Jean-Marie Alessandrini, Claude François,
Philippe Fromy, Bernard Hognon, Sylviane Nibel,
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Marie-Christine Gangneux,
Architecte Conseil de l'Etat DGALN/Puca, architecte

PUCA

L'exigence énergétique
entre contrainte et innovation

L'EXIGENCE ÉNERGÉTIQUE

ENTRE CONTRAINTE ET INNOVATION

Sous la direction de Jean-Marie Alessandrini,
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Février 2014

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie
Ministère de l'Egalité des territoires et du logement
Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature
Plan urbanisme construction architecture
Grande Arche de la Défense
92055 la Défense cedex

Directeur de la publication
Emmanuel Raoul, secrétaire permanent du Puca

Coordination de l'ouvrage
Christophe Perrocheau, chargé de valorisation
christophe.perrocheau@i-carre.net
Tél. 01 40 81 24 33

Michel Lefeuvre
secrétaire permanent adjoint du Prébat
michel.lefeuvre2@developpement-durable.gouv.fr
Tél. 01 40 81 99 02

Conception graphique
Nathalie Seillé

Images de couverture
Les sept projets CQHE

Site internet du PUCA
http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/

Impression
MEDDE/SG/SPSSI/ATL2

Présentation et démarche 06

De l'indépendance énergétique à la réduction des émissions de gaz à effet de serre 07

Les conséquences des exigences énergétiques 07

Une démarche expérimentale pour évaluer l'impact des exigences énergétiques 07

Energie, architecture, sécurité incendie et autres composants de la qualité 08

Architecture et performance énergétique 10

Nouvelle répartition des postes de consommation 12

La sobriété énergétique à l'origine de la performance 15

Les usages spécifiques de l'électricité 20

Conclusions et perspectives sur l'énergie 30

La sécurité incendie et les autres composantes de la qualité 34

Problématique et démarche 35

Regard sur la sécurité incendie 36

Les autres critères de la qualité globale à travers la démarche HQE 46

Conclusions et perspectives sur la sécurité incendie et la qualité globale 57

Conclusions et perspectives 60

Les usages, un nouvel enjeu 61

L'amélioration de l'enveloppe : une opportunité pour la conception 61

De la production à la récupération 61

Les échelles spatiales mobilisées… 62

… s'accompagnent d'un changement d'échelle temporelle 62

Travailler aux frontières 62

L'expression de la performance, une passerelle entre les frontières 62

L'expérimentation : « faire au mieux là où on est » 63

Annexe 1 : présentation des projets CQHE 66

Annexe 2 : répartition de la consommation 116

Crédits illustrations 123

Cet ouvrage est le fruit d'un travail collectif qui a impliqué les personnes suivantes :

— Jean-Marie Alessandrini, Université Paris-Est, CSTB, Direction Energie Environnement ; a également assuré la direction de ce travail interdisciplinaire,

— Sylviane Nibel, Université Paris-Est, CSTB, Direction Energie Environnement ,

— Marie-Christine Gangneux, architecte Conseil de l'Etat, DGALN-PUCA, architecte,

— Philippe Fromy, Université Paris-Est, CSTB, Direction Sécurité Structures Feu,

— Bernard Hognon, Université Paris-Est, CSTB, Direction Sécurité Structures Feu,

— Claude François, Université Paris-Est, CSTB, Direction Energie Environnement.

Il est le résultat d'un travail de recherche co-financé, d'une part, par le Plan urbanisme construction architecture, à la suite de l'appel à idées « Concept Qualité Habitat Energie » (CQHE), d'autre part, par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) dans le cadre de son programme de recherche «Bâtiments durables».

Les auteurs remercient vivement ces deux organismes, et en particulier les responsables de programmes qui les ont soutenus tout au long de ce travail : Hervé Trancart et Françoise Baudouin du Puca, ainsi que Stéphanie Derouineau et Thierry Guiot du CSTB.

Enfin, que les huit équipes lauréates de l'appel à idées CQHE, dont le travail a été essentiel à notre recherche, soient remerciées :

— Ecolocatif en bois,

— Vers un bâtiment efficient EFFIBAT,

— Optimisation de la façade Nord : propositions-explorations CQHE,

— Impacte,

— Concept Habitat Tikopia,

— Habitat pluriel terre et temporalités,

— Vers une architecture nouvelle : de l'importance d'une méthode de conception modèle,

— Bâtiment bioclimatique évolutif à fonction mixte.

PRÉSENTATION

ET DÉMARCHE

Projet « Tikopia » - AS. Architecture-Studio

De l'indépendance énergétique à la réduction des émissions de gaz à effet de serre

La réduction des besoins énergétiques des bâtiments est recherchée depuis de nombreuses années en particulier depuis 1975 et la première réglementation thermique qui visait essentiellement à préserver l'indépendance énergétique du pays. Chaque réglementation a été l'occasion de renforcer progressivement les exigences énergétiques des bâtiments. A chaque évolution est introduit un nouveau poste de consommation qui a vu son importance augmenter dans la consommation du bâtiment du fait de la réduction de l'impact des autres paramètres visés par la précédente réglementation. Au départ l'accent a été mis sur la sobriété énergétique pour répondre au confort thermique et donc réduire la consommation de chauffage. Ainsi la première réglementation se limitait-elle au calcul des pertes de chaleur de l'enveloppe avant d'être étendue aux besoins de chaleur après prise en compte des apports internes et des apports solaires récupérés. La prise en compte des systèmes de chauffage et de leur rendement a permis d'estimer les consommations. Au fil du renforcement des exigences, la consommation liée au chauffage et à l'eau chaude sanitaire a diminué ce qui a mécaniquement augmenté la proportion des autres postes dans la consommation. Par ailleurs, avec le renforcement de l'isolation et de l'étanchéité de l'enveloppe il a fallu veiller à prévenir l'inconfort thermique en été. Son évaluation a été introduite, suivie par le calcul des consommations pour le refroidissement et pour l'éclairage de manière à tenir compte des nécessaires arbitrages entre protections solaires et accès à l'éclairement naturel.

Ces dernières années, la préoccupation croissante du changement climatique a conduit à agir sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre avec un objectif national d'une division par quatre des émissions. Il s'est traduit pour le secteur du bâtiment par des actions qui visent à utiliser des énergies moins émettrices de gaz à effet de serre et à réduire les besoins d'énergie.

Les conséquences des exigences énergétiques

Les deux actions sont complémentaires. Elles se sont matérialisées au travers de nouveaux standards énergétiques, dont le bâtiment à énergie positive, BEPOS qui doit produire plus qu'il ne consomme sur un an, est le plus emblématique. Dès lors, sont apparus un nouvel indicateur pour l'énergie lié à l'énergie primaire et surtout un renforcement brusque des exigences en rupture avec les rythmes précédents. Ce changement d'ordre de grandeur de la consommation énergétique du bâtiment et de ses équipements a des conséquences qui se répercutent sur l'ensemble de la conception. Quelles sont-elles ? Remettent-elles en cause certains principes ? Conduisent-elles à de nouveaux arbitrages à la fois techniques et architecturaux ?

Les réponses à ces questions dépendent des besoins du bâtiment et donc de son usage. De par la nouveauté de ces standards et de l'hétérogénéité du secteur du bâtiment, nous ne visons pas une approche exhaustive. Nous avons limité notre investigation au secteur du logement collectif qui se caractérise par des besoins d'énergie importants lorsqu'ils sont rapportés au m^2 habitable. Son implantation généralement en zone urbaine contribue également à prendre en considération la problématique de l'étalement urbain.

Une démarche expérimentale pour évaluer l'impact des exigences énergétiques

Ce secteur reste néanmoins très vaste et notre recherche implique plusieurs disciplines. Dès lors, pour conserver une approche concrète et

illustrée, nous avons opté pour une démarche expérimentale avec la perspective de construire une réflexion générique à partir de l'analyse de cas particuliers. Il s'agit donc d'un point d'étape dans un processus plus long et plus étendu qui vise à développer des logements qui présentent une qualité globale et répondent à l'objectif de loger le plus grand nombre à un prix compatible avec leurs ressources [atelier BEPOS, 2011].

Le choix des cas d'études a achoppé sur les réponses constructives aux nouveaux standards énergétiques. En effet, elles se sont traduites dans un premier temps par un renforcement de l'isolation et la réduction des ouvrants, source de déperditions potentiellement plus importantes que les parois opaques. Elles sont complétées par le recours aux capteurs solaires thermiques, généralement pour limiter les consommations liées à l'eau chaude sanitaire et aux panneaux photovoltaïques pour répondre à l'exigence de produire de l'énergie. Or ces réponses, principalement techniques, ne présentent pas la matière adéquate pour conduire une analyse des conséquences sur l'architecture d'un processus de conception porté par la performance énergétique.

De manière à disposer d'exemples favorables à l'expression des liens entre ces deux disciplines, architecture et énergétique, il semble opportun de limiter l'impact des autres contraintes sans toutefois s'en affranchir pour conserver la faisabilité du projet. A cet égard la transposition temporelle offerte par l'appel à idées CQHE (Concept, Qualité, Habitat, Energie) organisé par le PUCA (Plan Urbanisme Construction Architecture) [CQHE-PUCA, 2007] amène un cadre pertinent. Il a offert les moyens à des équipes de conception pour imaginer des logements collectifs qui visent à marier qualité architecturale et économie d'énergie.

Cet exercice a l'avantage d'apporter une liberté vis-à-vis des contraintes, d'une part, spatiale en laissant libre le choix du site aux équipes de conception, d'autre part, temporelle en fixant une perspective de construction à vingt ans qui donne plus de latitude dans l'application des réglementations actuelles et pour recourir à des technologies en développement.

Nous avons donc exploité les huit concepts développés dans le cadre de l'appel à idées CQHE [CQHE, bilan de l'appel à idées] :

— Ecolocatif en bois, Exploration d'un immeuble bioclimatique en bois pour les jeunes, Jean-Chrétien FAVREAU, architecte ; Costic ; Lignatech KLH ; société ARCHIC ; CNDB

— Vers un bâtiment efficient EFFIBAT, Cabinet Claude Franck, architecte ; Ecole des Mines de Paris (centre énergie et procédés); GTM Bâtiment

— Optimisation de la façade Nord, Propositions-explorations CQHE, Alter Smith architectes ; Batiserf ingénierie; Cardonnel ingénierie; Saint-Gobain vitrages; Nantaise d'habitations

— Impacte, François Pélegrin, architecte ; Pouget Consultants; BET TBC ; BET CETBA ; Elisabeth Pélegrin Genel, architecte, psychologue du travail

— Concept Habitat Tikopia, Architecture Studio ; Quille ; Alto Ingénierie ; Eco Cités

— Habitat pluriel terre et temporalités, Tectône architectes ; RFR ; Terreal

— Vers une architecture nouvelle : de l'importance d'une méthode de conception modèle, Nicolas Favet Architecte ; Cabinet Hubert Penicaud

— Bâtiment bioclimatique évolutif à fonction mixte, Nicolas Chauvineau, ingénieur ; Christine Ribeiro, architecte ; Philip Ridgway, architecte ; Ewa Wozny, ingénieur et architecte

Energie, architecture, sécurité incendie et autres composantes de la qualité

Au-delà de la question énergétique, l'architecture fait la synthèse de toutes les disciplines qui concernent le bâtiment. Tout projet doit répondre à des exigences fondamentales comme la solidité, la sécurité, la fonctionnalité. La sécurité incendie en est une qui est particulièrement sensible dans l'opinion publique. Par ailleurs, si le projet n'est pas bon sur un thème, sa qualité globale sera implicitement calibrée sur ce thème. Dès lors, étudier l'impact du renforcement énergétique sur la conception architecturale nécessite donc d'élargir l'analyse à ces autres disciplines.

Pour cette raison, la réponse est structurée en deux parties de manière à traiter les conséquences des choix portés par des préoccupations énergétiques sur, d'une part, l'architecture, d'autre part, leur adaptation aux obligations de la sécurité incendie et à d'autres critères issus de la HQE.

La première partie vise à établir comment l'exigence énergétique a orienté la conception du bâtiment et sa forme. En corollaire, il convient de savoir si elle représente dans les cas étudiés une contrainte ou un levier. L'analyse des résultats obtenus fait-elle ressortir de nouveaux principes à même de développer des solutions alternatives mieux adaptées au contexte urbain ? La structure adoptée dresse un état des lieux de la consomma-

tion, puis explique la démarche qui a conduit à ce résultat avant de positionner l'enjeu sur l'énergie consommée puis dissipée par les activités des occupants en fonction de l'usage des bâtiments. Trois perspectives à propos de cette ressource énergétique sont alors discutées :

— Comment et à quelles fins la récupérer ?

— Comment l'évacuer pour limiter l'inconfort thermique en été?

— Comment concilier liberté d'usage et économie d'énergie ?

La deuxième partie s'appuie sur le principe selon lequel la performance énergétique trouve sa légitimité à condition qu'elle ne se fasse pas au détriment d'un autre aspect. Dans un premier temps elle porte le regard de la sécurité incendie sur les solutions développées dans les concepts CQHE. Cette contrainte a été privilégiée car elle est incontournable pour la sécurité des occupants. De plus la réglementation en vigueur fait appel à des moyens pour mettre en œuvre des règles de sécurité qui peuvent s'opposer à certains principes sur lesquels s'appuient des solutions énergétiques plébiscitées.

