous avons faite de l'énergie grise, mise dans la construction du bâtiment, était de 5 413 941 kWh soit 1390 kWh/m²SHON.

Cette consommation d'énergie était déjà équivalente aux consommations énergétiques prises en compte par la réglementation durant plus de quarante-trois ans.

Le bâtiment était prévu avec une structure refend et dalles en béton, pour avoir de l'inertie et une enveloppe à structure en bois avec 30 cm de laine de bois. Les fenêtres ont des menuiseries en bois et des triples-vitrages.

Il faut noter, au passage, que les autres consommations d'énergie devraient aussi être surveillées. Ici, ces consommations en énergie primaire, avec des équipements très performants, étaient de 55,98 kWh/m².an, dont :

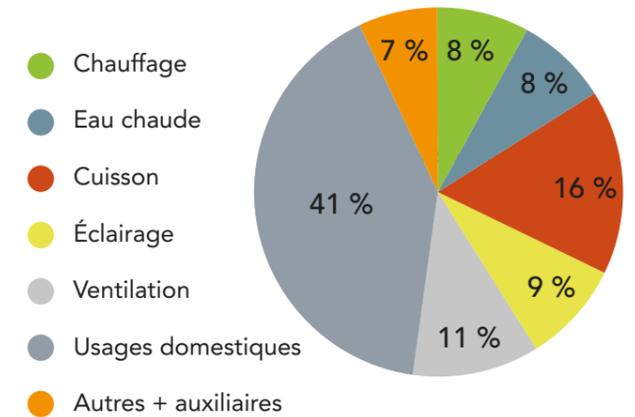
- > ECS électroménager..... 1,22 kWh/m².an
- > Cuisson 14,63 kWh/m².an

- > Elec spécifique 36,36 kWh/m².an
- > Ascenseur 3,67 kWh/m².an.

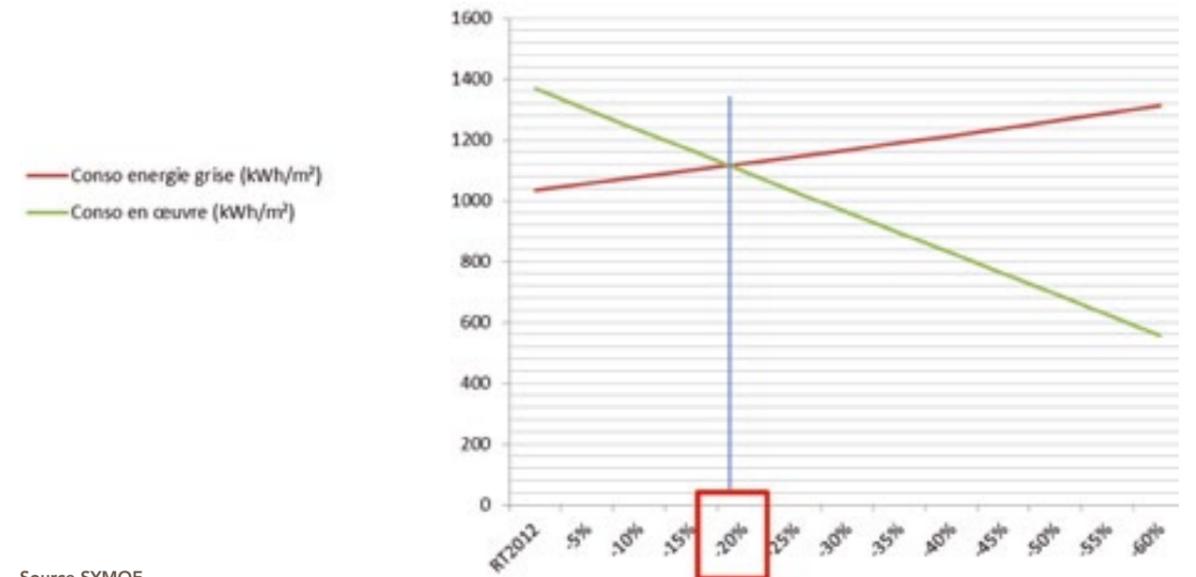
Cela ramène l'énergie grise à l'équivalent de la quantité totale d'énergie consommée dans le bâtiment pendant seize ans.

Le bureau d'études SYMOE a montré que pour une construction en RT2012 standard, l'impact des consommations est toujours prépondérant (par rapport à l'énergie grise), mais que dès que le niveau RT2012 -20% est atteint, l'impact de la construction devient prépondérant.

Répartition des consommations en utilisation (en énergie primaire)



Évolutions comparées de l'énergie en usage et de l'énergie grise en fonction de la performance énergétique



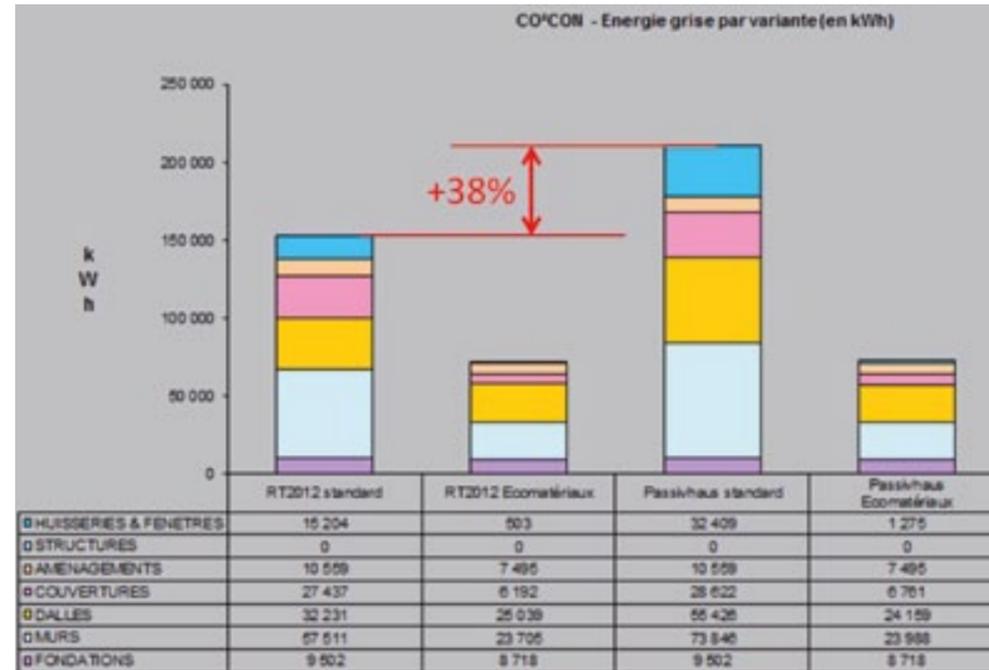
Source SYMOE

Ceci est d'autant plus important que l'énergie embarquée dans les bâtiments économes en énergie peut être plus forte, ne serait-ce que parce que ces bâtiments ont une isolation thermique renforcée.

Ainsi pour la maison, présentée en annexe, étudiée par SYMOE et construite près de Lille, une étude comparative qui montre le risque d'augmentation

de l'énergie grise lorsqu'on cherche à limiter les consommations énergétiques du bâtiment. Ici, plus de 38 % d'augmentation avec des matériaux classiques, alors qu'en surveillant l'énergie embarquée par les matériaux, SYMOE est arrivé à faire baisser, pour cette maison, l'énergie grise à 39,3 % de l'énergie grise nécessaire pour cette construction économe, en utilisant des matériaux courants.

Comparaison des énergies grises selon la performance et le soin accordé au choix des matériaux



Source SYMOE

L'énergie grise des matériaux et des ouvrages a fait l'objet d'un guide de 130 pages réalisé par l'ICEB et édité par l'Arene Île-de-France et nous recommandons de s'y reporter.



Conclusion

Dans ce document, nous avons abordé le concept de bâtiment frugal sous différents angles. Dans un premier temps, nous avons repéré qu'il était lié à un certain nombre de choix stratégiques de conception, le bioclimatique d'abord, le niveau d'isolation, le système de ventilation, le confort d'été. Nous avons détaillé quelques questions peu ou mal traitées habituellement, comme le traitement de la parcelle ou la conception avec le vent. Nous avons proposé une méthodologie, la signature bioclimatique.

Puis nous avons essayé de cerner ce concept par la négative, par ce qu'il n'était pas. Et sur bien des questions, nous avons apporté des réponses de Normands car le bâtiment frugal est tout sauf un standard unique, il est le résultat de multiples arbitrages donc forcément ni tout à fait ceci, ni complètement cela, selon les contextes.

Au terme de ce travail, il nous faut bien cesser de tourner autour du pot et répondre positivement à la question : qu'est-ce qu'un bâtiment frugal ?

N'attendez pas la définition d'un standard frugal, comme il existe un standard passif, un standard BBC, un standard HQE. Tous ces standards ont donné lieu à des référentiels dont une des conséquences a été de normaliser le bâtiment du nord au sud de l'Hexagone, du rural à l'urbain... Nous choisissons plutôt de définir trois caractéristiques fondamentales du bâtiment frugal.

Un bâtiment inscrit dans une vraie stratégie dans son territoire

Une contextualisation climatique

Cela paraît couler de source quand il s'agit d'une conception bioclimatique, qui va, évidemment, puiser ses ressources dans le soleil, le vent, la pluie là où on le construit et pas ailleurs. Tout le monde parle de contextualisation et pourtant, de nombreuses techniques échappent à cette contextualisation : par exemple, ventilation mécanique hygro-réglable et hyperétanchéité à l'air des façades du nord au sud, à Metz comme à Marseille.

Le bâtiment frugal va donc prioritairement puiser dans son environnement climatique les ressources qui lui sont nécessaires pour fonctionner. Il pousse ainsi l'approche bioclimatique le plus loin possible, évidemment dans une vision holistique qui prend en compte l'ensemble des préoccupations.

- > l'objectif d'un rafraîchissement entièrement passif est réaliste dans la plupart des cas ;
- > celui du chauffage 100% passif est plus difficile, inatteignable dans certaines zones climatiques, réalisables dans les zones sud ;

- > celui de la ventilation entièrement naturelle n'a comme obstacle que le surcroît de consommation (chauffage + ventilation) qu'elle induit dans certains cas de figure ;
- > celui de l'éclairage naturel peut être atteint à 100% sur les périodes diurnes.

On peut reprocher à cette approche du bâtiment frugal de rester qualitative, et donc incantatoire. Le paragraphe ci-dessus donne bien des objectifs quantifiés de consommation énergétique.

Par exemple, pour un logement, 0 en besoins de clim, 0 en besoins de ventilation, 3 à 4 kWh/m².an pour l'éclairage et, pour les besoins de chauffage (en kWh/m²SdP.an), un objectif que pourrait résumer le tableau ci-dessous :

Besoins de chauffage (kWh/m².an) atteignables selon le poids attribué au chauffage dans les arbitrages pour un bâtiment frugal

	faible	moyen	fort
Nord-Est	15	12	8
Centre-Alpes	13	10	5
Manche-Atlantique	11	8	3
Méditerranée	8	6	2

Un bâtiment durable dans un territoire durable

Mais l'ancrage dans le territoire du bâtiment frugal va bien au-delà de la contextualisation bioclimatique. Utiliser les ressources énergétiques du territoire, le bois, la biomasse, les biogaz des déchets agricoles... Avoir largement recours aux matériaux, techniques et savoir-faire locaux : la construction bois dans certaines régions, la terre crue sous

Un bâtiment adapté au contexte futur

Ce contexte futur, nous le connaissons : dérèglement climatique, raréfaction des énergies et autres ressources fossiles, croissance en baisse et inégalités en hausse...

Nous en connaissons même l'horizon : 2050. Or, 2050, c'est demain, trente-cinq ans, une génération : un bâtiment qu'on construit aujourd'hui n'est pas censé subir de gros travaux avant 2050. C'est donc aujourd'hui qu'il faut le concevoir pour qu'il ne soit pas obsolète à cette date.

Cette adaptation au futur s'effectue en deux temps. Dans un premier temps, le bâtiment frugal doit avoir recours à des solutions architecturales et techniques adaptées au contexte futur qui l'attend. Or, on ne répondra pas aux enjeux d'un tel changement climatique et sociétal par les solutions aujourd'hui classiques qui, certes, ont fait leurs preuves, mais dans un contexte qui n'existe plus. Et nous n'avons plus le temps d'une adaptation graduelle, par petits pas, respectant le marché. Il ressort, en effet, du dernier rapport du GIEC (novembre 2014) que l'effort le plus important doit être fait dans les années qui viennent, d'ici à 2020. Une véritable révolution architecturale et technique nous attend.

Dans un deuxième temps, les solutions architecturales et techniques mises en œuvre dans un bâtiment frugal doivent permettre à ses occupants d'adopter des stratégies d'autoadaptation aux aléas du futur, canicules, sécheresses, pénuries... La nécessité, désormais, de définir des stratégies d'adaptation est une autre des conclusions du rapport de GIEC de novembre 2014.

toutes ses formes dans d'autres, la paille ailleurs.

Le bâtiment frugal s'inscrit dans une stratégie d'aménagement durable du territoire. Bien évidemment, il préserve les richesses naturelles du territoire, mais il assure aussi le maintien d'une agriculture de proximité, des circuits courts d'approvisionnement, un accès privilégiant les déplacements doux ou à faible impact, vers tous les services, les zones d'emploi, la culture, le sport, les loisirs...

Énergie et climat

Le bâtiment frugal est d'abord frugal en énergie et privilégie les énergies renouvelables pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre. Certains usages peuvent être largement couverts par la sobriété et une approche bioclimatique (chauffage, rafraîchissement, éclairage, ventilation), d'autres, tout en exigeant de la sobriété, nécessitent un recours à des systèmes efficaces : eau chaude sanitaire, usages spécifiques de l'électricité collectifs et privatifs. Car c'est, bien entendu, tous les usages énergétiques qu'il faut maîtriser. D'autant que les usages spécifiques privatifs (électroménager en logement, bureautique en tertiaire) représentent souvent les plus gros postes de consommation et les plus gros gisements d'économie.

Dans le bâtiment frugal, cette préoccupation énergétique porte également sur l'énergie fossile consommée pendant les phases de fabrication et de fin de vie du bâtiment (voir le guide ICEB « Énergie grise ») qui, si l'on n'y prend garde, risque d'annihiler les efforts faits pour réduire les consommations pendant la vie du bâtiment.

Le changement climatique, c'est aussi, à l'échelle du bâtiment, trois problématiques auxquelles il faut apporter une réponse nouvelle :

- Le confort d'été pour répondre à la hausse inéluctable des températures qui bouleversera les arbitrages entre problématiques d'hiver et problématiques d'été sur pratiquement tout l'Hexagone.
- La maîtrise des consommations d'eau (sur toute la durée de vie du bâtiment y compris en phase fabrication) pour répondre à la sécheresse prévue dans la moitié méditerranéenne de l'Hexagone.

- Des dispositions particulières et temporaires, relevant souvent de la sobriété, des modes de vivre et des façons d'utiliser le bâtiment, pour répondre aux épisodes exceptionnels, mais de plus en plus fréquents, de pluie, de vent et de canicule.

Frugalité matière

Le bâtiment frugal est aussi frugal en matériaux, en matières premières, notamment en ressources fossiles épuisables ou rares. Les réserves mondiales de certains métaux comme le zinc, le plomb ou le cuivre, fréquemment utilisés sur les bâtiments, sont du même ordre de grandeur que celles des produits pétroliers. Les granulats pour le béton commencent à devenir rares dans de nombreuses régions, notamment en Île-de-France. D'autres matériaux très répandus comme le PVC, les différents types de plastiques ou les produits d'étanchéité sont, de près ou de loin, issus de la filière pétrole en voie de raréfaction. D'autres, enfin, comme les métaux ferreux ou non ferreux, notamment l'aluminium, consomment de grandes quantités d'énergie pour leur fabrication...

Pour ne pas épuiser la planète, le bâtiment frugal recourt donc massivement aux matériaux renouvelables, bois, isolants ou plastiques biosourcés... Il privilégie la réutilisation de produits et composants issus de la déconstruction ou, à défaut, des produits recyclés...

La frugalité matière porte aussi sur la quantité de matériaux mis en œuvre. Que la structure du bâtiment soit à base de matériaux renouvelables (bois) ou épuisables (béton), le critère de la quantité se rajoute à celui de la solidité pour le choix, dans la conception d'un bâtiment frugal, des modes de fondation, des systèmes constructifs ou même des portées.

Il existe une autre possibilité que celle du bâtiment frugal, et elle a même le vent en poupe, c'est le bâtiment « high-tech ». En effet, les technologies de pointe (TIC), la domotique, la maison intelligente, le bâtiment connecté sont présentés comme l'avenir radieux du secteur du bâtiment. Certes, certains bâtiments frugaux posséderont bien quelques capteurs, quelques automates programmables ou quelques systèmes de gestion. Mais ces équipements high-tech viennent grever le bilan en énergie grise et consomment des matières premières dont les ressources sont encore plus sensibles que celles du pétrole ou du zinc, les terres rares. Ils induisent des risques de défaut, des opérations d'entretien,

une complexité d'usage. Ils n'assurent aucune résilience en cas d'aléa dans la fourniture d'énergie... Le bâtiment frugal en usera avec modération. Il mettra l'intelligence dans l'utilisateur et pas dans des systèmes techniques. Il sera principalement « low-tech ».

Une autre vie

La conception, la production et le fonctionnement actuels des bâtiments correspondent à un mode de développement révolu. Non seulement du fait du changement climatique et du désordre énergétique. Mais aussi parce que la croissance, moteur de ce mode de développement, n'est plus à l'ordre du jour et que la financiarisation hégémonique a fait sauter toutes les régulations qui maintenaient un minimum de partage des richesses et d'équité. Que sera demain ? Tout est ouvert, du pire au meilleur. Le meilleur, dans lequel souhaite s'inscrire le bâtiment frugal, apparaît en germe dans certaines innovations sociales et économiques à l'échelle du territoire. Autour de l'agriculture de proximité se développent une série d'expériences alternatives : consommer local, rétablir les circuits courts, instituer des relations directes entre agriculteur et consommateur... C'est sans doute, aujourd'hui, l'exemple le plus pertinent. Le développement des jardins partagés urbains relève du même esprit. Dans un autre domaine, celui des déplacements, le covoiturage ou l'auto-partage, quand ils ne sont pas dévoyés par des visions purement marchandes ou encore le succès des formules Velib ou Velov, traduisent un glissement profond de la propriété vers l'usage en même temps qu'une prise de conscience écologique. Plus à l'échelle du bâtiment, certaines expériences d'habitat participatif préfigurent une évolution des modes de faire vers l'autopromotion, mais aussi des modes d'habiter, des relations entre voisins, des modes d'appropriation et d'utilisation de certains biens communs...

Le bâtiment frugal s'inscrit dans cette lignée de « lanceurs d'avenir ». Concevoir les espaces extérieurs amène à arbitrer entre les multiples usages possibles du sol (ou des toitures) : îlot de fraîcheur végétal, jardin potager, jardin d'agrément, support de capteurs solaires... Une philosophie proche de celle de la permaculture. Une programmation écoresponsable conduit à se poser la question de la mutualisation de certains services et des espaces qui leur sont affectés, à imaginer des espaces de rencontre et de convivialité, voire des lieux « à remplir », où le possible est infini.

Un bâtiment performant et désirable

Une approche holistique¹ du bâtiment

Pour toutes les raisons développées plus haut, le bâtiment frugal doit être performant. Non pas dans le sens d'un bâtiment « machine » qui assurerait de façon optimale toutes ses fonctions. Mais dans celui d'un outil pertinent, efficace et pratique, mis à la disposition de ses utilisateurs.

Il est apparu clairement, tout au long de ce document, que les domaines dans lesquels doit s'exercer cette performance sont nombreux et variés : confort et qualité des ambiances, maîtrise des consommations d'énergie, d'eau, maîtrise des ressources énergétiques et non énergétiques en amont du chantier, maîtrise des impacts sur le changement climatique, soutien au développement et à l'aménagement durables du territoire, offre d'un cadre approprié pour un mode de vie alternatif...

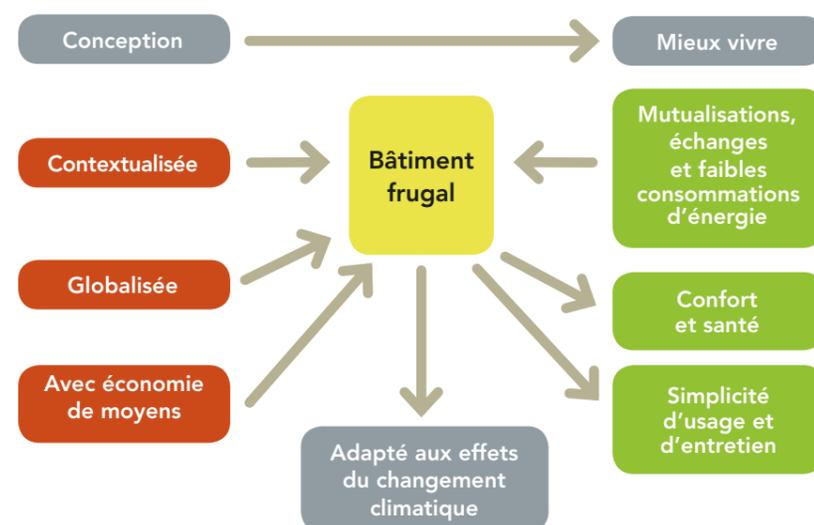
La prise en compte simultanée de toutes ces préoccupations ne se fait pas naturellement. Il n'y a pas de monsieur Jourdain des choix éco-responsables. La méthode la plus courante consiste à hiérarchiser. Mais alors seules sont vraiment traitées les préoccupations en tête de la hiérarchie. Les choix pour le bâtiment frugal résulteront plutôt d'une approche holistique de l'ensemble de ces préoccupations.