Dans un deuxième temps, les autres composantes de la qualité sont abordées selon une structure qui s'inspire de la démarche HQE dont les critères sont regroupés en quatre thèmes selon qu'ils concernent : l'adaptation au site et au contexte ; le confort et la santé ; la qualité d'usage, le facteur « temps » et le cycle de vie.

ARCHITECTURE

ET PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Projet « Bâtiment évolutif à fonction mixte » - aaPGR Architectes

Figure 1 : Chrystal Palace architecte: Joseph Paxton (1851)

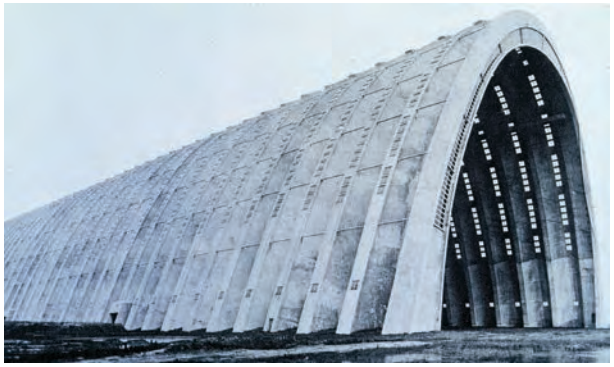


Figure 2 : Freyssinet Hangar à dirigeables
Orly 1921-1923

A l'ère industrielle, le renouvellement des formes architecturales a été essentiellement porté par les innovations techniques en structure. Le recours à la fonte puis à l'acier, suivi de l'utilisation du béton armé puis précontraint a conduit au développement de formes intimement liées à ces techniques constructives et inenvisageables antérieurement. Typiquement le Chrystal Palace et les hangars d'Orly sont les bâtiments types associés à l'usage respectif de la fonte et du béton armé.

Aujourd'hui, l'innovation en structure ne représente plus le même enjeu. Le panel technologique semble suffisamment vaste pour que la structure n'apparaisse pas comme un frein à la réalisation des formes souhaitées par les concepteurs. Les contraintes sont en général d'un autre ordre en particulier économique.

En revanche, pour répondre aux nouvelles exigences énergétiques, il n'est pas rare que certaines formes soient privilégiées et d'autres marginalisées, à l'instar de la tour, pour leur manque de sobriété effectif ou supposé. Exprimée de façon plus générique, la compacité, qui limite les surfaces en contact avec l'extérieur et réduit en conséquence les pertes de chaleur, est généralement citée en exemple comme une caractéristique vertueuse du point de vue énergétique. En corollaire, les bâtiments très découpés ou avec des surfaces vitrées importantes orientées au nord, potentiellement plus sujets aux pertes de chaleur, sont stigmatisés comme de conception peu propice aux économies d'énergie. Lorsque ces principes sont traduits quantitativement et insérés dans le programme ils influencent de façon notable la conception et il devient difficile d'aboutir à des formes qui ne soient pas stéréotypées. En conséquence la performance énergétique est perçue comme une contrainte pour le concepteur. Pourtant, il semble raisonnable de penser que l'évolution des techniques de l'enveloppe, en particulier avec l'amélioration du pouvoir isolant des matériaux et des techniques de fixation, conduise à réduire la contrainte sur la conception architecturale. Dès lors, n'est-il pas possible de croiser conception architecturale et énergétique pour trouver des solutions qui offrent une grande variété de bâtiments ? Autrement dit, comment l'optimisation énergétique du bâtiment peut-elle contribuer à enrichir l'architecture ?

Il ne s'agit pas de hiérarchiser architecture et technique énergétique, mais de voir dans quelles mesures la confrontation des deux disciplines permet une relation de réciprocité. Comment faire en sorte que l'exigence énergétique ne réduise pas les degrés de liberté de l'architecture et à l'inverse soit un moteur ou une source d'inspiration pour le concepteur ? Réciproquement comment l'architecture peut-elle être porteuse d'innovations techniques pour répondre aux exigences énergétiques ?

Le logement répond, d'une part, au besoin général de se loger, d'autre part, à une commande spécifique construite en fonction du lieu et des occupants. Il est donc à la fois un produit commun et un objet unique. Ainsi, nous ne cherchons pas à apporter une réponse exhaustive et générique à la question précédente mais nous privilégions une approche expérimentale construite à partir de l'analyse des huit concepts de bâtiments lauréats de l'appel à idées Concept Qualité Habitat Energie (CQHE) [CQHE-PUCA, 2007]. Le cadre très ouvert de ce programme de recherche a offert l'opportunité à des équipes de conception d'imaginer des bâtiments de logements collectifs très performants sur le volet énergétique dans une perspective à vingt ans. L'accompagnement du travail a permis, à l'instar d'une expérimentation en laboratoire, d'observer le développement du processus de conception d'un bâtiment, libre de contraintes économiques et réglementaires immédiates, porté par l'ambition de faire converger performance énergétique et qualité architecturale.

Nous présentons ici le résultat de nos observations en partant du constat, d'une nouvelle répartition des postes de consommation d'énergie, complété par l'identification et la description des raisons qui ont conduit à ce changement caractérisé par l'importance prise par la consommation d'électricité liée à l'activité des occupants. Ce poste représente dès lors un nouvel enjeu pour la réduction des consommations énergétiques. Nous nous efforçons de le définir -s'agit-il d'une ressource ? D'une nuisance ?- et de mesurer ses conséquences sur la conception afin de reconsidérer certains principes et d'ouvrir quelques perspectives. L'analyse se limite à l'énergie nécessaire au fonctionnement du bâtiment destiné à des parcelles en zones urbanisées.

Nouvelle répartition des postes de consommation

Il convient de rappeler que la performance énergétique est associée à un niveau de consommation établi dans la perspective de contribuer à l'objectif national d'une division par quatre des émissions de gaz à effet de serre. Un certain nombre d'acteurs du secteur du bâtiment se sont essayés à l'exercice de construire des bâtiments visant à répondre à cet objectif sous différentes appellations : Bâtiment BBC ; Passiv'haus ; Maison passive ; Bâtiment à énergie positive ; 50 kWhep/m^2 shon/an.

Certains de ces termes sous entendent une description précise et renvoient à un label parfois à un texte réglementaire[1], d'autres renvoient à un

1/ Arrêté du 8 mai 2007 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « haute performance énergétique », NOR : SOCU0750649A

idéal énergétique, voire une philosophie[2], ou à une intention et non à une description technique précise. Dans le cadre particulier de CQHE, l'exercice de conception a été guidé par l'objectif d'atteindre la meilleure performance énergétique possible.

L'exercice de quantification des différents postes de consommation réalisé sur les projets CQHE permet de conduire une analyse plus précise sur la répartition des besoins d'énergie et leurs conséquences. Les figures 3 et 4 permettent de mieux comprendre les changements auxquels sont soumis les logements. Elles représentent la répartition des consommations globales d'une année d'un logement exprimées en énergie primaire. Figure 3, il s'agit des consommations moyennes mesurées sur un an pour un logement collectif construit après 1975 selon les chiffres clés du bâtiment [Ademe, 2009]. Figure 4, il s'agit des consommations calculées pour le logement moyen du projet EFFIBAT [Effibat, 2009]. Cette représentation a été construite à partir de données fournies dans le cadre du travail de prospective réalisé pour le projet EFFIBAT [Trocmé, 2009] ainsi que d'hypothèses complémentaires pour être homogène avec les indicateurs utilisés par l'Ademe [Ademe, 2009]. Le détail des calculs complémentaires est disponible en annexe 2.

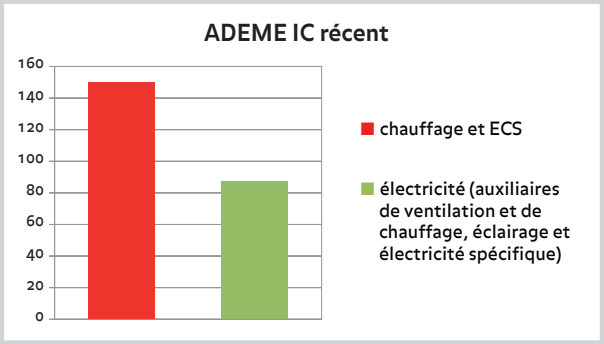


Figure 3 : répartition des consommations énergétiques en énergie primaire d'un logement moyen construit après 1975, chiffres clés du bâtiment Ademe 2009.

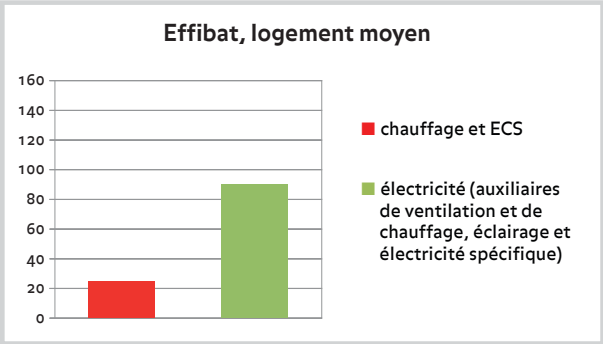


Figure 4 : répartition des consommations énergétiques en énergie primaire d'un logement dans le projet Effibat, Claude Franck.

Elle montre ce que pourrait devenir la répartition des consommations dans le logement dans une perspective à vingt ans. Par rapport aux consommations actuelles mesurées dans les logements collectifs, il ressort que la part de la consommation due aux usages spécifiques de l'électricité devient majoritaire et prend la place du couple formé par l'eau chaude sanitaire et le chauffage. Dans les autres projets, les estimations ou les hypothèses faites sur la consommation d'électricité des autres usages, comme la cuisson, le froid alimentaire ou la bureautique, n'ont pas été explicitées, excepté pour le projet Ecolocatif. Cependant, en prenant comme hypothèse les valeurs moyennes proposées dans les chiffres clés de l'ADEME [Ademe, 2009], la répartition obtenue pour les autres projets CQHE conduit à des ordres de grandeur similaires[3] (figure 5 à figure 9).

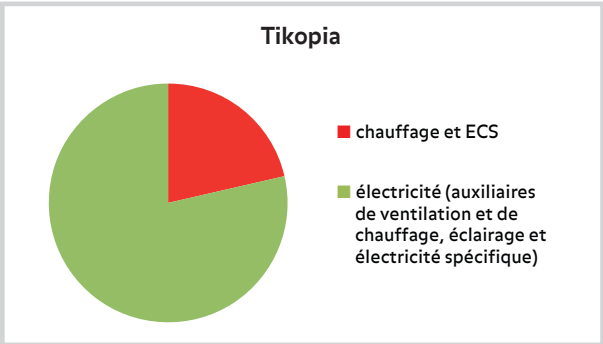


Figure 5 : Estimation de la répartition des consommations par poste, Tikopia

2/ « Le directeur d'Elithis reconnaît d'ailleurs que le terme « énergie positive » relève plus, pour lui, d'une philosophie que d'une appellation technique », Eric Leysens, retour d'expérience : la tour Elithis est-elle vraiment un « bâtiment à énergie positive » ?, LEMONITEUR.fr, 20/04/2010

3/ Les valeurs absolues utilisées pour construire les camemberts sont disponibles en annexe 2.

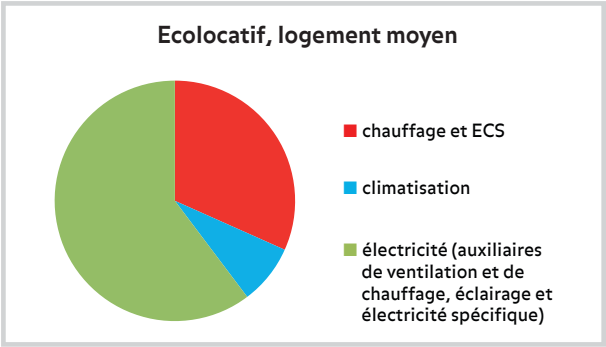


Figure 6 : Estimation de la répartition des consommations par poste, Ecolocatif

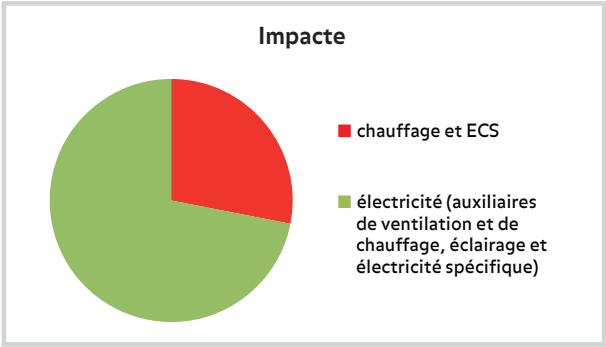


Figure 7 : Estimation de la répartition des consommations par poste, Impacte

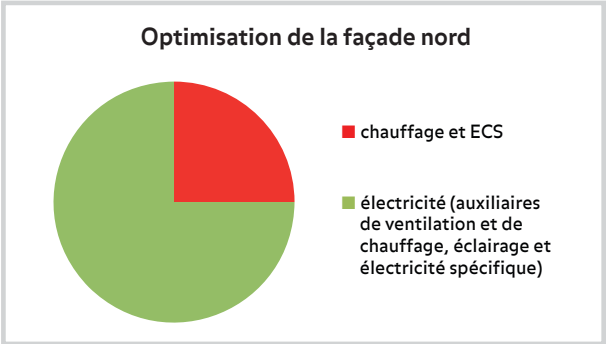


Figure 8 : Estimation de la répartition des consommations par poste, Optimisation de la façade nord vitrée

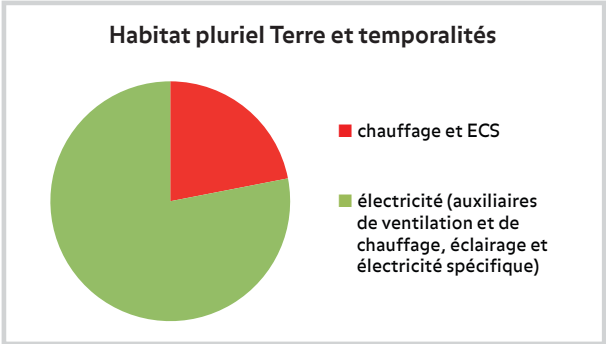


Figure 9 : Estimation de la répartition des consommations par poste, Habitat pluriel, Terre et temporalités

Ainsi la réduction attendue des consommations d'énergie, bien que significative ne permet-elle pas d'atteindre l'énergie positive visée dans les bâtiments neufs. En revanche, elle repositionne l'enjeu sur les consommations liées à l'activité, l'usage et le comportement et soulève des questions sur leur origine, leur utilisation et leur éventuelle réduction. Cependant, ces consommations ne sont pas indépendantes, la réduction de l'une peut entraîner l'augmentation de l'autre. Avant d'envisager de nouvelles mesures d'économies d'énergie, il convient d'établir au préalable les liens phénoménologiques qui existent entre l'énergie consommée pour le confort, essentiellement thermique et visuel, et celle consommée pour l'activité. L'obtention de conditions confortables en saison froide repose sur l'équilibre constant, au moins pendant les périodes d'occupation, entre les « besoins » en chaud du bâtiment et les « ressources » énergétiques mobilisables. Les ressources sont nombreuses, elles peuvent provenir du potentiel offert par le site ou par les activités du bâtiment voire des bâtiments voisins :

— ressources provenant du site (soleil, vent, sol, etc.) dont la disponibilité dépend de la densité et de l'aménagement urbain.

— ressources liées aux activités : apports liés à la chaleur dégagée par les occupants et par les équipements utiles à l'activité, récupération des pertes de chaleur des systèmes installés dans le bâtiment (pertes du système de stockage de l'ECS, pertes par renouvellement d'air, chaleur contenue dans les eaux usées…), gain lié à la mutualisation d'énergie entre plusieurs bâtiments ou usages, récupération de chaleur sur les systèmes producteurs de froid, etc.

Pour cela, il convient de regarder la répartition des postes de consommation en énergie finale, c'est-à-dire, l'énergie disponible pour l'occupant pour sa consommation [figure 10]. Cette expression de l'énergie permet de se limiter à ce qui se passe dans le bâtiment et donc de s'affranchir des transformations de l'énergie en amont du compteur, dues notamment à sa production.

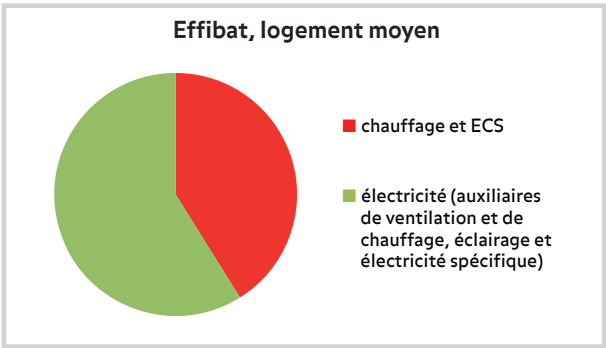


Figure 10 : répartition des poste de consommation en énergie finale d'un logement

De fait, de la figure 10 il ressort que les autres usages, par l'énergie dissipée, présentent une quantité de chaleur annuelle supérieure aux besoins de chauffage ou d'eau chaude sanitaire. Dans quelles mesures les moyens mis en œuvre pour les récupérer sont-ils optimisés ? En corollaire, les réduire reviendrait-il à augmenter les besoins de chauffage ou d'eau chaude sanitaire ? L'objectif de la performance énergétique n'est pas de faire basculer la consommation d'un poste à un autre, mais bien de la réduire globalement pour un même niveau de service et de confort. Cet antagonisme montre que le choix ne peut être unilatéral. Avant d'arbitrer en faveur d'une orientation technique plutôt qu'une autre, il convient d'avoir des éléments chiffrés. Le basculement des ordres de grandeur peut remettre en cause les principes traditionnels.

Nous proposons à travers les exemples CQHE d'analyser les phénomènes complémentaires et antagonistes mis en jeu dans une analyse énergétique. L'analyse quantitative des éléments chiffrés disponibles offre l'opportunité d'identifier de nouveaux équilibres et d'orienter le cas échéant vers des solutions s'appuyant sur des principes alternatifs.

La sobriété énergétique à l'origine de la performance

De manière classique, la démarche de conception sur le volet énergétique a été de chercher la sobriété et donc de limiter le chauffage, le premier poste de consommation dans les logements traditionnels. Dès lors, le travail de recherche a porté d'abord sur la diminution des pertes de chaleur en travaillant à différents niveaux sur les trois éléments clés : la compacité pour diminuer le développé de surface ; l'enveloppe isolante et étanche ; le vitrage qui présente un potentiel d'isolation plus faible qu'une paroi opaque.

Pour chacun des composants précédents nous rappelons les effets physiques attendus des principes traditionnels et les conséquences énergétiques sur un plan qualitatif. Le volet quantitatif est abordé ensuite à travers le prisme de la nouvelle distribution des postes de consommations observée précédemment.

Tableau 1 : analyse phénoménologique de composants d'enveloppe

CHOIX TECHNIQUES	EFFETS PHYSIQUES	CONSÉQUENCE ÉNERGÉTIQUE	
		Qualitative	Quantitative en regard des nouvelles exigences et des contraintes urbaines
L'Enveloppe	Très isolée et étanche, elle génère peu de pertes de chaleur. Les apports internes et solaires contribuent largement au chauffage de l'ambiance.	Le bilan est positif sur la demande en chauffage. En revanche, en période de refroidissement ou pour le confort d'été, si l'isolation réduit les apports solaires elle présente également un risque de confinement.	Si la consommation de chauffage est prédominante le bilan énergétique global est positif, en revanche si le besoin en refroidissement est majoritaire alors le bilan est plus difficile à établir. Or, l'effet d'isoler tend à réduire la période de chauffage donc à diminuer son impact dans la consommation globale.
Le vitrage	En réduisant le vitrage, le potentiel d'isolation augmente et mécaniquement les pertes de chaleur sont potentiellement plus faibles. Cependant, moins de vitrage entraîne moins d'apports solaires donc moins de chaleur. Parallèlement, il y a moins d'éclairement naturel donc une plus grande consommation d'éclairage artificiel, dont l'énergie, utilisée pour répondre au confort visuel, se dissipe en chaleur et vient diminuer les besoins en chaleur. Par ailleurs, la section d'ouverture plus petite réduit la possibilité d'évacuer la chaleur par aération.	Moins de chaleur par les baies c'est positif en été et négatif en hiver. Moins de lumière par les baies c'est plus de consommation d'électricité pour l'éclairage, mais plus de chaleur dissipée donc ce peut être positif en hiver sur un plan énergétique alors qu'en été c'est négatif. Une possibilité réduite d'évacuer la chaleur par les baies, donc un aspect plutôt négatif pour le confort d'été.	On observe des effets antagoniques complexes. La faiblesse des besoins de chauffage, l'allongement de la période sensible au confort d'été font que le refroidissement et l'éclairage peuvent être du même ordre de grandeur ou dépasser le chauffage. Il conviendrait de privilégier la vue ou le confort visuel dans le choix de la dimension et de la position des surfaces transparentes.
La compacité	Moins de parois en contact avec l'extérieur, c'est moins de pertes de chaleur, mais cela conduit à moins de vitrage du fait de logements plus profonds rarement traversants. Dès lors il faut s'attendre à moins d'éclairement naturel et plus de consommation directe.	Moins de perte de chaleur c'est positif pour le chauffage, en revanche les logements plus profonds sont moins éclairés donc la consommation d'éclairage est plus forte. La proximité entre les locaux est plus grande. Il est alors plus facile de faire des transferts de chaleur ou d'avoir des parois adiabatiques. En été, il est plus difficile d'aérer des logements non traversants.	On observe des effets antagoniques complexes. Avec le renforcement de l'isolation, les pertes par les parois sont faibles et donc diminuer le développé de surface perd de son impact en absolu. En revanche, le poids de l'éclairage peut devenir plus important si on travaille en énergie primaire (facteur 2.58). La faiblesse des pertes de chaleur combinée à l'importance des apports internes augmente les besoins en froid. L'effet traversant sur le confort peut être déterminant pour se passer de climatisation.

Les effets antagoniques présentés ici sont classiques mais confrontés à de nouveaux ordres de grandeur ils peuvent transformer certains principes liés à la recherche de la sobriété énergétique. De fait, le renforcement du pouvoir isolant de l'enveloppe réduit la durée de la période de chauffage et les puissances appelées. Il en résulte un nouvel équilibre entre les demandes de refroidissement et de chaleur. La dernière colonne laisse entrevoir la difficulté d'arbitrer des orientations techniques dès lors que la demande de chauffage n'est plus majoritaire.

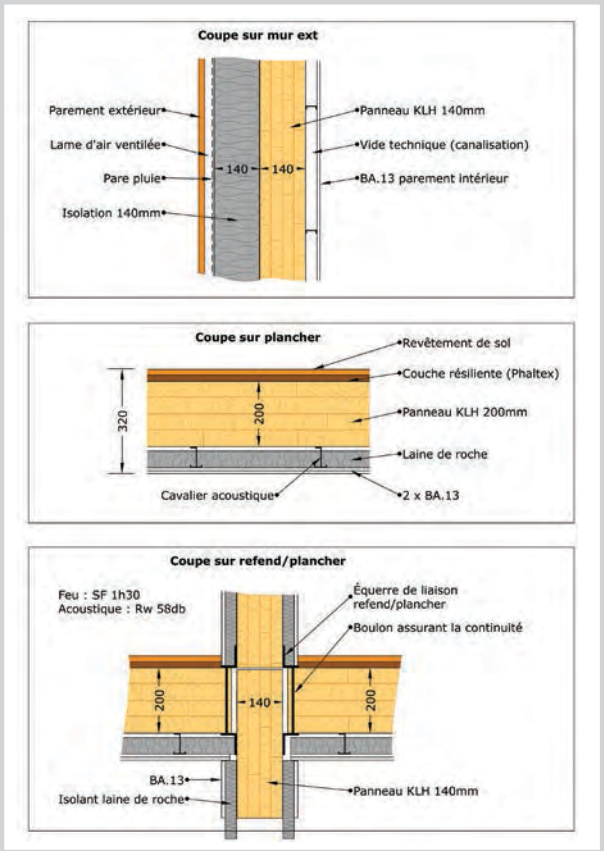
Nous proposons à travers trois exemples de voir les conséquences de ces nouveaux équilibres sur les choix techniques et la conception.

Illustration : le travail sur l'enveloppe dans le projet « Ecolocatif en bois »

Le bâtiment « Ecolocatif en bois » imaginé par Archic [Ecolocatif], abrite environ 80 studios destinés à des étudiants. Les logements sont mono-orientés et disposent tous d'un équipement complet cuisine, bureautique, salle de bain.

Figure 11 : projet « Ecolocatif en bois » Archic architectes

Le bâtiment bénéficie d'une excellente isolation et la structure bois permet de limiter les ponts thermiques de liaison.



ENVELOPPE	
Structure	Dalles et murs massifs en lamellé collé bois (conductivité = 0,1 $W.m^{-1}.K^{-1}$)
Isolation	Laine de roche (épaisseur sur murs 14 cm)
Fenêtre	Double vitrage isolant (Uw=1.3 $W/(m^2.k)$)
Bilan	Enveloppe très isolante à inertie très légère

Figure 12 : Caractéristiques de l'enveloppe du projet Ecolocatif

La volonté de réduire les consommations s'est traduite en priorité par une amélioration de l'isolation et de l'étanchéité de l'enveloppe accompagnée d'un meilleur rendement des systèmes de chauffage. De façon concomitante la consommation d'électricité liée aux équipements reste conséquente. Il en ressort sur le plan énergétique une double conséquence :

— Une consommation directe pour l'électricité spécifique qui est devenue un des premiers postes de consommation sinon le poste majoritaire.

— Calculées à partir de scénarios conventionnels pour l'occupation et avec les données météorologiques de la région parisienne, les consomma-

tions en refroidissement sont près de deux fois plus élevées que celles en chauffage avec respectivement 13 et 7.7 kWhep/m² en énergie primaire.

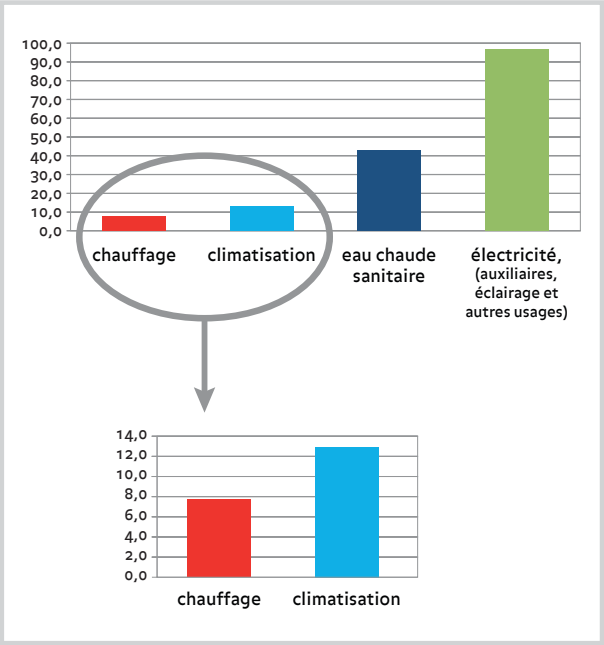


Figure 13 : consommation par poste en kWhep/m² par an pour le projet Ecolocatif en bois [Ecolocatif, Costic]

En période estivale, l'importance des apports internes et la difficulté d'évacuer la chaleur afférente dans des logements mono-orientés sont à l'origine des besoins en froid importants. L'effet est particulièrement marqué sur ce concept par la faible taille des logements qui augmente la densité des apports de chaleur.