Cela consiste à considérer ce système complexe de critères et de préoccupations comme une entité possédant des caractéristiques liées à sa totalité. Il s'agit alors de définir une stratégie multicritère, des actions sur chaque critère cohérentes entre elles pour profiter de leur synergie et pousser ainsi le curseur le plus loin possible sur chacune des préoccupations. Un plus un égal quatre, c'est faire plus avec moins, c'est le principe de l'innovation frugale².

Un bâtiment désirable

La performance n'intéresse que la planète. Son effet est trop lointain, trop ailleurs pour intéresser l'utilisateur du bâtiment. Sauf s'il y trouve lui-même un intérêt, parfois un intérêt économique, mais le plus souvent de l'ordre de la satisfaction. La performance n'a pas d'intérêt si elle n'accompagne pas un plus grand plaisir, une meilleure qualité de vie, ou si elle n'apporte pas une plus-value culturelle ou éthique.

De toute façon, la performance n'a que peu d'efficacité si elle n'est pas comprise et assumée par les utilisateurs du bâtiment. Le bâtiment frugal sera différent des bâtiments standardisés qui se reproduisent quasi à l'identique dans les ZAC et les écoquartiers. Différent par ses techniques, son architecture, et parfois par son esthétique et ses usages. Cette différence peut susciter l'inquiétude et l'évitement. Si nous savons la rendre compréhensible et abordable, elle suscitera alors plutôt le rêve et le désir.



1. Une démarche holistique consiste à approcher un système complexe comme une entité possédant des caractéristiques liées à sa totalité, et des propriétés non déductibles de celles de ses éléments et même supérieures à leur somme

2. En référence à l'ouvrage « Innovation Jugaad » de Navi Radjou et Jaideep Prabhu



Exemples

I conception et frugalité des bâtiments

Ecole maternelle et primaire de Monoblet dans le Gard Un bâtiment basse consommation construit avec des matériaux locaux et la participation de tous 1/5

Il s'agit d'une école de 4 classes (une maternelle et 3 primaires) et une salle d'activités, conçue par l'équipe rassemblant l'atelier Perret-Dessages associé à Archistem et dont l'architecte Yves Perret est le mandataire.

Elle a été définie, conçue et construite avec la participation de la population de Monoblet.

Elle est construite en pied de pente, n'obturant pas les vues des voisins amont, grâce à une construction basse, enfoncée dans le sol sur son côté nord.



C'est un bâtiment à faible énergie grise.

La structure générale est en bois : système poteau-poutre en pin douglas régional.



Ecole maternelle et primaire de Monoblet dans le Gard

Un bâtiment basse consommation construit avec des matériaux locaux et la participation de tous 2/5

Le poteau-poutre stabilise des remplissages de béton de chaux-chanvre qui forment les refends entre classes (20cm d'épaisseur) ou les façades (40 cm d'épaisseur).

Quand il est en façade, le chanvre est enduit à la chaux côté extérieur et stabilisé à la colle cellulosique côté intérieur. Quelques ossatures bois sont isolées avec de la laine de bois et revêtues de bardage mélèze brut.

Les parties en contact avec la terre du terrain ou avec des espaces sanitaires intérieurs sont en béton armé de ciment hydraulique. Ces parties, particulièrement rigides, assurent la reprise des efforts sismiques horizontaux. Les sols sont en béton ciré sauf dans les sanitaires qui sont carrelés.

Les plafonds acoustiques sont des platelages bois de planches posées ajourés et traités M1. Les terrasses sont contreventées par des panneaux OSB (E1) et isolées par de la laine de roche dense (2 X 13cm) et étanchées par une membrane sans chlore. Elles sont végétalisées.

Les doublages intérieurs sont en laine de bois. Certaines parties sont doublées de chanvre. Les menuiseries sont en mélèze avec vitrage argon peu émissif.



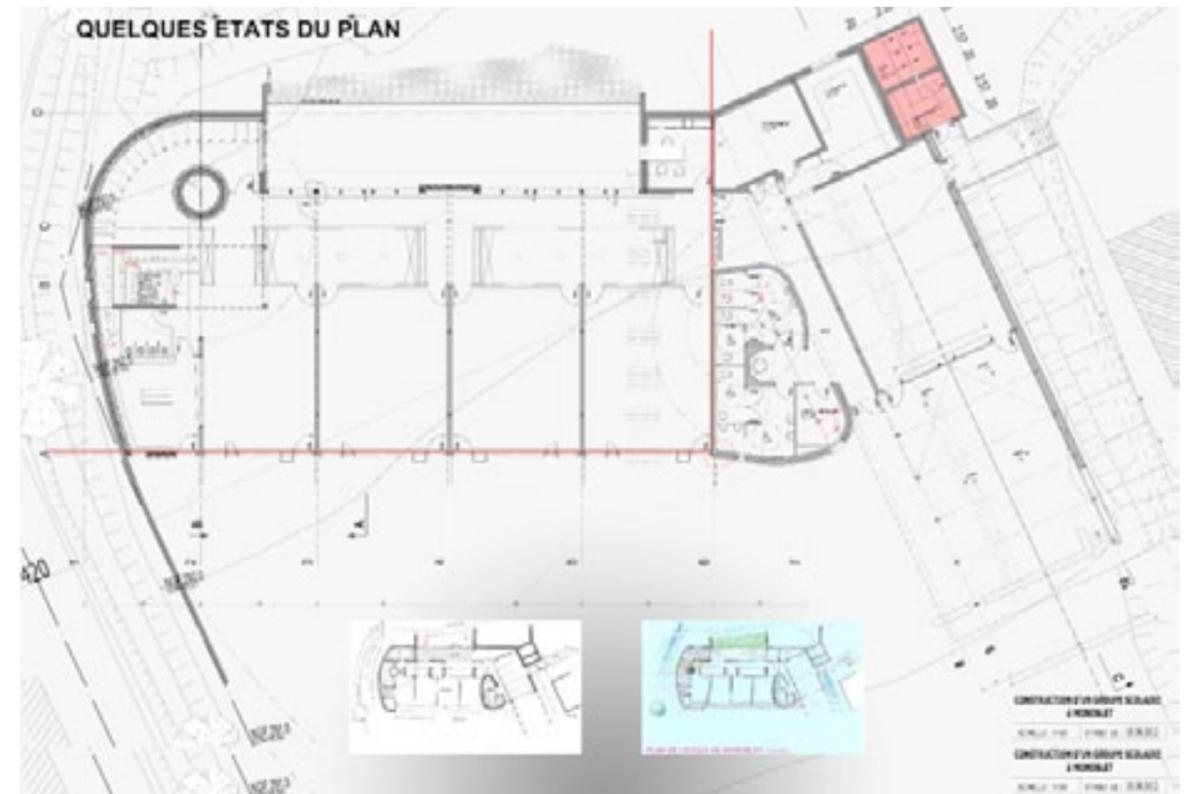
Ecole maternelle et primaire de Monoblet dans le Gard

Un bâtiment basse consommation construit avec des matériaux locaux et la participation de tous 3/5

Bien que située en zone climatique chaude (H3) et très bien isolée, du chauffage reste nécessaire. Il est assuré par une chaudière bois automatique, à pellets avec un silo situé à l'arrière du bâtiment. Elle alimente un chauffage basse température par le sol (activités au sol des enfants parfois) dans les salles de classe et des radiateurs dans la salle d'activités (usages intermittents pendant les congés scolaires).

Compte tenu des débits d'air nécessaires dans chaque salle, le bâtiment est équipé d'une ventilation double flux avec échangeur très performant. Les débits d'air dans chaque pièce sont variables et réglés à partir de détecteurs de présence.

Les besoins de chauffage sont de 15 kWh/m².an et les consommations totales de 49 kWh/m².an (gain de 38,75 % par rapport à la limite fixée par la RT 2012).



Ecole maternelle et primaire de Monoblet dans le Gard

Un bâtiment basse consommation construit avec des matériaux locaux et la participation de tous 4/5

Soutènement et murets sont en pierres de récupération (prises sur la commune).

Le confort d'été est assuré grâce à :

- ▶ un grand auvent au sud prolongé par des supports de végétation bambou ;
- ▶ un caillebotis bois en pied de façade sud pour limiter l'accumulation de chaleur ;
- ▶ des rideaux blancs de tissu à l'extérieur ;
- ▶ l'inertie thermique apportée par le sol béton et par les blocs de contreventement maçonnés ;
- ▶ la toiture végétalisée servant d'amortissement thermique ;
- ▶ des claustras devant les ouvrants qui permettent de quitter l'école, fenêtres à rez-de-chaussée ouvertes ;
- ▶ des arbres de la cour et sur le belvédère (encore petits aujourd'hui) ;
- ▶ un sol de la cour majoritairement non minéralisé.



Des noues et un bassin de terre sont dessinés pour écrêter les pics hydrauliques.

Les terrasses sont végétalisées pour participer à l'amortissement hydraulique et aplatir un peu les écarts thermiques.

Les Eaux pluviales sont dynamisées par des gargarilles (brumisation en pied).

Ecole maternelle et primaire de Monoblet dans le Gard

Un bâtiment basse consommation construit avec des matériaux locaux et la participation de tous 5/5

Il faut aussi noter que les matériaux toxiques se réduisent à ceux de la barrière anti-termite et ceux de quelques colles (E1).

Les parents et les enfants ont été associés à la construction. Encadrés par une mosaïste professionnelle, ils ont revêtu les supports des lavabos avec les déchets de carrelages donnés par le carreleur. Plus tard, ils ont fabriqué avec une potière des carreaux de terre cuite aujourd'hui posés dans l'espace du conte.

Chaque enfant a choisi et apporté une belle pierre à un employé municipal virtuose pour qu'il l'incorpore dans les murets. Il fallait les voir chercher « leur » pierre lors d'un rendez-vous de chantier. Ils furent d'ailleurs plusieurs fois invités à venir par petits groupes pour voir les choses en train de se faire.



Les entreprises furent très majoritairement locales.