A l'inverse, en hiver une partie non négligeable de la chaleur dissipée par l'activité est récupérée et contribue au chauffage des locaux. La conjonction de ces apports et de l'effort d'isolation réalisé sur l'enveloppe se traduit directement par une baisse des besoins de chauffage. Il en ressort, le basculement observé de la consommation d'énergie pour la production de chaleur vers la production de froid. La nouvelle distribution des postes de consommation d'énergie observée, ouvre des perspectives à des solutions constructives alternatives orientées vers les économies de refroidissement et d'éclairage au même titre que le chauffage. Les choix architecturaux et techniques relatifs au vitrage deviennent essentiels.

Illustration : le vitrage dans le projet « façade nord vitrée » [Alter Smith, 2009]

Ce projet de bâtiment revisite l'approche bioclimatique classique consistant à vitrer fortement la façade sud et à réduire les vitrages en façade nord. L'architecte a privilégié la vue sur la Loire par rapport aux principes bioclimatiques classiques, d'où une façade nord entièrement vitrée. La solution technique pour conserver une isolation de haut niveau, met en place un triple vitrage avec une lame d'air réchauffée par la chaleur captée dans un mur trombe au sud puis transférée au nord. L'ensemble est équipé de fermeture pour la nuit. La présence du jardin d'hiver au sud permet de récupérer les apports solaires, de les stocker en partie dans une dalle béton puis de les transférer à l'ambiance par la circulation de l'air en vue de diminuer les besoins de chauffage du logement.

Figure 14 : « optimisation de la façade nord » Alter Smith architectes

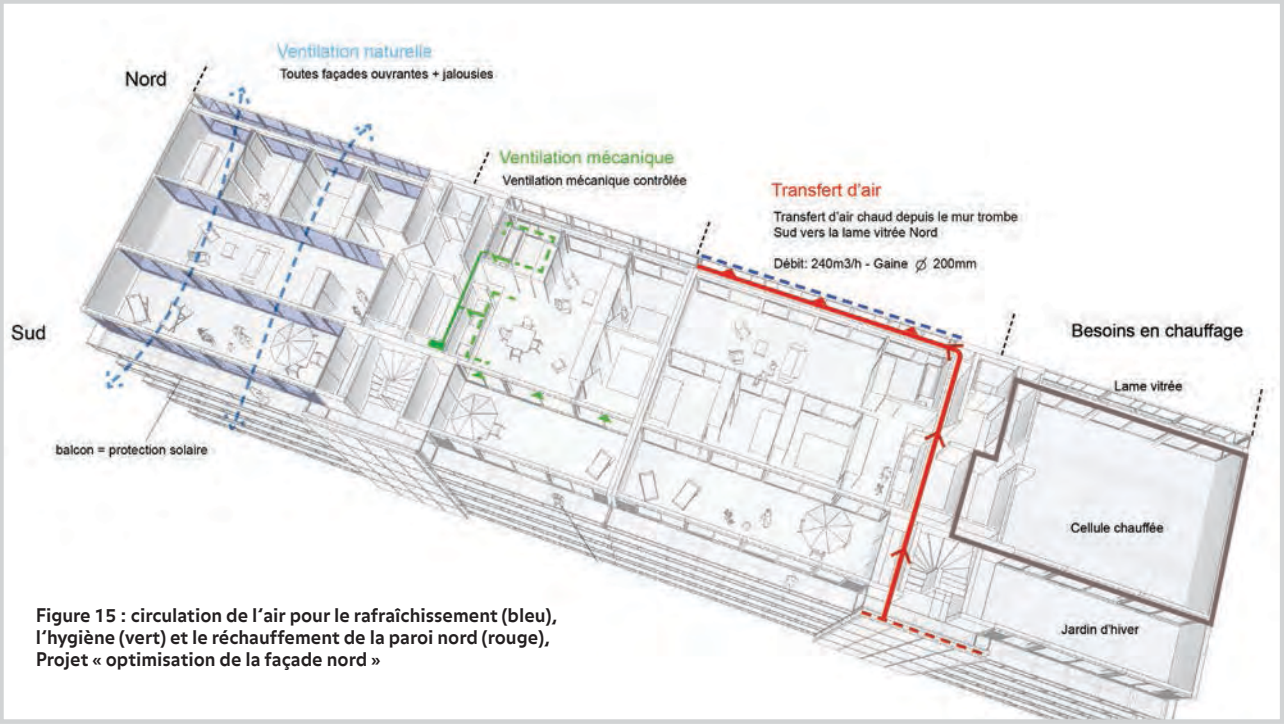


Figure 15 : circulation de l'air pour le rafraîchissement (bleu), l'hygiène (vert) et le réchauffement de la paroi nord (rouge), Projet « optimisation de la façade nord »

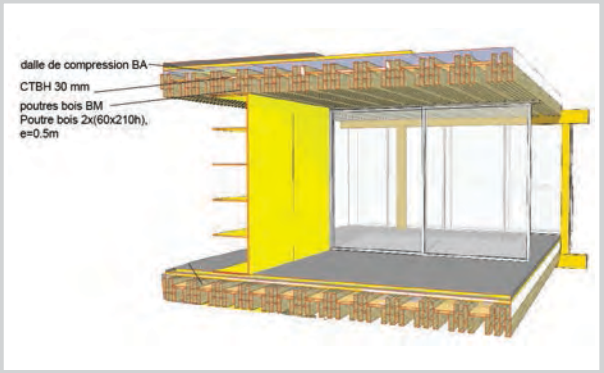


Figure 16 : « optimisation de la façade nord » : principe de la structure associant bois et béton

Les résultats obtenus (figure 17) montrent que le choix d'une façade vitrée nord n'est pas incompatible avec la performance énergétique. Selon la nature des énergies retenues, électricité, gaz ou solaire, pour le système énergétique la performance oscille entre le niveau THPE 2005 et BBC Effinergie. Les consommations en chauffage sont maîtrisées et le confort d'été est maintenu par la présence de masques horizontaux, qui limitent les apports solaires l'été au sud, et par l'inertie de la dalle couplée à une forte possibilité d'évacuer la chaleur grâce aux grandes ouvertures réparties sur deux façades qui permettent de ventiler transversalement. La solution énergétique mise en œuvre s'appuie sur l'innovation technologique

$kWh_{ep}/m^2.an$	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 4	Solution 5
Chauffage	34,7	14,8	15,0	14,2	14,2
ECS	50,1	13,9	7,5	7,5	7,5
Eclairage	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Auxiliaires	–	1,1	1,9	1,7	1,7
Ventilation	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
PV	–	–	–	–	-12,0
Cep	**92,6**	**37,5**	**32,1**	**31,2**	**19,2**
Niveau de Label	THPE 2005	THPE 2005	BBC-Effinergie	BBC-Effinergie	Equivalent Minergie
Etiquette Energie	138 (C)	47 (A)	37 (A)	35 (A)	16 (A)
Etiquette Climat	5 (A)	11 (C)	8 (B)	8 (B)	8 (B)

Figure 17 : « optimisation de la façade nord », consommation énergétique obtenue en fonction de la nature de l'énergie

Figure 18 : « optimisation de la façade nord », accès à l'éclairement naturel en façade nord

Chambre Sud sur jardin d'hiver R+2 Séjour Sud sur jardin d'hiver R+4

Figure 19 : « optimisation de la façade nord » qualité de l'éclairement naturel dans les locaux exposés au sud

des vitrages mais également sur la cohérence d'ensemble du concept qui exploite le fonctionnement dynamique des matériaux en phase avec la projection faite par l'équipe de conception dans la façon d'utiliser le bâtiment. Le jardin d'hiver au sud, équipé d'une dalle en béton sur une structure bois, stocke les apports solaires et préchauffe l'air neuf. Il devient également un espace habitable dès lors que la température le permet.

L'estimation du confort lumineux est plus délicate avec des outils dont la destination est le calcul de la consommation énergétique. Néanmoins, pour un scénario équivalent et une puissance installée conventionnelle, la consommation annuelle d'éclairage de 4.5 kWhep/m^2 dans ce logement est deux fois plus faible que dans les autres concepts étudiés et qu'un bâtiment type de la réglementation RT2005.

Il ressort que l'on obtient une performance énergétique d'un niveau équivalent aux autres concepts alors même que la proportion et l'orientation du vitrage résultent d'un choix architectural motivé par la vue et la lumière

Illustration : la recherche de la compacité dans le projet « Impacte »

Le bâtiment du projet Impacte [Impacte, 2009] regroupe des locaux à usage de commerce en rez-de-chaussée, des bureaux orientés au nord et des logements dont la majorité est en duplex, orientés au sud [figure 20]. Cet agencement a été pensé de manière à être le plus compact possible afin de limiter le développé de surface en contact avec l'extérieur et réduire les pertes de chaleur. Les bureaux disposés au nord bénéficient de l'éclairement naturel diffus, ils protègent également du froid les parois « septentrionales » des logements. A l'inverse ces derniers orientés sud profitent plus du rayonnement solaire direct et des apports de chaleur afférents plus forts. Le rez-de-chaussée souvent pénalisé par l'ombre portée des bâtiments voisins est réservé aux commerces.

Néanmoins, la compacité et la juxtaposition de locaux avec des usages différents font qu'ils ne sont pas traversants. En conséquence la possibilité d'évacuer la chaleur par aération est réduite même si l'effet de tirage thermique peut être augmenté par la disposition en duplex des logements. La profondeur des espaces, en particulier de bureaux, réduit l'accès à l'éclairement naturel.

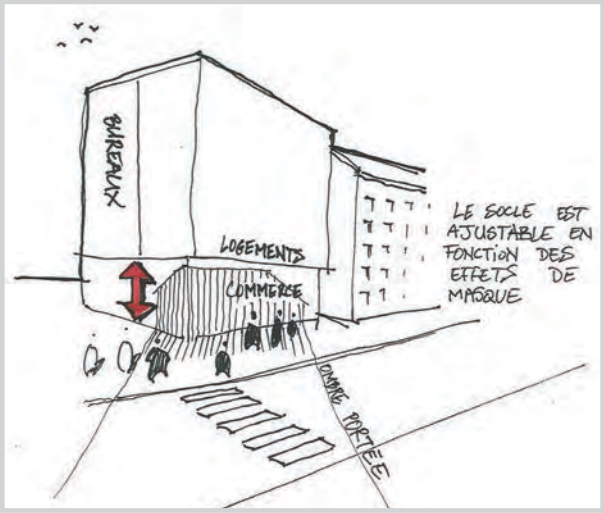


Figure 20 : Projet « Impacte », Architecture Pélegrin, organisation de la mixité d'usages

Le concept a fait l'objet d'une étude de sensibilité à la compacité qui conclut que le regroupement dans un même bâtiment des trois usages conduit à un gain énergétique par rapport à des bâtiments éclatés à l'opposé de la compacité [figure 21].

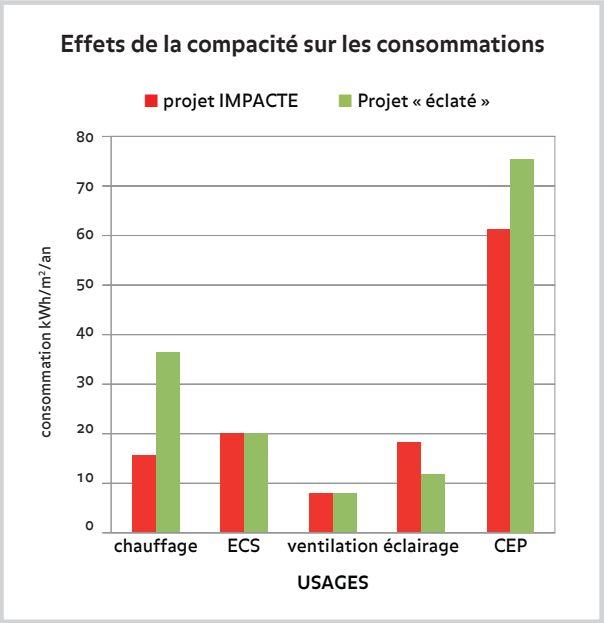


Figure 21 : « Impacte », consommation des différents postes selon la forme du bâtiment

Cependant, l'écart n'est pas spectaculaire et après regroupement des bâtiments la consommation de l'éclairage dépasse celle du chauffage. La comparaison entre ces cas extrêmes montre un avantage pour un bilan énergétique d'un regroupement, mais que l'effet positif n'est pas assez significatif pour être tranché sans une approche quantitative. Ainsi de manière à renforcer les économies d'énergie des puits de lumière sont-ils envisagés dans la partie bureaux. Dans ce cas particulier, pour apprécier quantitativement les effets pour un arbitrage, il convient d'évaluer les relations de causes à effets entre les phénomènes thermiques et visuels du rayonnement solaire et les conséquences sur les besoins d'énergie. Dès lors, l'amélioration des technologies liées à l'enveloppe ne permet plus de conclure systématiquement sur l'effet positif de la compacité sur le bilan énergétique. D'une manière générique, elle met l'accent sur l'intérêt de recourir à des outils et à des méthodes de conception mettant en interaction différentes disciplines.