Un chantier fabrique un bâtiment. Pour les architectes de cette opération, il doit aussi fabriquer ou perfectionner des savoir-faire. Un chantier un minimum « difficile à réaliser » voire « innovant » fabrique, nourrit et renouvelle l'expérience : une sorte de « faculté ».

Exemples :

- ▶ le maçon met en œuvre des bétons de chanvre pour la première fois, coule du béton de ciment blanc auto-plaçant, fait un brise soleil avec une pierre plate, réalise des pieds de poteau en pierres brutes de carrière coupées sur le dessus, monte un mur courbe... toutes choses qui le sortent de ses routines ou qu'il n'a parfois jamais faites ;
- ▶ le charpentier réalise une structure aux systèmes de contreventement inhabituels, met en place des bambous (Anduze) comme supports de végétaux pour la protection solaire ;
- ▶ le plombier pose les lavabos fabriqués par la potière ou met en place des becs de robinets fabriqués par ses soins ;
- ▶ le menuisier découpe des porte-manteaux inspirés de Jean Arp dessinés échelle 1 par l'architecte, incorpore un vitrail dans un double verre ;
- ▶ le carreleur habille le lave-mains des petits ;
- ▶ le plâtrier installe des formes libres au plafond des classes qui participent à la correction acoustique.

Maison à Wervicq-Sud Le passif écoresponsable 1/6

Dans le Nord de la France, les principes de la Passivhaus se combinent à la méthodologie du bâtiment frugal et peuvent servir de base à la conception. L'intelligence de la conception conduit à un bâtiment économe en énergie et peu sensible à l'usage.

Il s'agit d'un logement pour une famille de cinq personnes (130 m² environ), conçu par FAVA Architectures urbaines à Tourcoing et le BET Energie et Environnement, SYMOE.

Bchauf : 13,5 kWh/m².an – Consommation totale : 115 kWhep/m².an

Etanchéité à l'air n50 : 0,38 vol/h

Coût des consommations énergétiques : 11,2 €/m².an (0,80 €/j)



Façades Sud et Ouest



Façades Nord et Est



- ▶ Ossature bois avec isolation en laine de bois (12 cm) et cellulose (22 cm) et membrane frein-vapeur hygro-variable.
- ▶ Dalle basse en béton et 20 cm de mousse de polyuréthane.
- ▶ Refend central brique de terre crue compressée.
- ▶ Plancher intermédiaire en bois massif cloué.

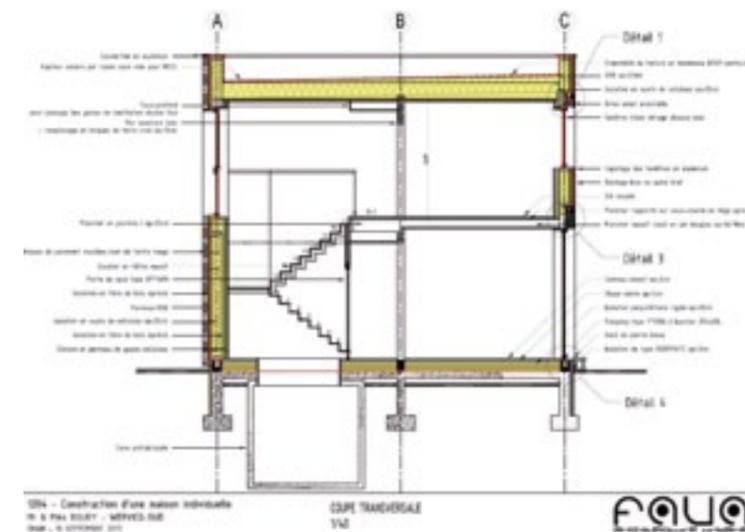
Maison à Wervicq-Sud Le passif écoresponsable 2/6



Parois verticales U = 0,122 W/m².K

- ▶ Fermacell 13 mm et isolant chanvre-bois semi-rigide 60 mm
- ▶ Pare-vapeur hygro-réglable Intello
- ▶ Ouate de cellulose insufflée 220 mm

- ▶ Panneau contreventant 12 mm
- ▶ Laine de bois rigide 60 mm
- ▶ Pare-pluie résistant UV
- ▶ Bardage bois aulne brut régional ou briques



Maison à Wervicq-Sud Le passif écoresponsable 3/6



Couverture $U = 0,108 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

- ▶ Plaque de plâtre 13 mm
- ▶ Isolant chanvre-bois semi-rigide 40 mm et pare-vapeur hygro-réglable Intello
- ▶ Ouate de cellulose insufflée 350 mm et panneau OSB 12 mm
- ▶ Membrane EPDM et protection lourde

Dalle basse $U = 0,104 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

- ▶ Carrelage ciment, 20 mm
- ▶ Chape sable-ciment 60 mm
- ▶ Polyuréthane 200 mm
- ▶ Dalle béton 180 mm
- ▶ Vide d'air non ventilé 100 mm

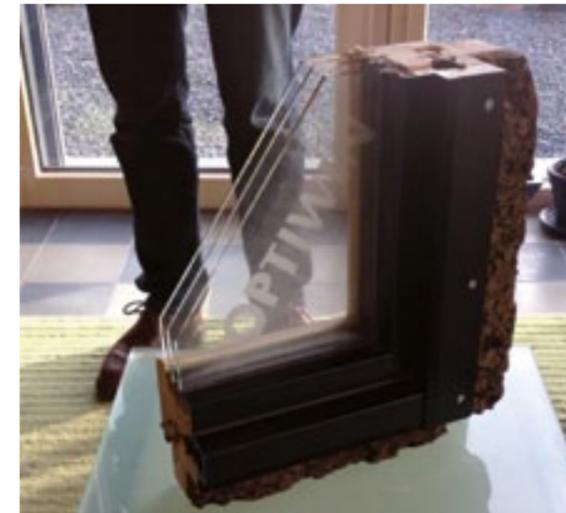


Maison à Wervicq-Sud Le passif écoresponsable 4/6

Baies vitrées

$U_w = 0,81 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

- ▶ Profils bois-alu Optiwin
- ▶ Triple-vitrage
 $U_g : 0,52 \text{ (N)} / 0,62 \text{ (S/O)}$
- ▶ Facteur solaire
 $g : 0,48 \text{ (N)} / 0,60 \text{ (S/O)}$
- ▶ $U_f : 0,85 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- ▶ Intercalaires liège et fibre de bois, précadre bois
- ▶ Pose à recouvrement extérieur

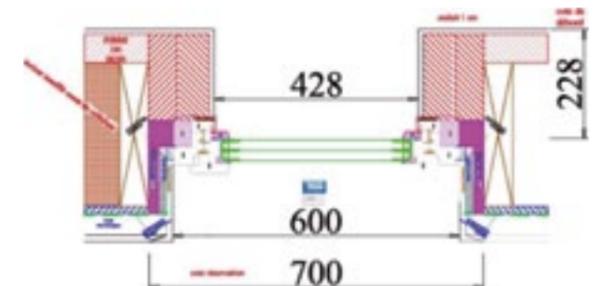


Pour éviter des ponts thermiques :

- ▶ pose en tunnel dans l'ossature bois ;
- ▶ isolation périphérique des libages (PU 60 mm) ;
- ▶ isolation des coffres de brise-soleil orientables (Aérogel 20 mm) ;
- ▶ continuité de l'isolation au droit des nez de planchers ;
- ▶ blocs à bancher en béton cellulaire pour la talonnette béton ;

Étanchéité à l'air : $N_{50} = 0,38 \text{ vol/h}$

- ▶ Membrane hygro-variable type Intello
- ▶ Pose soignée des menuiseries
- ▶ Une seule traversée de façade
- ▶ Une seule pénétration en dalle

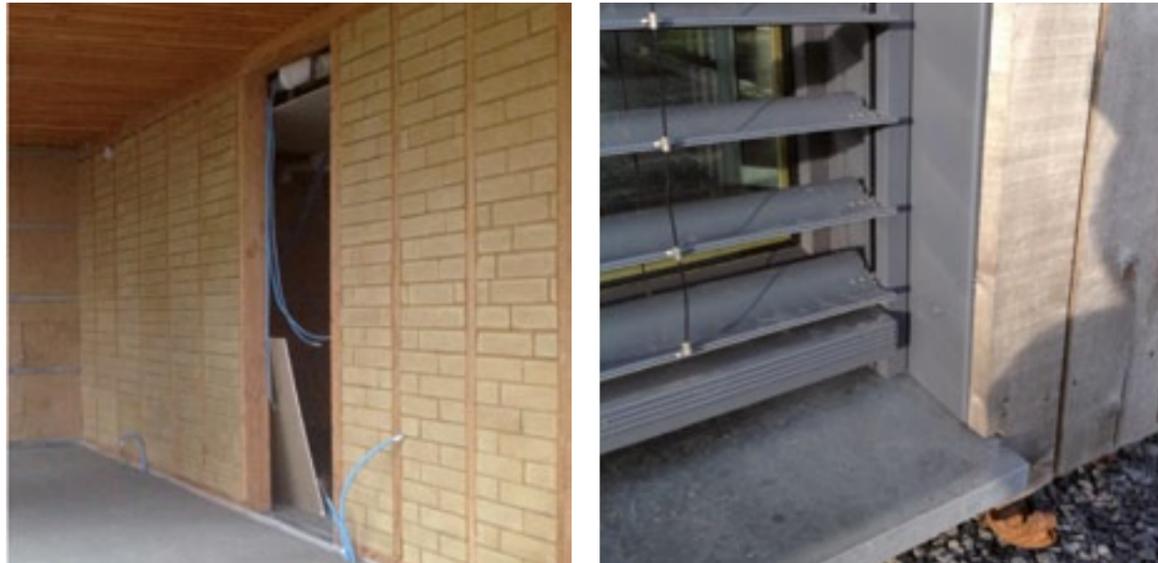


Solution 2 :
Pose en tunnel dans ossature bois et finition enduit sur fibre de bois

Maison à Wervicq-Sud Le passif écoresponsable 5/6

Gestion du confort :

de l'inertie grâce à des blocs de terre crue (12 tonnes), 60 mm de chape sable-ciment et 20 mm de carrelage-ciment, des brise-soleil orientables en façades sud et ouest et présence d'arbres caduques.



On est au nord de la zone H1. Un double flux avec échangeur est utilisé : une CTA double flux Zhender avec distribution monotube.

Le chauffage est apporté par l'air grâce à des batteries céramiques PTC de 2kW (puissance totale) pilotées par une régulation thermostatique. Les débits d'air sont programmés par une horloge.



Des bouches à longue portée pour le soufflage.

Maison à Wervicq-Sud Le passif écoresponsable 6/6

Des équipements économes :

L'eau chaude sanitaire est préparée à l'aide de 6 m² de panneaux solaires posés en toiture et d'un ballon de stockage avec appoint électrique.