Les usages spécifiques de l'électricité

De cette approche quantitative, à travers trois exemples, il ressort que les choix traditionnels relatifs à la compacité, à l'orientation et la taille des vitrages, pilotés selon une logique de maîtrise des transferts de chaleur pour limiter le chauffage atteignent certaines limites. De fait :

— la question du confort d'été ou de la consommation de climatisation devient prédominante sur le chauffage dans de petits logements fortement isolés y compris au nord de la Loire comme nous le montre le projet Ecolocatif en bois ;

— la façade nord vitrée, du projet développé par Alter Smith, est compatible avec la performance énergétique ;

— la compacité du projet Impacte induit une consommation d'éclairage supérieure à la consommation de chauffage.

Comme nous venons de le voir, les améliorations techniques de l'enveloppe, qui renforcent sa capacité isolante et son étanchéité, rendent minoritaires les consommations de chauffage. Il convient alors dans une approche énergétique, d'accentuer l'attention portée à l'impact de la conception sur l'éclairage et au confort thermique d'été. Ce nouvel équilibre représente plus une opportunité qu'une contrainte pour la conception dans la mesure où les transferts de chaleur à travers l'enveloppe sont plus faibles. Ils sont donc moins prégnants dans les arbitrages sur la distribution des vitrages et sur la forme des bâtiments. Il conviendrait de s'appuyer sur les avancées faites sur l'enveloppe pour redonner, par exemple, leur importance aux rôles premiers du vitrage à savoir l'ouverture visuelle sur l'extérieur et la transmission de lumière.

Cependant, compte tenu de l'interdépendance des effets, un bâtiment, dont la conception ferait abstraction de la contribution des apports solaires au chauffage, serait privé en partie d'apports de chaleur et potentiellement sa consommation de chauffage augmenterait. Mais cette réalité phénoménologique doit être étudiée au regard de l'importante quantité de chaleur dissipée du fait de l'activité humaine et des équipements qui dépasse les consommations de chauffage et pose problème en été. La répartition des consommations par poste en énergie finale[4], dans le cas particulier du projet Ecolocatif en bois [figure 22], illustre bien ce propos avec une énergie consommée puis dissipée dans le logement pour les autres usages de l'électricité, l'éclairage et les auxiliaires plus de douze fois supérieure à la consommation de chauffage.

4/ Il convient d'apporter une précision sur le sens de l'énergie primaire et de l'énergie finale. L'énergie finale est la quantité d'énergie dissipée en aval du compteur donc a priori dans le bâtiment avec une possibilité de récupération locale. L'énergie primaire intègre en plus les pertes relatives à la production, elle rend donc plus facilement compte de l'empreinte sur l'environnement. Dès lors, pour l'occupant, l'exploitant, le gestionnaire, l'énergie finale a une signification économique puisqu'elle est facturée. En revanche, l'énergie primaire a plus de sens à une échelle nationale qu'à une échelle bâtiment. Le passage de l'énergie finale à l'énergie primaire se fait conventionnellement en appliquant un facteur 1 aux énergies fossiles et 2.58 à l'électricité.

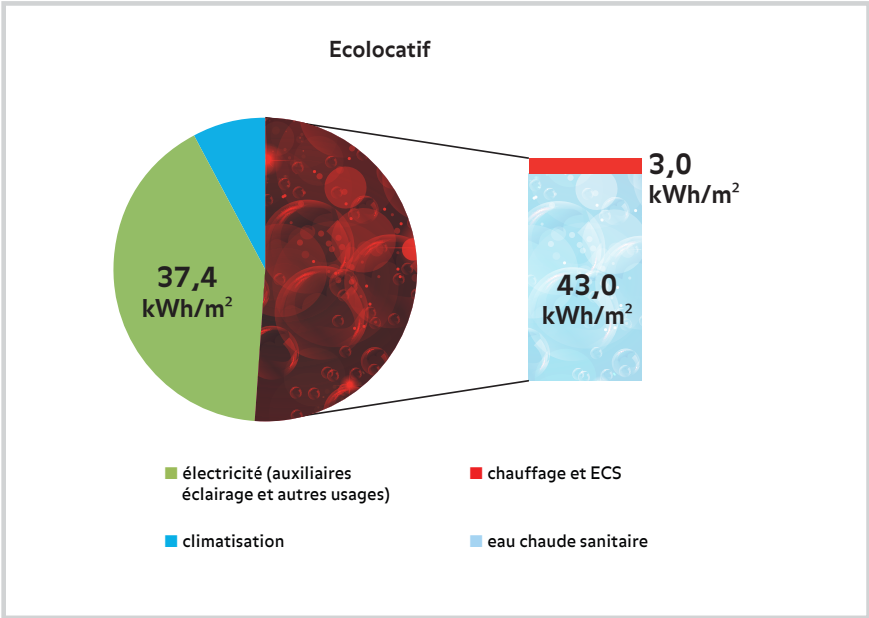


Figure 22 : « Ecolocatif en bois » Archic architectes. Répartition des consommations en énergie finale par poste [Ecolocatif, costic]

Les ordres de grandeur[5] mis en jeu montrent que la chaleur dissipée sur l'année par les autres usages représente un potentiel énergétique qui semble suffisant pour couvrir les besoins de chauffage et une nuisance pour le confort thermique d'été dans ces concepts de bâtiments. Leur récupération est cependant insuffisante pour s'affranchir d'un système de chauffage. Quelles sont les freins à l'exploitation de cette ressource ?

L'approche quantitative en cumul annuel ne permet pas d'observer la concomitance ou le déphasage entre les événements qui conduisent respectivement aux besoins de chauffage et à la « dégradation » de l'énergie, utilisée pour l'activité, en chaleur. En vue d'explorer les raisons de la sous exploitation de cette ressource, il convient d'adopter une analyse dynamique des événements et donc de se projeter dans le fonctionnement du bâtiment. L'objectif est d'identifier, dans le temps et dans l'espace la nature et la quantité d'énergie utilisée en regard de l'activité des occupants. Les projets CQHE nous apportent des cas d'études pour poser un premier diagnostic sur les apports internes afin d'identifier les pistes à explorer pour progresser dans leur caractérisation qualitative et quantitative et de les mettre en regard des besoins auxquels ils pourraient répondre.

5/ L'origine de l'importance de la consommation d'eau chaude sanitaire s'explique en partie par la population homogène qui a une demande simultanée le matin qui limite le recours à l'énergie solaire, par ailleurs, déjà réduit compte tenu du développé de surface disponible. L'installation à l'origine de pertes de distribution et de stockage apporte un complément de réponse à l'importance de cette consommation.

Les apports internes, une ressource énergétique

L'étude de l'impact des comportements sur les besoins d'énergie pour le confort thermique a été menée dans tous les projets. La majorité d'entre eux vise la récupération des énergies dissipées par l'activité humaine dans le logement. L'utilisation de ces ressources peut se faire soit de façon directe ou instantanée, soit de façon différée, ce qui suppose un stockage. L'utilisation instantanée risque de conduire à des surchauffes ou à des sous-chauffes. Le stockage permet une diffusion plus lente et régulière de la chaleur, mais il n'est pas toujours aisé de la maîtriser. Outre le système de ventilation double flux[6] avec récupération de chaleur sur l'air extrait, trois solutions qui nécessitent d'imaginer finement des scénarios d'occupation sont envisagées. Elles s'appuient :

— sur l'inertie thermique quotidienne qui traduit les réactions de l'enveloppe aux variations des sollicitations thermiques quotidiennes ;

— le stockage intersaisonnier qui vise à récupérer la chaleur estivale pour couvrir une partie des besoins de chauffage en hiver et/ou d'eau chaude sanitaire ;

— la mutualisation des besoins d'énergie en fonction des usages de manière à transférer la chaleur d'une activité à une autre.

Ces solutions visent à exploiter les décalages temporels et spatiaux qui existent entre les évé-

6/ La mise en place d'un système de double flux associé ou non à un système thermodynamique est envisagée dans les projets Effibat, Ecolocatif en bois et Bâtiment Bioclimatique Evolutif à Fonction Mixte [BBEFM, 2009]

nements mettant en jeu des systèmes énergétiques. Les événements considérés viennent :

— des fluctuations climatiques extérieures avec les variations de température et de rayonnement solaire selon des cycles, principalement, quotidiens, avec les alternances jour-nuit, et saisonniers,

— des apports thermiques intérieurs issus de l'activité qui dissipent de l'énergie d'origine métabolique et issue du fonctionnement des équipements.

L'objectif est de faire en sorte que ces apports énergétiques soient exploités de manière à répondre aux besoins du logement. L'énergie utilisée est dégradée sous forme de chaleur. Naturellement son exploitation la plus simple vise à assurer le chauffage de l'ambiance. En effet, le niveau énergétique nécessaire pour assurer le confort thermique est suffisamment faible, avec une température autour de 20 degrés, pour permettre une récupération dans l'ambiance sans autre transformation. La difficulté est de mettre en phase dans le temps et dans l'espace cette énergie dissipée avec les besoins de chauffage.

A l'échelle du logement le dégagement de chaleur maximal a lieu lorsque l'occupant est présent. C'est également le moment où le besoin de chauffage existe. La correspondance « temporelle » entre besoins et ressources dans le temps est alors bonne. En revanche, sur la quantité l'adéquation n'est pas immédiate. En effet, nous avons vu précédemment que si en cumul annuel les apports sont supérieurs aux besoins, en revanche dans l'instant il n'en va pas de même. En conséquence, en période de froid les apports peuvent être insuffisants tandis qu'à d'autres moments ils sont trop élevés. Moins le bâtiment a de pertes de chaleur plus cette deuxième situation se répète. Dès lors, il conviendrait de mettre en place des stratégies de stockage et de restitution. Une inertie lourde permet de stabiliser les températures intérieures et de limiter la quantité de chaleur nécessaire pour réchauffer l'ambiance. Cependant, les conditions de confort doivent être assurées pendant toutes les périodes d'occupation et dans tous les espaces concernés. Sur ce dernier point, il peut y avoir pléthore de ressources dans un espace (la cuisine par ex.) et un déficit dans un autre espace (une chambre par ex.), car la ressource n'est pas forcément disponible là où on en a besoin, d'où des « vecteurs thermiques » à trouver pour assurer le transfert ou transport d'énergie nécessaire. Mais les faibles différences de potentiel mises en jeu et la durée de stockage, qui augmente les pertes par diffusion de la chaleur, rendent aléatoires les bénéfices espérés.

Les questions de température et d'humidité ont été abordées d'une façon particulière par les concepteurs du projet Habitat pluriel terre et temporalités [Habitat pluriel, 2009]. Les pièces de vie sont chauffées à 20°C en hiver, la température du reste des espaces pouvant fluctuer plus librement. Ici les stimuli thermiques lors du passage d'un espace à un autre, ou au cours d'une journée, sont vus de façon positive, porteurs de sens, resserrant les liens, nécessaires, entre l'occupant et les changements de l'environnement climatique local. La démarche adoptée vise à adapter la paroi aux besoins de confort, hygrothermique[7] de l'ambiance. Ainsi la composition de la paroi est-elle conçue de manière à tirer parti des variations climatiques extérieures et des sollicitations thermiques intérieures dues à l'activité pour réguler l'ambiance.

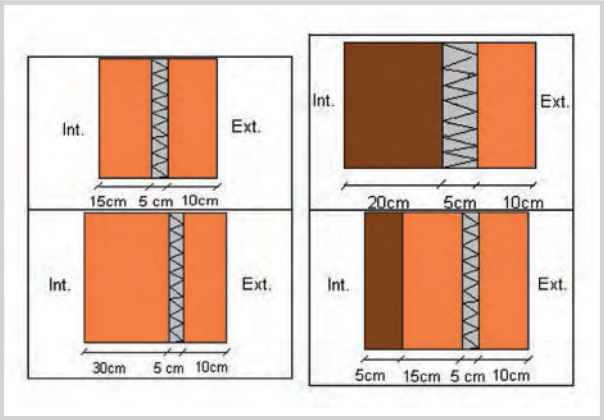


Figure 23 : « habitat pluriel terre et temporalités », Sabri Bendimérad / Tectône, différentes compositions des parois extérieures

La nature et l'épaisseur de la paroi sont déterminées par l'inertie nécessaire pour stabiliser la température intérieure au plus près de la zone de confort thermique en fonction de l'activité et du climat extérieur.