Récupération d'énergie sur les eaux usées de douche pour préchauffage de l'eau froide (type Gaia green).



Des matériaux à faible impact environnemental :

L'ossature de la maison est en pin Douglas ou en pin rouge non traité.

La dalle d'étage est en bois massif cloué.



Pour l'isolation, il est utilisé :

- ▶ de la laine de bois rigide et semi-rigide ;
- ▶ de la ouate de cellulose ;
- ▶ de la laine semi-rigide, mixte de chanvre et de bois.

L'isolation acoustique du plancher de l'étage est assurée par des panneaux de laine de bois.

La terre crue est recouverte d'un badigeon à l'argile, coloré avec des pigments naturels.

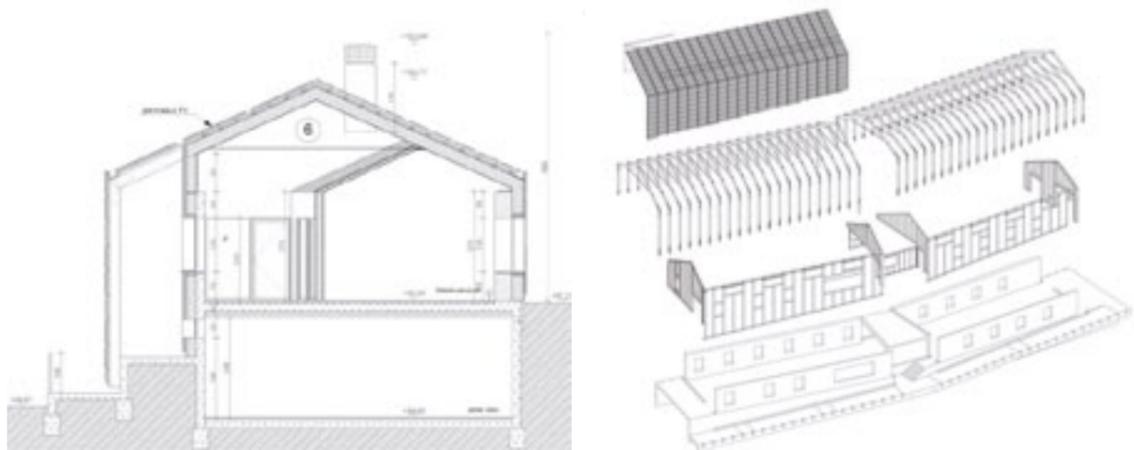
Centre œnologique Viavino Low-tech en climat méditerranéen 1/4

Cette opération est représentative de ce que peut être un bâtiment frugal en région sud : une démarche bioclimatique d'hiver et surtout d'été poussée, une ventilation et un rafraîchissement naturels, des systèmes réduits au strict minimum, un recours massif à des matériaux locaux (bois, pierre, terre battue). L'énergie zéro tous usages est réalisée sur tous les bâtiments à l'exception de la restauration.

Les activités œnologiques et touristiques sont réparties sur 7 bâtiments couvrant 900 m² de plancher, dans un parc de 2 ha. Les bâtiments sont disposés en alignement brisé pour s'adapter au terrain et créer une diversité de lieux extérieurs protégés du vent et du soleil en été. Chacun de Ces bâtiments a sa démarche low-tech spécifique et son architecture propre, à l'échelle de celles du village qui les surplombe.

Le maire de la commune, Jean-Luc Bergeon, en a assuré la maîtrise d'ouvrage pour le compte de la Communauté d'agglomération du pays de Lunel. Il a été accompagné (programme et AMO) par CPO-les m² heureux. L'architecte est l'atelier Philippe Madec, assisté du BE environnement TRIBU.

Bchauf : 8,4 kWh/m²SdP.an - Consommation : 100 kWhEP/m²SdP.an – Production ENR : 120 kWhEP/m²SdP.an.
(Energie primaire calculée avec le coefficient 1 en combustible et 2,58 en électricité)



Centre œnologique Viavino Low-tech en climat méditerranéen 2/4

Isolation UBAT = 0,345 W/m².K

Parois verticales

U = 0,15 W/m².K

mur intérieur en pierre, isolation par 28 cm de laine minérale, bardage de type claustra bois.

Toiture

U = 0,14 W/m².K

charpente bois avec isolation par 28 cm de laine minérale.

Plancher bas

U = 0,13 à 0,22 W/m².K

dalle terre battue ou plancher, isolation par 14 cm de mousse de polyuréthane ou 15 cm de polystyrène expansé selon localisation.

Menuiseries extérieures

UW = 1,4 W/m².K

menuiserie bois et double-vitrage peu émissif.



Gestion du confort :

- protections solaires par brise-soleil fixes ou mobiles selon les orientations ;
- inertie par les sols en terre battue et les murs pierre intérieurs
- confort d'été par surventilation nocturne et brasseurs d'air sur tous les bâtiments ;
- sur la salle de réunion (halle camarguaise), complément de confort d'été et amélioration du confort d'hiver par un puits provençal.

Centre œnologique Viavino Low-tech en climat méditerranéen 3/4

Matériaux

Bois : à l'exception du mélèze des menuiseries extérieures, les autres bois proviennent des forêts des Cévennes proches : douglas, peuplier, pin.

Pierres des carrières de Lunel, Roquemalière et Beaulieu, à moins de 50 km.



Centre œnologique Viavino Low-tech en climat méditerranéen 4/4

Ventilation

Ventilation naturelle assistée et contrôlée (VNAAC) : entrée d'air par des bouches dans la paroi ou en allège des fenêtres selon les bâtiments, sortie par des tourelles assistées (par des turbines actionnées par le vent) et contrôlées (par registre asservi à une vitesse de l'air dans le conduit).

Sur la halle camarguaise, une ventilation mécanique assure le fonctionnement du puits provençal quand elle est occupée.

Chauffage

- ▶ Par chaudière bois sur les bâtiments d'accueil et de vente ;
 - ▶ par un poêle bois sur la halle camarguaise.
- Celui-ci n'est mis en route (manuellement) que quand la salle est utilisée.



43 logements collectifs à Lyon Confluence Confort et frugalité 1/2

Cette opération, même si elle n'a pas poussé au bout tous les domaines de la frugalité, est intéressante car elle prouve que l'on peut réaliser, dans une zone géographique difficile en hiver comme en été, un bâtiment énergétiquement performant sans double flux ni hygro-réglable. Une isolation performante pour l'hiver, des protections solaires efficaces et des logements traversants pour l'été, une récupération sur les eaux grises pour l'ECS en toutes saisons. Il s'agit d'un autre arbitrage entre santé, confort et énergie.

Les besoins de chauffage en simple flux autoréglable s'élèvent à 22,1 kWh/m².an et produisent une consommation chauffage + ventilation de 39,7 kWh/m².an. On obtient à peu près la même consommation (39,8) sur deux usages avec un double flux dont les besoins de chauffage s'élèvent à 12,2 kWh/m².an.

Promoteur Constructa,
architecte Louis Paillard,
BE environnement SE&ME.

Bchauf : 22,1 kWh/m²SdPan -
Consommation : 120 kWhEP/m²SdPan
(énergie primaire calculée avec le coefficient 1 en combustible et 2,58 en électricité)

Isolation UBAT = 0,412 W/m².K

Parois verticales U = 0,17 W/m².K

Toiture U = 0,11 et 0,14 W/m².K

Plancher bas U = 0,14 à 0,17 W/m².K

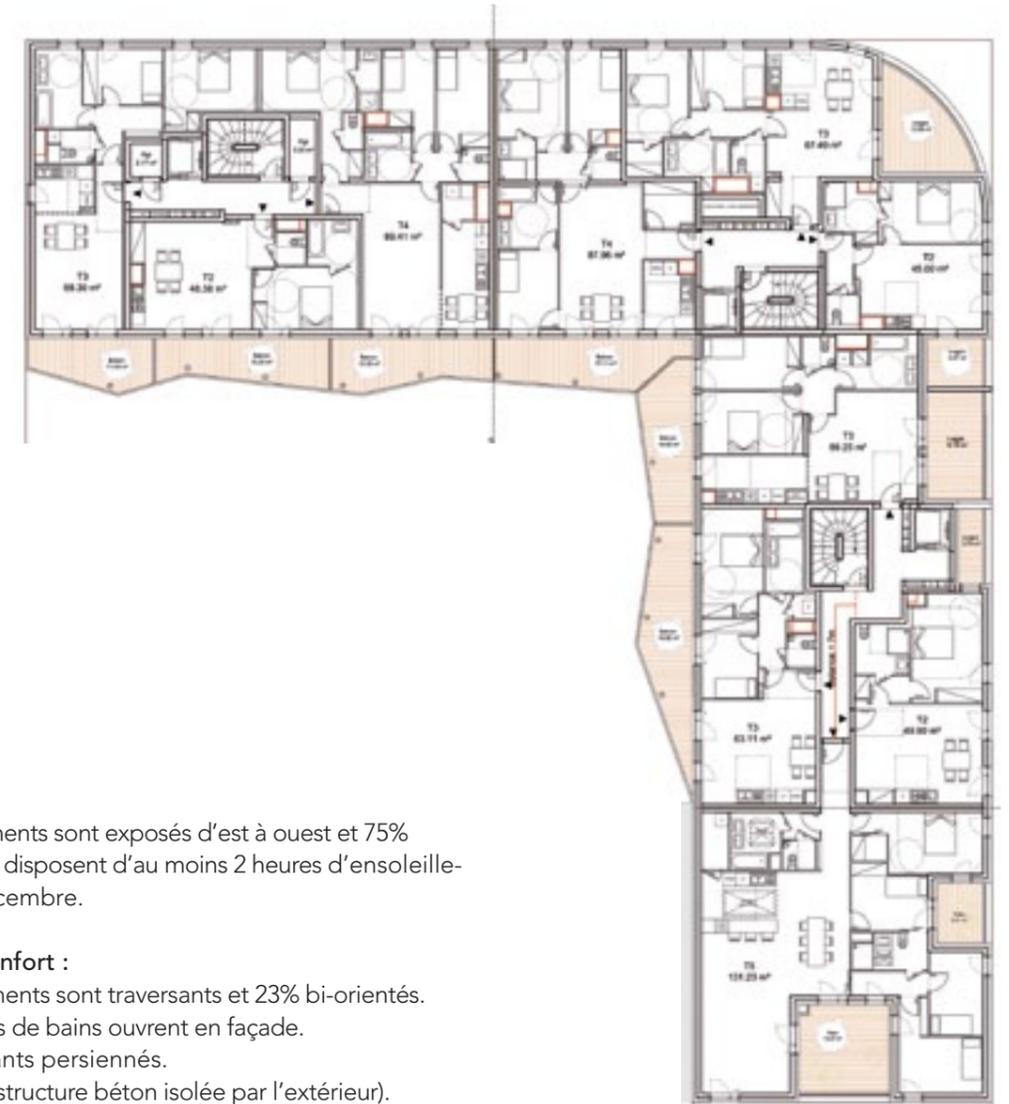
Menuiseries extérieures

UW = 0,9 et 1,4 W/m².K

Menuiseries bois-alu avec, selon localisation triple-vitrage argon (Ug<0,5) ou double-vitrage argon (Ug<1,1), Sg (baie) = 0,62 à 0,63.