Les calculs réalisés en période estivale montrent une stabilisation de la température intérieure dans la zone de confort thermique. En revanche

7/ Ce projet va plus loin que l'approche thermique. Il intègre les échanges hydriques entre l'ambiance et les parois, qui selon leur position dans le logement, sont composées de terre crue ou cuite de différentes épaisseurs de manière à réguler le taux d'humidité dans les pièces. Les briques comprimées en terre crue employées pour les cloisons et les parements intérieurs des murs absorbent la vapeur d'eau pour la restituer progressivement plus tard. Elles contribuent ainsi à atténuer les pics d'humidité, à condition de ne pas les masquer par une peinture ou un revêtement inappropriés. Les procédés passifs de régulation d'humidité seraient à développer davantage, mais avec précaution car une humidité trop élevée ou insuffisante génère de l'inconfort et des pathologies.

un travail de sensibilité à ce paramètre pendant les périodes hivernales n'est pas exploré. Or avec la diminution drastique des pertes de chaleur, la période pendant laquelle le besoin de chauffage est effectif en continu sur la journée entière est courte et avec des appels de puissance faibles. On retrouve ici des caractéristiques en phase avec la définition de la maison passive [CEPHEUS results, 2006] qui exige une consommation de chauffage annuelle inférieure ou égale à 15 kWh/m^2 et un système de chauffage avec une puissance inférieure à 10 W/m^2. Les perspectives portent sur les possibilités de franchir ces limites et d'orienter la réflexion sur le maintien de l'ambiance dans la zone de confort par la récupération des apports internes et solaires. On peut imaginer le fonctionnement type selon lequel la structure absorbe le surplus de chaleur émise et le restitue à l'ambiance lorsque les apports sont insuffisants pour répondre aux besoins de chauffage. La réponse quantitative dépend de l'occupation et des flux de chaleur associés, de l'environnement extérieur pour la température et le rayonnement et des caractéristiques de l'enveloppe dans sa capacité à échanger thermiquement avec l'ambiance. Naturellement dans une démarche de conception, vient la question corollaire, quels matériaux retenir pour exploiter au mieux cette dynamique? Les parois, composées d'isolants traditionnels, de terre cuite et de terre crue, dans le projet habitat pluriel terre et temporalités, exploitent cette dynamique.

Cependant la réponse est partielle et un système de chauffage est envisagé. Si l'on pousse la performance énergétique jusqu'à obtenir des bâtiments suffisamment passifs qu'ils puissent se passer d'un système de chauffage traditionnel, il convient de rechercher des solutions, si possible simples et économiques qui permettent d'ajuster l'émission de chaleur aux besoins. Par exemple, il est possible de recourir à un chauffage d'appoint, qui pourrait être alimenté par des énergies renouvelables ou des pertes récupérables. Ses caractéristiques devraient être les suivantes : être disponible dans les espaces où peut se produire un déficit de chaleur, avoir une inertie faible et un organe de régulation pour pouvoir être réactif en cas d'apports gratuits brusques (ensoleillement par ex.), si possible être léger, peu cher et peu encombrant. L'association d'un système réagissant dans l'instant, à l'instar d'un double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait, offre une complémentarité qui pourrait maintenir le confort. Le principe d'un chauffage aéraulique couplé au renouvellement d'air a d'ailleurs été retenu par les projets Effibat et Ecolocatif en bois.

Ainsi, les bâtiments passifs ou BEPOS réinterrogent-ils la question du confort d'hiver. Il convient donc de distinguer l'inertie du bâtiment qui permet de stabiliser la température ambiante dans le temps de celle du système qui doit ajuster au plus près le complément de chaleur nécessaire pour assurer le confort thermique. Cependant comment vont évoluer les conditions thermiques de l'ambiance pendant les périodes extrêmes mais brèves : température extérieure très basse, longue séquence de jours « gris » empêchant la récupération d'apports solaires, retour dans les locaux après une semaine ou deux d'absence lors des vacances de Noël ou d'hiver par exemple, faible occupation ou activité dans les locaux, etc. ? Les solutions envisagées permettent-elles de répondre à la demande de confort dans ces situations critiques ? Comment remettre en température rapidement une ambiance avec une forte inertie alors que le système énergétique envisagé fonctionne avec une puissance réduite et limitée, un temps de réponse lent pour de faibles amplitudes ?

Il conviendrait de cerner les limites de fonctionnement ce qui nécessiterait de mettre dans leur contexte ces situations avec une dynamique d'occupation et un climat déterminé. Les calculs thermiques intègrent ces phénomènes de récupération, mais les résultats calculés sont limités par l'imprécision des scénarios moyens utilisés en entrée des outils de calcul. Comment prendre en compte la diversité des comportements, pour intégrer notamment les périodes de présence ou d'absence ?

Pour s'affranchir de cette incertitude liée à l'utilisation du bâtiment, il a été envisagé d'élargir l'échelle temporelle en créant un réservoir de chaleur sur de longues périodes. Le système de stockage inter-saisonnier imaginé dans le concept Tikopia [Tikopia, 2009] vise à accumuler la chaleur estivale pour la restituer l'hiver. La solution développée couple un réservoir d'eau avec des capteurs solaires thermiques. Cependant ce type d'installation est volumineux et relativement complexe en regard finalement d'un besoin de chauffage très faible. En effet, le faible potentiel, représenté par la chaleur dissipée et l'importance des pertes thermiques sur un ou plusieurs mois, nécessite une grande capacité de stockage. Pour répondre à ce paradoxe, l'alternative proposée a été de mettre en place un système qui assure un autre besoin, en l'occurrence l'eau chaude sanitaire, en s'appuyant sur des technologies matures. L'approche technico-économique permet de trouver l'équilibre entre un système privilégiant un faible recours à l'énergie solaire associé à de faibles pertes de

stockage et une alternative avec plus d'apports solaires et des pertes en conséquence. L'avantage de cette solution est qu'elle est modulable en fonction du contexte urbain, qui se caractérise par une exposition solaire pas toujours favorable, et de l'habitat collectif, qui présente des besoins en eau chaude sanitaire importants compte tenu de la surface.

Ainsi, l'existence simultanée de besoins énergétiques différents ouvre-t-elle des perspectives pour le développement de systèmes proportionnés à la demande. La diversité des usages dans une zone urbaine permet également d'identifier des complémentarités énergétiques entre les activités sous réserve de sortir du périmètre du logement. Le projet Bâtiment Bioclimatique Evolutif à fonction mixte [BBEFM, 2009] projette de récupérer la chaleur dissipée par l'activité tertiaire pour alimenter les logements [figure 24]. L'air chaud des bureaux circule dans la structure du bâtiment et est en partie transféré par les parois vers les logements, l'autre partie vient alimenter la source froide des pompes à chaleur destinées à la production d'eau chaude sanitaire.

Le principe est séduisant, cependant sa réalisation et son fonctionnement présentent des difficultés techniques et un coût énergétique et financier qui peuvent le rendre disproportionné en regard d'un besoin en chauffage réduit. En effet, ce type d'équipement verra son rendement affecté et sa dépendance au réseau électrique s'accroître par la nécessité de recourir à cette énergie pour la récupération, la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Par ailleurs, il convient de s'assurer de la pérennité de la ressource pour le fonctionnement de tels systèmes dont le fonctionnement suppose une adéquation temporelle et quantitative, entre la chaleur dissipée et les besoins. Or ces éléments dépendent fortement des scénarios d'occupation. Les profils utilisés [figure 25] renvoient à des comportements stéréotypés et à des valeurs moyennes inadaptées à l'échelle trop petite d'un bâtiment.

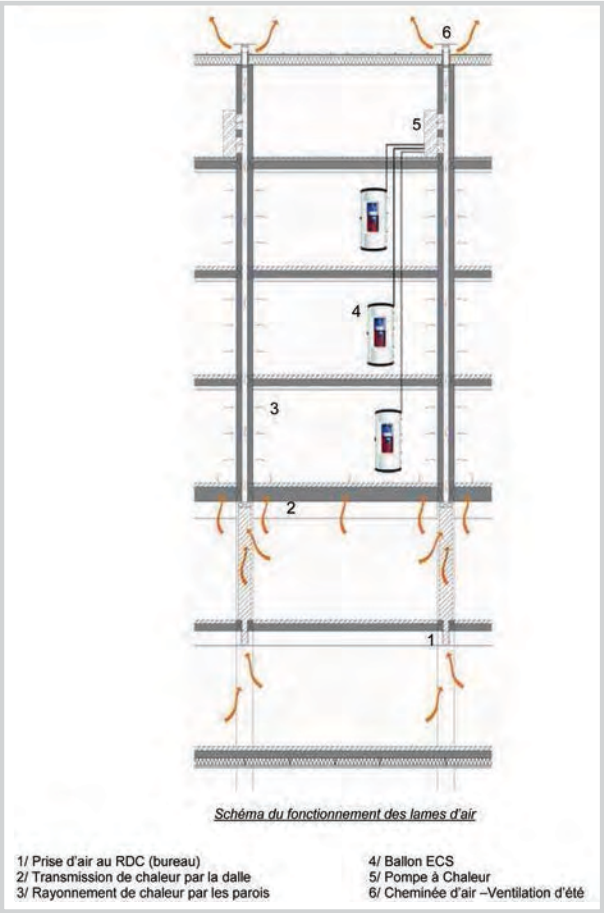


Figure 24 : « bâtiment bioclimatique évolutif à fonction mixte », Philip Ridgway, principe de transfert de chaleur des bureaux vers les logements

Le principe de mutualisation représente une alternative importante dans la mesure où la diversité d'activités est une des caractéristiques de l'environnement urbain. Mais pour explorer le potentiel de récupération d'énergie, il conviendrait d'approfondir la connaissance des profils d'occupation et les besoins d'énergie associés en travaillant sur le foisonnement et l'incertitude

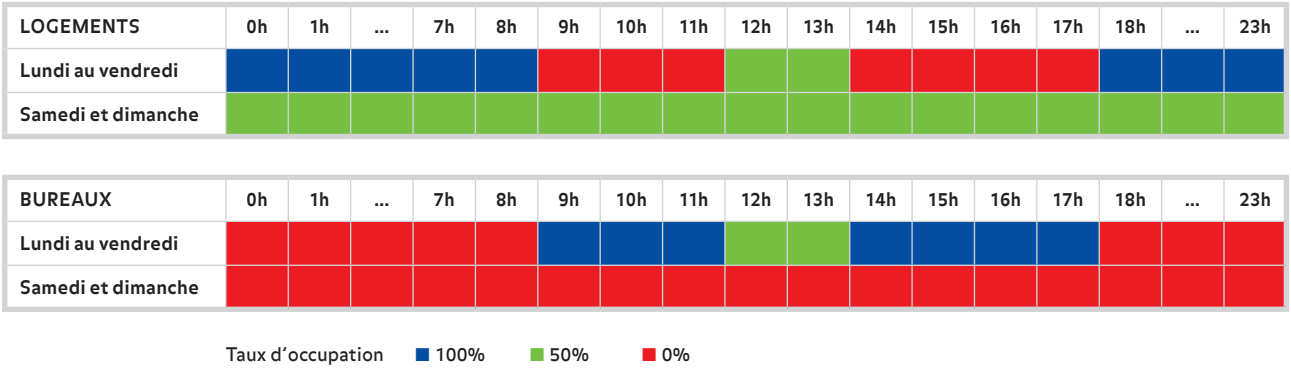


Figure 25 : « bâtiment bioclimatique évolutif à fonction mixte », Philip Ridgway, exemple de profils d'occupation utilisés pour se projeter dans le fonctionnement du bâtiment

de ces scénarios. Une piste possible pour limiter l'erreur sur les scénarios moyens est d'élargir l'échantillon.

En travaillant à l'échelle du bâtiment, on augmente le nombre de logements ce qui rend les scénarios moyens un peu plus fiables. Mais le bâtiment n'est pas une juxtaposition de cellules adiabatiques. Les transferts de chaleur, par les parois et aérauliques, créent une interdépendance thermique entre les logements. Le foisonnement de l'occupation d'un logement à l'autre fait que l'inoccupation de l'un accroît le besoin de chaleur du local mitoyen s'il s'avère occupé. Il convient donc également de localiser les besoins et les apports internes dans la perspective de mutualliser les apports de chaleur.

Il s'agirait de prendre un plus grand nombre d'occupants et donc d'élargir l'échelle spatiale. Cependant si le périmètre s'agrandit se posera la question du transport d'énergie et des pertes associées d'autant plus pénalisantes sur le rendement du système que l'énergie transportée est « pauvre ». Ces questions de stockage et de transport d'énergie, que ce soit pour des besoins de chaud ou de froid, amènent au constat que les échelles temporelles et spatiales sont intimement imbriquées dans cette recherche de mutualisation et de recyclage des ressources. Par ailleurs, à la difficulté technique viennent s'ajouter les systèmes juridiques, économiques qui se complexifient avec l'augmentation et l'hétérogénéité des acteurs. Dès lors, les perspectives de mutualisation par un agencement particulier des locaux en fonction de leurs besoins, comme le proposent les projets Impacte et Habitat pluriel Terre et temporalités, semblent plus accessibles dans un premier temps. Dans la perspective de mutualiser les ressources entre les bâtiments, la proximité entre les activités apparaît comme un facteur favorisant le développement d'un cycle vertueux de récupération et de recyclage de l'énergie.

Evacuer la chaleur pour assurer le confort thermique en mi-saison et l'été

La conjonction d'une enveloppe étanche et peu déperditive à des apports internes et solaires, qu'on cherche à récupérer pour assurer le chauffage, soulève la question de l'évacuation de la chaleur pour conserver le confort d'été ou pour limiter la consommation en climatisation. Les solutions classiques qui consistent à limiter les apports internes et solaires, utiliser l'inertie du bâtiment pour stocker la chaleur diurne puis surventiler la nuit pour l'évacuer sont efficaces. La composition des parois en contact avec l'ambiance et les vitrages joue un rôle essentiel. Nous avons vu, dans les concepts façade nord vitrée et habitat pluriel terre et temporalités, comment la nature des parois intérieures permet d'adapter l'inertie du local. Il convient également d'apporter une attention particulière à la taille, la répartition sur les façades et les orientations des baies. En effet, elles sont transparentes au rayonnement solaire qui chauffe l'ambiance. Cependant, elles contribuent également à l'éclairement de la pièce et donc limitent le recours à la consommation d'énergie pour éclairer ce qui diminue la chaleur dissipée. Par ailleurs, elles permettent d'évacuer la chaleur ambiante par surventilation lorsque la température extérieure décroît.