43 logements collectifs à Lyon Confluence Confort et frugalité 2/2



Solarisation

95% des logements sont exposés d'est à ouest et 75% des logements disposent d'au moins 2 heures d'ensoleillement le 21 décembre.

Gestion du confort :

63% des logements sont traversants et 23% bi-orientés. Certaines salles de bains ouvrent en façade. Volets coulissants persiennés. Inertie lourde (structure béton isolée par l'extérieur).

Ventilation

Ventilation simple flux autoréglable garantissant un débit d'au moins 0,5 vol/h. Puissance du ventilateur < 0,16 W/m³.h.

Chauffage et ECS

Opération raccordée au réseau de chaleur de la ZAC (chaudière gaz provisoire). PAC sur les eaux grises pour l'ECS.

Matériaux

Structure béton. Menuiseries bois-alu, persiennes bois, parquets, carrelages.

Bureaux 2226 de l'agence Baumschlager & Eberle à Lustenau (Autriche)

Aucun système énergivore (clim, chauffage, ventilation) 1/2

La frugalité poussée jusqu'au passif absolu sur cet immeuble du Voralberg, un cube de 6 étages, abritant l'agence des architectes concepteurs. Pas de système de chauffage, ni de climatisation, une ventilation et un rafraîchissement entièrement naturels. Hyperisolé et hyperinerte, les apports dus à l'éclairage, à la bureautique et aux occupants suffisent à couvrir les besoins résiduels de chauffage. Il s'appelle 2226 parce que la température ne descend pas en dessous de 22°C en hiver et ne dépasse pas 26°C en été.

Bchauf : 0 kWh/m²SdP.an - Consommation : 82 kWhEP/m²SdP.an
(Energie primaire calculée avec le coefficient 1 en combustible et 2,58 en électricité)



Photos © Eduard Hueber / baumschlager eberle



ISOLATION

Parois verticales

$U = 0,14 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Murs de 76 cm d'épaisseur constitués de 2 murs de briques « monomur » alvéolaires d'épaisseur de 38 cm, et un enduit chaux intérieur et extérieur. Le mur extérieur intègre un isolant dans les alvéoles ($R = 4,2 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$) et le mur intérieur, non isolé ($R = 2,9 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$) assure l'inertie.

Toiture

$U = 0,06 \text{ à } 0,07 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Dalle béton isolée par 30 à 40 cm de Styrofoam.

Menuiseries extérieures

Menuiserie bois isolée et triple- vitrage.

Bureaux 2226 de l'agence Baumschlager & Eberle à Lustenau (Autriche)

Aucun système énergivore (clim, chauffage, ventilation) 2/2

Gestion du confort :

L'épaisseur du tableau (menuiseries au nu intérieur) assure un minimum de protection solaire. Les percements en façade sont plutôt faibles (30% ramenés à la surface de façade).

La forte inertie (murs et cloisons briques, plafonds béton, planchers béton avec surplancher bois) permet d'assurer un déphasage intersaisonnier de 2 mois.

Confort d'été par surventilation nocturne à travers le dispositif de ventilation hygiénique.

Ventilation

Ventilation naturelle assurée par des bouches en façade, à clapets verticaux dont l'ouverture est automatiquement contrôlée, asservie à des capteurs de CO₂, avec dérogation manuelle. Celles-ci assurent également la surventilation nocturne d'été.

Chauffage

Sans objet.

Matériaux

Bois des menuiseries extérieures en sapin du Voralberg.



Groupe scolaire « Résistance » à Montreuil (93) 1/6



L'opération était inscrite dans le cadre du projet « MUSIC » qui, retenu par le programme européen INTERREG, a regroupé plusieurs villes européennes sur la problématique de l'efficacité des mesures d'économie d'énergie en ville. L'objectif fixé est « zéro énergie, zéro carbone, zéro déchet nucléaire », tout en assurant une très bonne qualité d'usage. Le projet est conçu par Méandre architectes à Montreuil et le BET Énergie et Environnement, ALTO Ingénierie.

Il s'agit d'un groupe scolaire : une école de 9 classes maternelles et de 15 classes élémentaires au cœur d'un jardin public, en lien avec le quartier (jardins partagés, accès,...). Les accès par modes doux (pédibus, stationnement vélos,...) sont privilégiés.

L'ensemble comporte 3 bâtiments : au nord, l'école et le centre de loisirs sont construits en bois et paille ; au sud, le bâtiment des locaux communs (salle polyvalente, restauration), en béton, supporte la maternelle et sa cour. Ces bâtiments sont implantés en recul des mitoyens. Ils protègent la cours des maternelles et celle des élémentaires du bruit d'une voirie bruyante, l'avenue de la Résistance.

Les bâtiments en bois ont 2 étages.



Objectifs du programme :

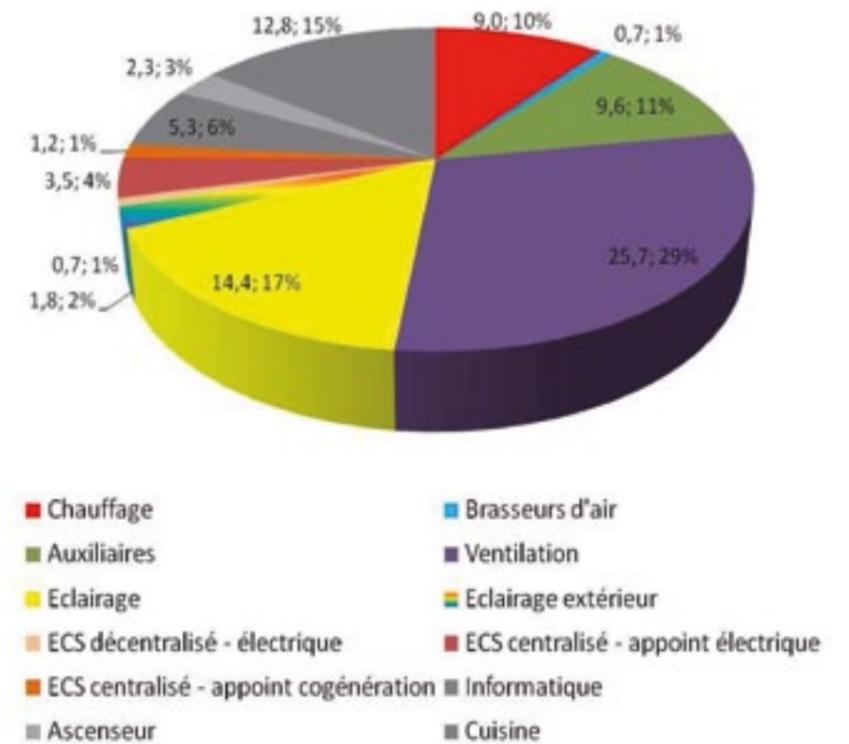
- ▶ besoins de chauffage < 15,0 kWhEF/m²SDOT.an
- ▶ consommation tous usages confondus < 100 kWhEP/m²SDOT.an
- ▶ consommation liées à la cuisine < 0,15 kWhEF/repas
- ▶ besoins d'éclairage < 5,0 kWhEF/m²SDOT.an
- ▶ confort d'été < 30 heures à 28°C

Groupe scolaire « Résistance » à Montreuil (93) 2/6

Résultats : Consommations totales 87 kWhEP/m²SDOT/an
Soit 487 MWhEP / an

Poste	Consommation en kWhEP/m²SDOT.an	%
Chauffage	9,0	10
Brasseurs d'air	0,7	1
Auxiliaires	9,6	11
Ventilation	25,7	29
Éclairage	14,4	17
Éclairage extérieur	1,8	2
ECS électrique décentralisé	0,7	1
ECS cogénération	3,5	4
ECS électrique appoint	1,2	1
Informatique	5,3	6
Ascenseur	2,3	3
Cuisine	12,8	15

Bilan des consommations énergétiques (kWh/m²SDOT/an)

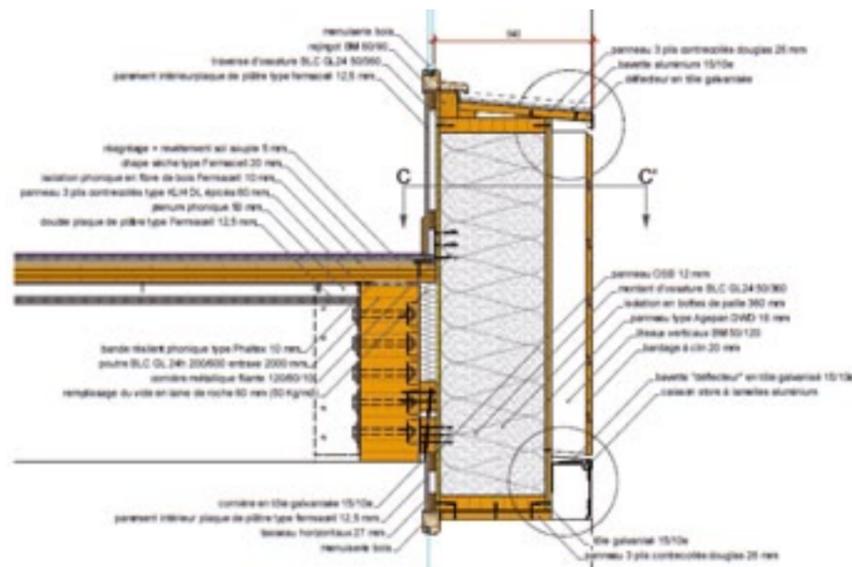
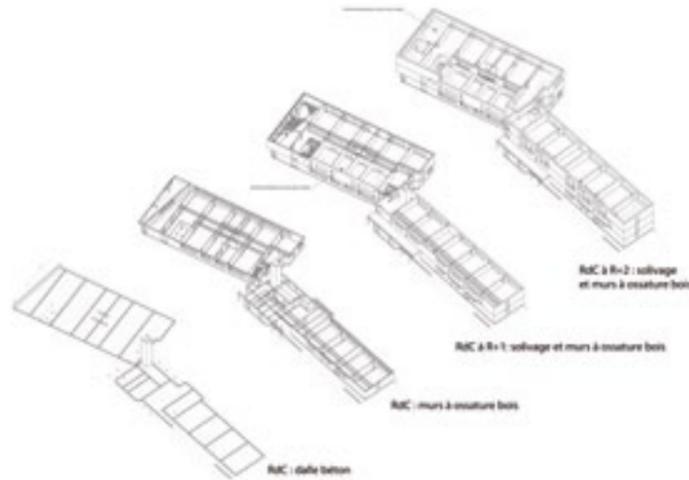


Les bâtiments à ossature bois sur sol de rez-de-chaussée en béton.