Le bâtiment façade nord vitrée est exemplaire de ce point de vue, car l'orientation « septentrionale » des baies est bénéfique pour le confort visuel et thermique en été dans la mesure où elle permet de conserver un accès à l'éclairement naturel tout en limitant l'exposition au rayonnement direct. Par ailleurs, les grandes ouvertures sur les deux orientations favorisent les écoulements d'air, en absence de vent, de la façade à l'ombre à celle ensoleillée et permettent ainsi d'évacuer la chaleur ambiante. Les résultats simulés montrent que la température ambiante reste inférieure à 26°C au mois de juillet dès lors que le bâtiment dispose d'un masque horizontal de un mètre sur sa façade sud.

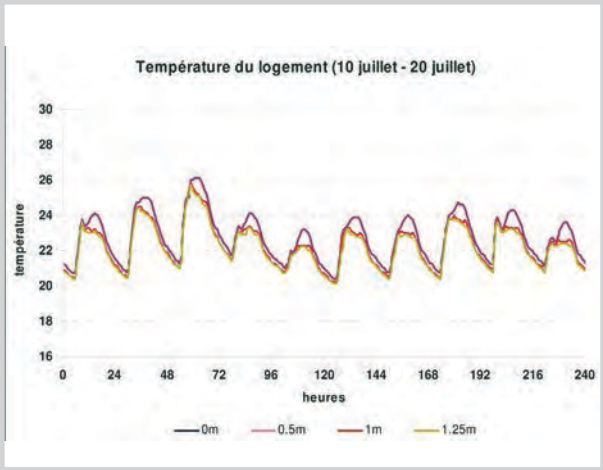


Figure 26 : évolution de la température dans un logement du bâtiment Façade nord vitrée [architecte : Alter Smith]

Toutefois, indépendamment du bâtiment, ce principe de rafraîchissement ne fonctionnera que si le climat extérieur le permet avec des écarts de températures entre le jour et la nuit suffisamment importants pour permettre de rafraîchir la nuit. Typiquement, la température nocturne doit descendre aux alentours de 15°C et la température moyenne quotidienne doit être de l'ordre

de 25°C. Dans le cas contraire l'inertie est inopérante. Dès lors, l'environnement proche du bâtiment doit permettre de limiter l'effet de l'îlot de chaleur (ICU) ou d'une canicule. L'ICU est l'écart de température de l'air près du sol dans les zones urbaines, il correspond à l'élévation de la température du noyau urbain par comparaison avec les zones environnantes [ICU, 2008]. Les espaces végétalisés sont des éléments permettant de réduire ce phénomène. D'une part, ils limitent l'exposition au rayonnement solaire des surfaces urbaines, constituées de la voirie et des bâtiments, qui emmagasinent cette énergie avant de la convertir en chaleur sensible et élever la température extérieure. D'autre part, les plantes contribuent à refroidir l'ambiance grâce au mécanisme de l'évapotranspiration, qui permet d'évaporer l'eau du sol extraite par les racines.

Par ailleurs, il convient de s'assurer qu'ouvrir les fenêtres pour évacuer la chaleur ne génère pas d'autres désordres sur l'ambiance, en particulier avec des nuisances sonores ou une pollution éventuelle dues par exemple à la circulation. Les risques d'intrusion sont aussi à gérer, que ce soit de personnes, d'animaux ou d'insectes, sans oublier la pluie. Ces contraintes relèvent de l'adaptation au site. Ainsi, en ville, pour prétendre se passer de système de refroidissement, une conception passive ne suffit pas. Il convient d'élargir la problématique à l'échelle urbaine pour tenir compte des conflits éventuels avec d'autres critères.

Pour des conditions météorologiques données, le confort thermique en été est donc impacté par de nombreux paramètres, tels que la nature des activités locales, les voies de circulation, la hauteur des bâtiments rapportée à la largeur des voies, l'emplacement des espaces verts, qui dépendent de l'aménagement et de l'organisation à l'échelle du quartier. La collectivité joue donc un rôle essentiel car elle va contribuer à donner ou non à l'équipe de conception les moyens de garantir le confort thermique d'été sans système de climatisation. Il restera à charge de cette dernière d'exploiter ce potentiel. Ainsi, le succès des solutions mises en œuvre pour le confort d'été dépend d'une convergence d'actions et d'une coordination entre les acteurs qui travaillent à l'échelle urbaine et ceux qui œuvrent à l'échelle des bâtiments.

Dans le concept habitat pluriel terre et temporalités, qui se présente comme une nappe de logements, il est possible, de par la taille importante de la parcelle proche de l'îlot, pour l'équipe de conception d'agir sur le potentiel du site en travaillant sur la forme des bâtiments. Compte tenu du gabarit des bâtiments, constitués d'un rez-de-chaussée surmonté de deux étages, et du niveau d'isolation de l'enveloppe, un travail de sensibilité sur la compacité fait ressortir l'impact limité à 6% de ce paramètre sur les besoins de chauffage. L'accent a alors été mis sur l'intégration dans le bâti de systèmes énergétiques passifs de récupération des apports solaires (mur trombe, serre, larges baies vitrées) et d'éléments favorisant l'accès à l'éclairage naturel (shed). La ressource solaire est alors pérennisée par la limitation des ombres portées du fait d'un travail sur une surface étendue. L'inertie des matériaux intérieurs en brique, la végétalisation des toitures, le fort renouvellement d'air et la sélection d'occultations à partir d'une étude solaire annuelle contribuent à maintenir le confort thermique en été.

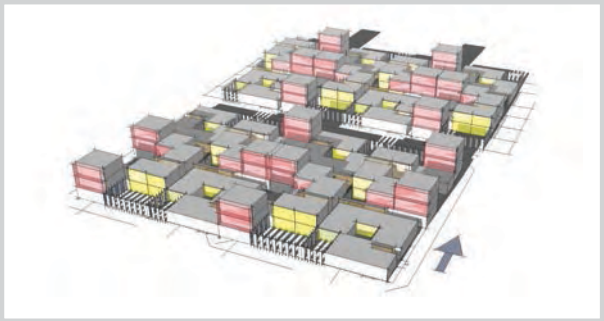


Figure 27 : habitat pluriel terre et temporalités, disposition des baies vitrées en jaune et des murs Trombe en rouge de manière à limiter les ombres portées en hiver et préserver les apports solaires et l'accès à la lumière naturelle. (Sabri Bendimérad / Tectône)

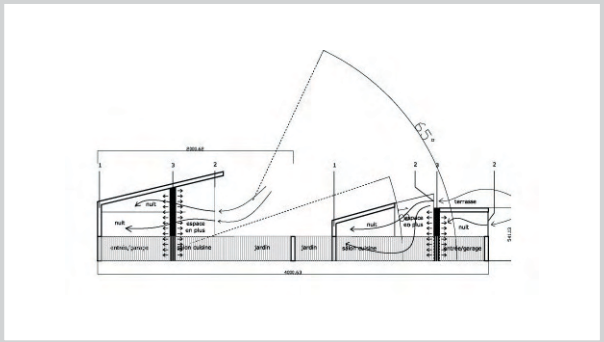


Figure 28 : habitat pluriel terre et temporalités (Sabri Bendimérad / Tectône), projection du fonctionnement des équipements passifs (serre, inertie, surventilation) pour une exposition estivale.

A travers ces illustrations, se dessinent des solutions matures pour répondre au confort thermique en toutes saisons dont la mise au point dépend d'une approche quantitative pluridisciplinaire et à plusieurs échelles spatiales. Typiquement, le choix de la compacité ne peut se faire sous le seul angle des besoins de chauffage mais également en évaluant les conséquences sur les conforts visuel et thermique en été. Répondre au confort thermique nécessite, par ailleurs, d'apprécier les besoins différenciés de chaque ambiance intérieure. L'exploitation du potentiel

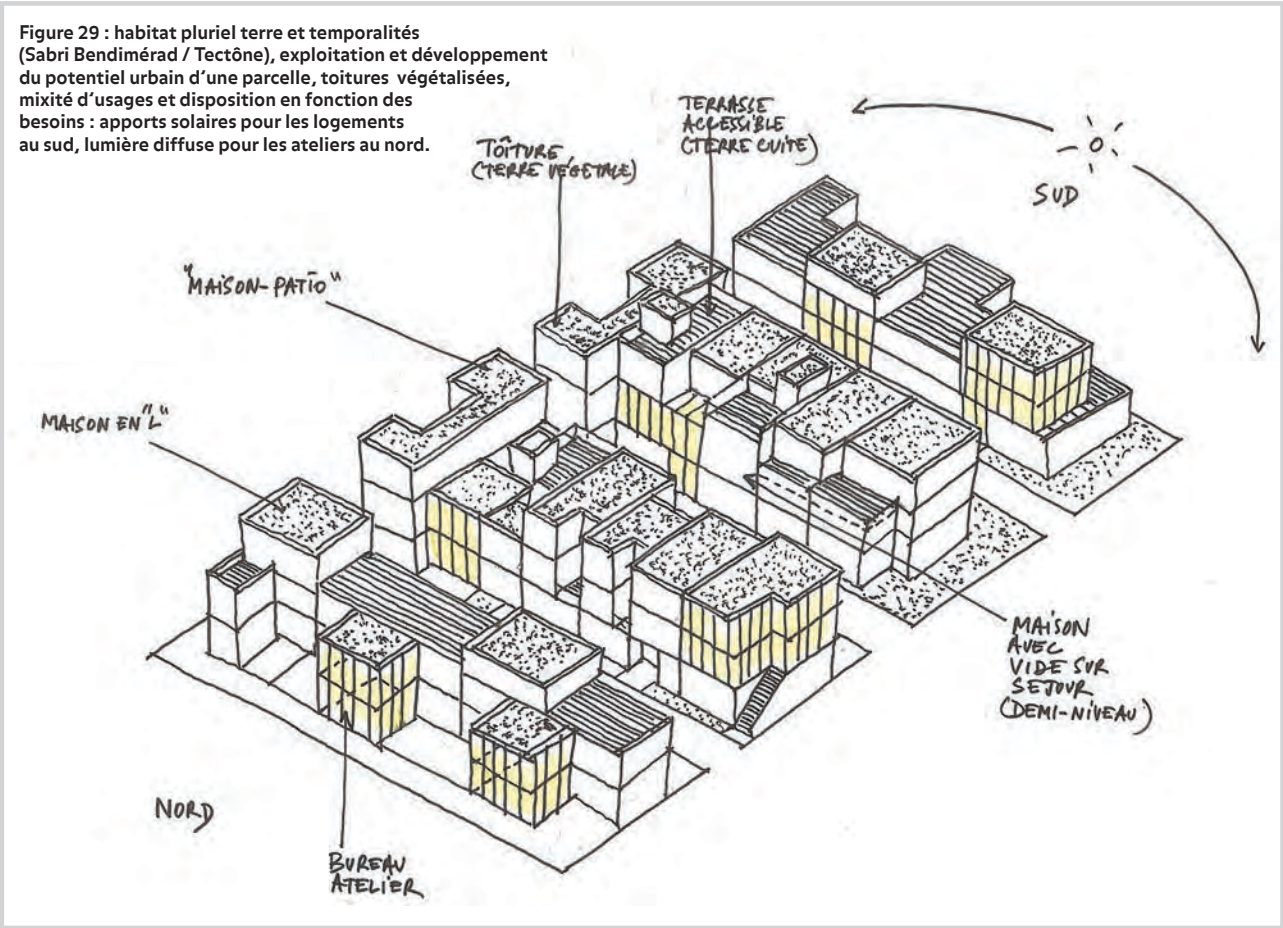


Figure 29 : habitat pluriel terre et temporalités (Sabri Bendimérad / Tectône), exploitation et développement du potentiel urbain d'une parcelle, toitures végétalisées, mixité d'usages et disposition en fonction des besoins : apports solaires pour les logements au sud, lumière diffuse pour les ateliers au nord.

local pour des solutions passives ou exploitant les rejets énergétiques des activités à proximité, mettent l'accent sur la nécessité d'impliquer les acteurs à l'échelle urbaine. L'approche quantitative nécessite donc de se projeter dans le fonctionnement futur du bâtiment. Une fois anticipées les réactions de l'enveloppe aux sollicitations thermiques du climat sur lesquelles l'influence des concepteurs est limitée, voire nulle, il devient tentant de vouloir influer sur le comportement de l'occupant.

Concilier liberté d'usage et économie d'énergie

Réduire les apports internes conduit à reconsidérer les besoins et renvoie donc à la question du comportement des occupants. Cependant, dès lors que l'occupant bénéficie d'une certaine liberté d'utilisation de son logement il ne s'agit plus d'imposer des pratiques, perçues alors comme une contrainte, mais de recueillir son adhésion. La conception n'est pas neutre dans la façon d'utiliser le bâtiment et les liens entre conception et usage vont bien au-delà de la question énergétique. Quel rôle peut jouer l'équipe de conception pour concilier sobriété énergétique et liberté d'utilisation du bâtiment ?

L'approche, qui consiste à vouloir faire évoluer les comportements pour que le bâtiment réponde aux performances attendues et renvoie à l'occupant la responsabilité d'une consommation excessive, est inversée par la question posée précédemment. L'objectif visé est de faire en sorte que le comportement le plus économe sur le plan énergétique soit aussi celui qui permet de tirer le plus de bien-être de son espace.