Groupe scolaire « Résistance » à Montreuil (93) 3/6

Réduction des besoins grâce à la composition des parois :

- Murs extérieurs = panneaux à ossature bois remplis de 36 cm de paille et 6 cm de laine minérale ($\lambda = 0,032 \text{ W/m.K}$) protégés par un bardage bois ou en enduit à la chaux : $U = 0,11 \text{ W/m}^2.\text{K}$
- Plancher haut = panneaux identiques de 36 cm de paille et 10 cm de laine minérale par une membrane polyoléfine : $U = 0,10 \text{ W/m}^2.\text{K}$.
- Planchers intermédiaires = plancher bois massif de 20 cm et chape acoustique de 6 cm et 10 cm de laine minérale sur Inc.



Groupe scolaire « Résistance » à Montreuil (93) 4/6

Autres parois :

- Plancher bas = dalle béton de 25 cm sur 6 cm de polyuréthane recouverte d'un plancher chauffant : $U = 0,20 \text{ W/m}^2.\text{K}$.
- Baies = double-vitrage 4/16/4 ($U_g = 1,1 \text{ W/m}^2.\text{K}$) et menuiserie bois-alu : $U = 1,50 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ou 1,4 en façade nord : l'emploi du triple-vitrage n'était pas justifié, même au nord.
- Murs en béton = 20 cm de béton isolés extérieurement par 15 cm de polyuréthane ($U = 0,15 \text{ W/m}^2.\text{K}$) ou 10 cm de laine de verre ($U = 0,27 \text{ W/m}^2.\text{K}$).
- Toit terrasse en béton = 32 cm de béton isolé par 20 cm de polyuréthane ($U = 0,12 \text{ W/m}^2.\text{K}$). Traitement des ponts thermiques, limités par une isolation par l'extérieur.

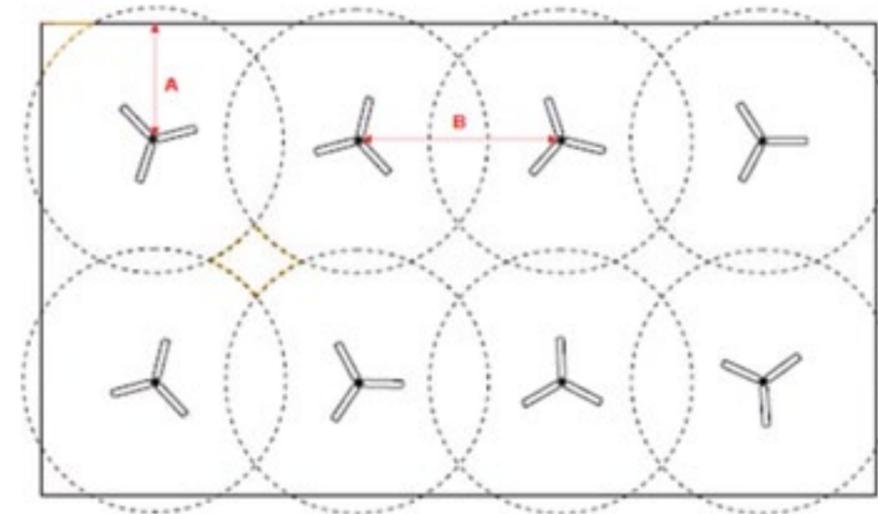
Apports solaires en hiver, stoppés par des protections solaires en période chaude :

- Est et ouest : brise-soleil verticaux amovibles ;
- Sud : stores à lames horizontales amovibles ;
- Nord : rideaux sur anneaux pour l'occultation dans les classes.

Perméabilité à l'air : $14 < 1,0 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$
 $< 14\text{RT}2005 (=1,7 \text{ m}^3/\text{h/m}^2)$.

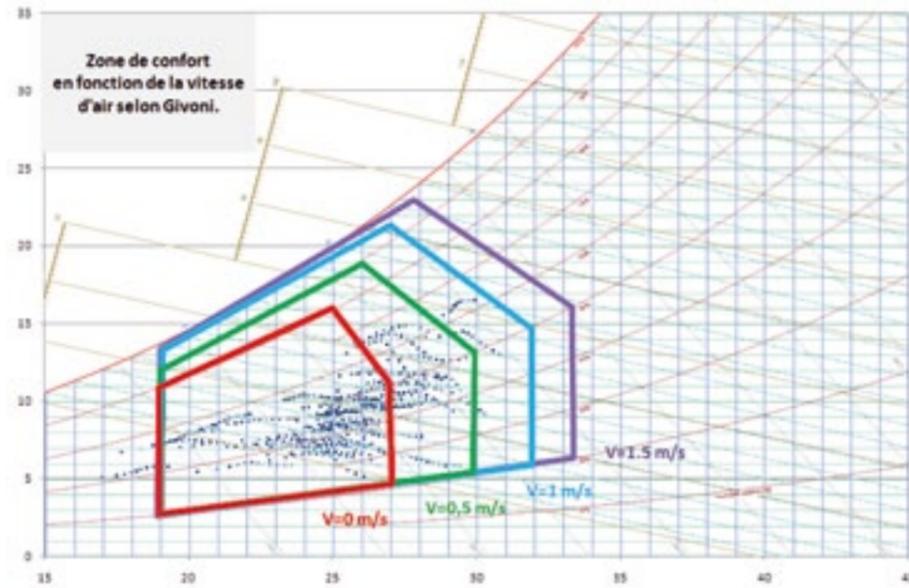
Ventilation

Renouvellement d'air par système de ventilation mécanique double flux à haut rendement à l'aide d'une CTA à débit variable permettant de réduire les débits en période d'inoccupation et même d'occupation : une détection de présence, par sondes CO_2 , dans les locaux fortement occupés permet aux occupants de compléter le renouvellement d'air par ouverture des baies. Cette ventilation est aussi utilisée la nuit, en période chaude.



L'exigence de confort d'été de limiter le temps où la température dépasse 28°C à un maximum de 30 heures est obtenue en utilisant des brasseurs d'air en « période caniculaire ».

Groupe scolaire « Résistance » à Montreuil (93) 5/6



	% temps occupation	nb heures
Hors zone	17%	157
ZONE 0m/s	58%	547
ZONE 0,5m/s	18%	172
ZONE 1m/s	4%	37
ZONE 1,5m/s	2%	20
Dépassement	0%	4

Les brasseurs d'air permettent d'augmenter les plages de confort, et d'atteindre des conditions de satisfaisantes.

Utilisation d'énergies renouvelables :

- Chauffage à cogénération à base d'huile végétale alimentant des planchers chauffants.
 - Panneaux solaires thermiques pour l'ECS et 684 m² de panneaux photovoltaïques.
- Production totale à base d'ENR sur le site = 104 kWh/m²SDOT/an.

Éclairage :

Les baies vitrées assurent, à chaque étage, une autonomie de plus de 56 % et le nombre de luminaires est réduit au minimum nécessaire pour assurer le confort visuel. Ils sont gérés par des cellules photosensibles qui régulent la lumière artificielle en fonction de la lumière naturelle, des détecteurs de présence, une coupure générale de l'éclairage le soir.

Équipements à consommations limitées :

- Trois postes informatiques au maximum par local et pas de tableau numérique.
- Choix de fours et laveuse moins énergivores en cuisine.

Eau chaude sanitaire :

- Réduction du nombre de points d'eau et alimentation des points éloignés par des ballons à accumulation électrique.
- Alimentation des postes importants par une production centralisée récupérant la chaleur venant de capteurs solaires et de la cogénération dans un ballon tampon de 6 m³.

Groupe scolaire « Résistance » à Montreuil (93) 6/6

Gestion de l'eau

- Un seul point d'eau par classe et des appareils économeurs.
- Récupération de l'eau de pluie pour l'arrosage et pour les sanitaires à l'aide d'une cuve de 10 m³, couvrant 44% des besoins (temps de retour de 20 ans).

Énergie grise

Mise en place du caisson de toiture en bois et paille.

L'utilisation du bois et de la paille ont permis de réduire à 734 kWh/m² SDO l'énergie grise du bâtiment (3 835 338 kWh pour 5219 m²SDO), ce qui correspond à environ 8,5 an de consommations énergétiques totales de l'école.



Gestion du territoire

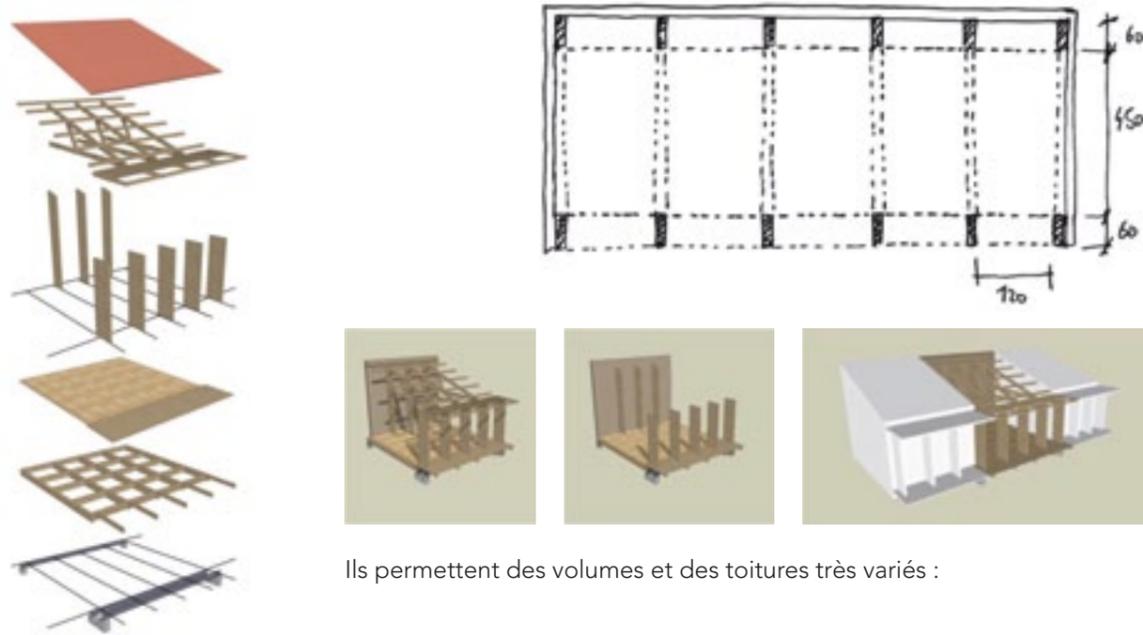
Il a été créé autour de l'école un parc public avec des noues et une zone humide. Ce parc intègre des chemins piétons qui facilitent la vie du quartier. Les sorties de classe se font sur une placette piétonne loin des automobiles.

La construction en bois a permis de réduire le temps effectif de chantier et ses nuisances, bruits et poussières, notamment.

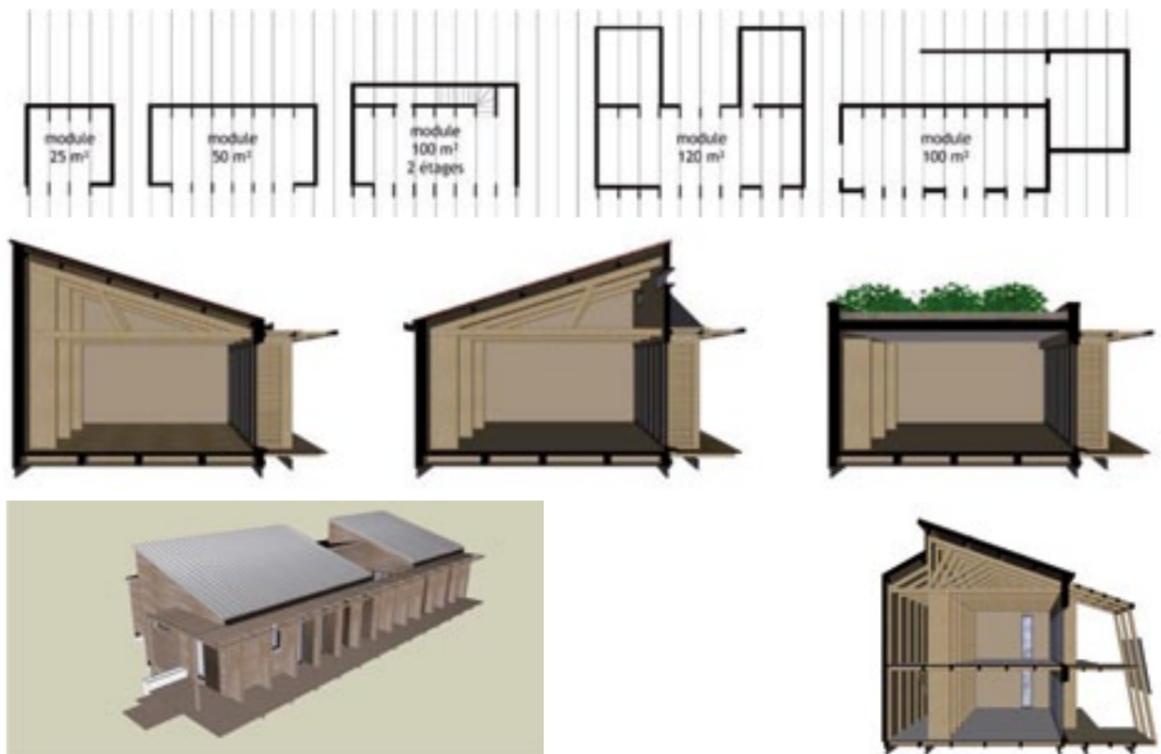
Concept TAKI de l'architecte Jérôme Solari

Un concept modulaire en bois qui permet de construire des maisons, des extensions, des surélévations d'immeubles 1/3

Les composants sont agencés en respectant une trame :



Ils permettent des volumes et des toitures très variés :



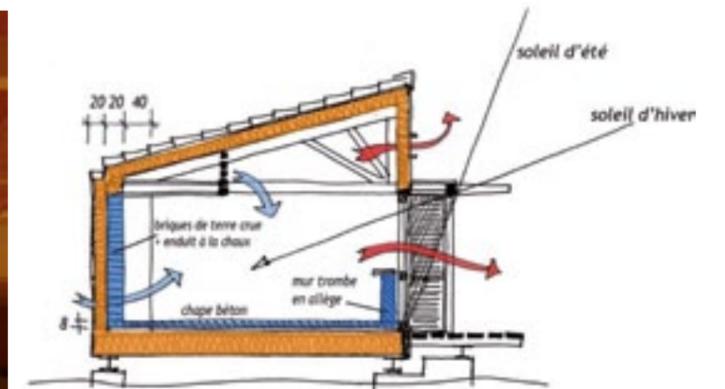
Le système permet d'intégrer les épaisseurs d'isolation et l'inertie qui conviennent au climat du terrain de construction.

Concept TAKI de l'architecte Jérôme Solari

Un concept modulaire en bois qui permet de construire des maisons, des extensions, des surélévations d'immeubles 2/3



Ainsi, on peut se contenter d'un chauffage d'appoint.



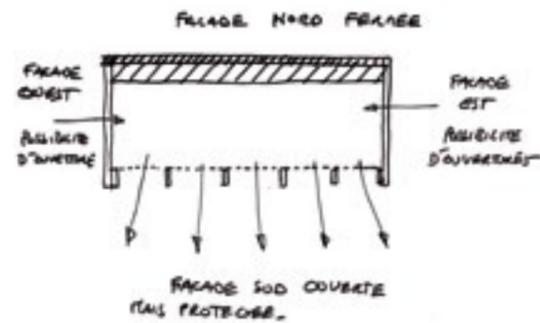
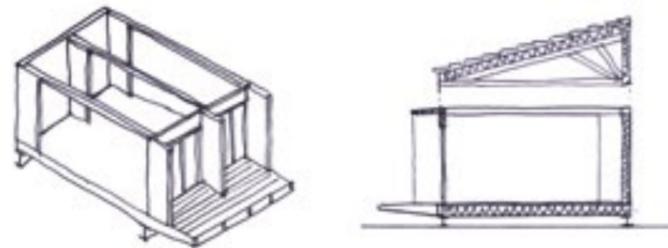
Les composants en bois sont préfabriqués. L'isolation est intégrée en atelier.

Concept TAKI de l'architecte Jérôme Solari

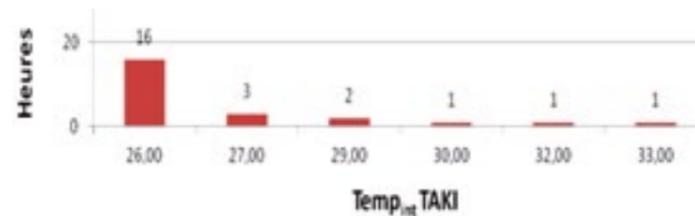
Un concept modulaire en bois qui permet de construire des maisons, des extensions, des surélévations d'immeubles 3/3

Les autres matériaux sont mis en œuvre sur le chantier. Ils sont sélectionnés en fonction de leur énergie grise.

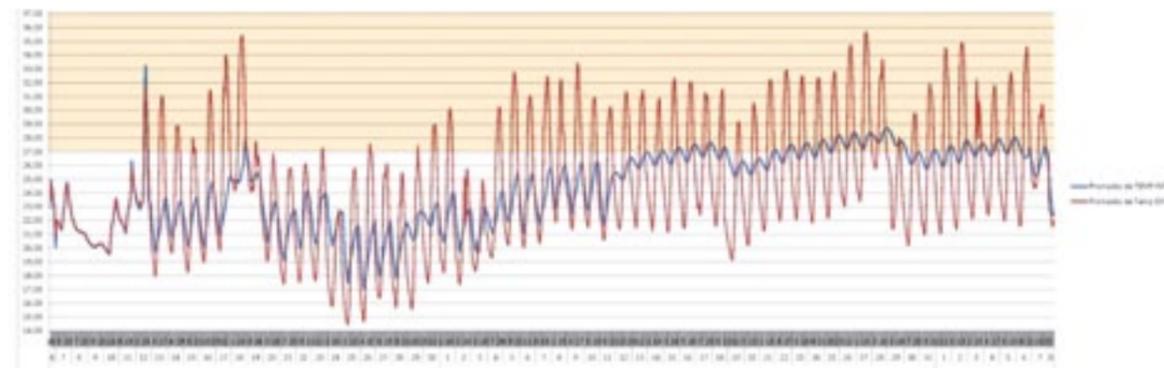
Les volumes sont orientés vers le sud et les protections solaires sont efficaces en période chaude.



Le confort thermique d'été de la maison, implantée à proximité de Marseille, a été analysé. Du 6 juin au 18 août 2013, on a relevé 5 heures au-dessus de 28°C.



Et une stabilité thermique intéressante :



Rédaction | ICEB

Illustrations | Ivan Fouquet - Fair

Coordination éditoriale | Julie Laugier - ICEB

Graphistes | Marion Huet, Dominique Hamot

Crédits photos | Carlo Baumschlager & Dietmar Eberl, Frédéric Boury, Christian Hackel, Philippe Madec, Louis Paillard, Jérôme Solari

Date d'impression | 2^{ème} trimestre 2016

Imprimeur | BLFP, Montreuil (France)

sur papier 100 % PEFC

ISBN | 978-2-955529-0-2

Merci à nos contributeurs financiers de la première heure
Valentin KUNÍK | Véronique LANCELIN | Laurent PAYET



L'Institut pour la Conception Écoresponsable du Bâti est une association rassemblant plus de 70 professionnels de terrain : architectes, ingénieurs, urbanistes, paysagistes, économistes, programmistes, maîtres d'ouvrage... Depuis 20 ans, elle élabore des solutions innovantes en matière de développement durable, dans le bâti et l'aménagement. Elle fait évoluer les pratiques des acteurs par le partage de son expertise, de ses recherches et de ses expérimentations.

Constituer un lieu d'échange entre professionnels de la construction et de l'aménagement durable

Développer de nouvelles compétences dans ce domaine et faire monter en compétence l'ensemble des acteurs

Promouvoir l'innovation et les bonnes pratiques avec des guides, conférences, débats, évènements

Intervenir en toute liberté dans les débats et groupes de travail sur l'environnement, le bâtiment et l'aménagement urbain

Évènements publics à but pédagogique

- > ICEB café mensuel
- > OFF du DD bisannuel
- > Cycles de conférences

Formations à l'écoconstruction

- > Bâtiment frugal
- > Éclairage naturel
- > Aménagement durable

Groupes de travail

- > Le Grand Paris
- > L'éthique
- > COP21

Publications

- > Les cahiers du OFF du DD
- > Les Guides Biotech
 - L'éclairage naturel (2014)
 - Le confort d'été passif (2012)
 - L'énergie grise des matériaux et des ouvrages (2012)
 - Ventilation naturelle et mécanique (2012)

www.asso-iceb.org