> **« Notre positionnement sur le sujet est également fondé sur le principe que l'efficacité énergétique dépend du confort et du ressenti des habitants et usagers »**
>
> **« Ainsi la consommation réelle du logement une fois habité va dépendre de son appropriation par l'habitant » – *Habitat pluriel terre et temporalités, Tectône - RFR éléments – Terreal***

La recherche du bien-être et du confort des usagers est donc le point de départ du travail de prospective développé dans le concept Habitat pluriel terre et temporalités. La question du confort, notamment thermique, est complexe et l'observation des pratiques dans l'habitat nous renseigne sur la façon dont les occupants s'approprient leur logement.

Le confort thermique, approches phénoménologique et normative

Le confort hygrothermique peut être défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement hydrique et thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par l'échange entre le corps humain et son environnement, l'équilibre étant atteint lorsque la production interne de chaleur dans le corps est égale à la perte de chaleur vers l'ambiance. Les processus de thermorégulation y contribuent. Au-delà d'un certain niveau d'équilibre, l'individu va ressentir de l'inconfort, notamment parce qu'il va devoir réagir pour maintenir cet équilibre. Les six principaux paramètres qui influencent le confort thermique sont les suivants : la température de l'air, la température des parois, l'humidité, la vitesse d'air, auxquels il faut associer l'habillement et l'activité des occupants. D'autres facteurs sont susceptibles d'altérer localement le confort : l'asymétrie de rayonnement, la température du sol, le gradient vertical de température d'air et la sensation de courant d'air.

Le confort a également un caractère subjectif. Tous les individus ne perçoivent pas les conditions thermiques de la même façon, et quelle que soit la situation, il y a toujours un pourcentage d'insatisfaits (5% minimum selon la norme NF EN ISO 7730:2006 [7730, 2006]). Les approches statistiques ayant abouti aux indices PMV (Predicted mean vote ou vote moyen prévisible) et PPD (PPD : predicted percentage of dissatisfied ou pourcentage prévisible d'insatisfaits) définis dans la norme précitée ne doivent pas faire oublier qu'il y a des populations particulières comme les personnes âgées, les jeunes enfants, les personnes malades, qui ont des besoins spécifiques. Les aspects sociaux et culturels entrent aussi en ligne de compte dans l'expression de la satisfaction et des préférences en matière d'ambiance thermique, entraînant des comportements et des pratiques variés.

Elle apporte des éléments intéressants d'un point de vue sociologique ou anthropologique. Dans les bâtiments peu performants qu'on connaît dans le parc existant, on constate une certaine « intelligence des pratiques énergétiques »[8] où les occupants adoptent des pratiques liées à l'énergie qui relèvent d'habitudes culturelles ou du simple bon sens, contribuant à améliorer leur confort d'hiver ou d'été, tout en étant vigilant sur les coûts. On peut citer par exemple des actions pragmatiques comme la gestion des volets et l'ouverture des fenêtres aux heures fraîches en été, l'utilisation du four de cuisine en période froide et pas en période chaude, les portes des pièces souvent ouvertes en été, la période de chauffage plus longue pour la salle de bains que pour les autres pièces, l'utilisation préférentielle de certaines pièces selon les saisons, la gestion des périodes d'absence, etc. En hiver, les occupants apprécient et même recherchent en période froide la présence d'un « point chaud » : radiateur, cheminée, poêle traditionnel, tâche solaire, etc. Selon leurs envies, ils peuvent s'en rapprocher ou s'en éloigner, et chaque membre de la famille peut y trouver son compte. L'importance de ce « point chaud » est constatée par les sociologues et certains bailleurs sociaux.

Les occupants, sont d'une manière générale, plus sensibles aux conditions de confort thermique que le bâtiment lui-même, une fois écartées les situations extrêmes conduisant à la dégradation du bâtiment. Si l'on pousse le raisonnement plus loin, la solution, en hiver comme en été, pourrait passer par des systèmes très localisés de conditionnement thermique, au plus près des occupants, ou des systèmes « portés » par les occupants (comme on porte un vêtement). On peut imaginer des sièges ou des lits chauffants ou rafraîchissants, des vêtements, des dalles de sol activées par la présence, etc. Ce concept n'est pas sans rappeler les pratiques japonaises traditionnelles.

Un nouvel apprentissage apparaît nécessaire face à des bâtiments de type passif ou BEPOS, car le comportement thermique de ces bâtiments et leurs équipements sont différents des bâtiments traditionnels et ne sont pas encore bien appréhendés par les occupants. Un exemple concret est fourni par les architectes Anne Lacaton et Jean-Philippe Vassal, concepteurs de la « Maison-Serre » à Floirac. Ceux-ci ont observé que les habitants adoptaient des pratiques de l'ordre du nomadisme saisonnier : « En hiver, ils se replient dans la boîte de bois fermée et investissent la serre comme espace de bricolage et d'entrepôt, ils y étendent le linge ; en été, les parois s'ouvrent et s'y tiennent les repas de famille sur de longues tables en liaisons avec la cuisine, les enfants y jouent avec la piscine en plastique gonflable. »

Il ressort de cette observation des pratiques une demande d'espaces différenciés et évolutifs en phase avec les aménagements imaginés par les équipes lauréates de l'appel à idées CQHE. Elles ont concrétisé, à travers leur concept, leur

8/ Hélène Subrémon, CNRS, parle d'une « intelligence énergétique ».

perception du logement collectif et de ses évolutions dans une perspective à vingt ans à partir d'approches différentes :

— la première est construite à partir de l'analyse de la demande actuelle, qui plébiscite la maison individuelle, pour en déduire les aménagements à venir ;

— la seconde vise à favoriser le potentiel d'adaptation du logement aux changements possibles.

Ces deux démarches construites à partir de la demande d'espace, conduisent au constat commun qu'elle ne relève pas uniquement de dimensions géométriques mais également de la capacité des locaux à s'adapter aux modes de vie. Sur le plan de la conception, cette demande d'espace s'est traduite par l'introduction :

— d'une pièce en plus. A la disposition du foyer, elle offre un espace supplémentaire dont la destination change au cours du temps. De la chambre d'appoint, elle devient bureau ou encore un espace de stockage temporaire pour faciliter l'évolution des autres pièces. Elle offre donc à la fois un espace physique, une fonction supplémentaire au logement mais également un moyen pour faire évoluer le logement (figure 30) ;

— du plateau libre. L'absence de cloison ou la réalisation du cloisonnement par le mobilier offre l'opportunité à l'occupant d'agencer son espace à sa convenance. On peut également imaginer que l'habitant visera à l'utiliser en fonction de la recherche du confort optimal en regard des activités qu'il pratique. Concrètement, le niveau d'éclairement naturel, de calme ou de confort thermique est déterminé en fonction des activités qui vont guider l'agencement le plus adapté à ses besoins. La question du comportement adapté bascule vers l'espace qui s'adapte à l'usage (figure 31).

— de la pièce sans usage déterminé. Le logement est le résultat d'une composition construite autour d'une trame géométrique de 35m² dont les dimensions sont adaptées aux différentes activités domestiques. Suffisamment grande pour servir de séjour mais avec la possibilité de la scinder pour faire deux chambres individuelles. Le choix du matériau, la brique, est en phase avec ce principe d'adapter l'enveloppe à la recherche du confort. Le matériau est sélectionné avec le souci d'assurer une température stable et homogène spatialement (figure 32).

Une solution alternative, complémentaire des précédentes, a été de créer des espaces communs qui regroupent des équipements techniques. Ils offrent ainsi un espace de socialisation et libère de l'espace supplémentaire pour le logement.

Figure 30 : Projet « Impacte », Architecture Pélegrin

Figure 31 : le plateau libre, Projet « Optimisation de la façade nord », Alter Smith architectes

Figure 32 : la pièce à usage indéterminé, habitat pluriel terre et temporalités, Sabri Bendimérad / Tectône

Que ce soit dans un logement ou dans un bureau, faut-il privilégier les petits espaces fermés ou plutôt les grands espaces ouverts ? Sur le plan de la performance énergétique et du confort, ce choix d'espaces ouverts ou fermés n'est pas neutre, mais révèle un paradoxe. En effet, en hiver, on aurait intérêt à différencier le chauffage selon l'occupation et l'usage des espaces, à ne pas chauffer les circulations, ce qui est possible avec de petits espaces fermés. En été, pour

atténuer voire résorber les surchauffes souvent localisées, on aurait au contraire avantage à disposer d'espaces ouverts, permettant une « dilution » des surchauffes et une ventilation traversante du logement, de jour comme de nuit. Les espaces ouverts permettent également de jouer sur les protections solaires d'une façade tout en bénéficiant de la lumière naturelle sur les autres orientations, et de limiter la sensation d'étouffement par une impression d'espace. Si l'on veut concilier les deux, il faut sans doute réfléchir à des portes et cloisons coulissantes à quelques endroits stratégiques du logement. C'est justement ce que propose Alter Smith, avec son projet Optimisation de la façade nord, qui comporte des dispositifs mobiles de cloisonnement transversal et longitudinal. Les cloisons mobiles longitudinales permettent de configurer les locaux soit en espace quasi-ouvert, soit en pièces fermées, pour une meilleure adaptation aux saisons et aux modes de vie. Elles rendent la ventilation traversante possible, de jour comme de nuit, facilitée par la présence en façade de jalousies et de volets roulants à lamelles.

Ce travail prospectif s'inscrit dans une démarche cohérente avec les évolutions technologiques de l'enveloppe et des équipements sur le plan énergétique. Il vise à exploiter au mieux les progrès réalisés dans le domaine de la performance énergétique pour donner plus de latitude à la conception architecturale tout en veillant à respecter la liberté de l'occupant à disposer de son espace ou, a minima, d'accompagner son appropriation. Une étape supplémentaire reste à franchir qui viserait à mettre en situation les concepts. Elle implique, d'une part, une évaluation du potentiel de l'environnement, en particulier, dans les zones présentant une densité et une diversité importantes, d'autre part, de travailler sur la consommation des équipements électrodomestiques sur les volets usage et technologique.

Conclusions et perspectives sur l'énergie

Des mesures prises sur les formes, l'enveloppe et les équipements pour réduire les besoins et les consommations énergétiques des bâtiments, il ressort que le bâtiment est toujours consommateur d'énergie mais présente un nouvel équilibre énergétique dans lequel la part de l'énergie consommée pour assurer l'activité des occupants devient prédominante. Plus précisément, la demande d'énergie pour le confort thermique existe toujours mais est fortement réduite, voire marginale. La conjonction de cette transformation aux spécificités d'un environnement urbain vient souligner la difficulté de répondre aux principes traditionnels de la conception bioclimatique qui conduisent à favoriser la compacité et l'exposition des baies vitrées au sud. Il ressort les premiers enseignements suivants pour les environnements urbains :

— le renforcement des exigences énergétiques transforme l'échelle temporelle du confort : la période de chauffage est réduite, les conditions de mi-saison sont plus fréquentes et le confort d'été devient une question cruciale ;

— l'accès à l'éclairement naturel est un point clé de la performance énergétique.

En conséquence la forme du bâtiment doit être pensée de manière à permettre l'évacuation de la chaleur et donc il convient de chercher à privilégier des espaces traversants plus faciles à obtenir avec des bâtiments peu compacts disposant d'ouvrants sur plusieurs orientations. A cet égard, l'orientation nord présente l'avantage de réduire l'exposition au rayonnement direct et favorise l'accès à un éclairement naturel diffus optimal pour le confort visuel, notamment, pour les activités de bureaux.

Par ailleurs, dans la perspective d'ouvrir la voie à des solutions énergétiques alternatives, qui viseraient la mutualisation des besoins, il conviendrait de favoriser la mixité d'usages dans un périmètre rapproché, voire, à l'intérieur même du bâtiment.

Pour autant, il ne s'agit pas de remplacer la contrainte sud par une contrainte nord, ou opposer compacité et traversant. Nous préférons conclure que les préoccupations de réduire les consommations ont conduit à améliorer les enveloppes et allègent ainsi la contrainte qui consiste à limiter les développés de surfaces déperditives, qu'elles soient vitrées ou opaques, pour des raisons thermiques. Par ailleurs, compte tenu de la quantité d'énergie dissipée par l'activité, le principe de la récupérer pour se chauffer semble quantitativement viable, même si un certain nombre d'obstacles persiste encore. Dès lors, la question de la forme et celle de l'orientation du bâtiment sont moins prégnantes dans la recherche de la sobriété énergétique et impactent plus le confort de l'occupant. Il s'agit donc d'une opportunité pour l'architecture de maintenir la priorité sur le confort de l'occupant et dans l'idéal son bien-être. Le vitrage retrouve alors sa fonction première de laisser voir l'extérieur et d'éclairer l'intérieur.

Il convient également de souligner que l'accent mis sur la nécessité du confort thermique en été et de la perspective de mutualiser les besoins en favorisant la mixité d'usages donne un rôle majeur à la collectivité. En effet, la réduction des

nuisances sonores ou la mise en sécurité des lieux qui vont permettre de ventiler, la végétalisation des espaces pour limiter l'effet de l'îlot de chaleur urbain, la mixité d'usages pour mutualiser les besoins d'énergie, sont autant d'éléments que la collectivité peut encourager, développer et organiser.

Aujourd'hui, l'enjeu semble bien perçu, les réglementations thermiques depuis 2000 [RT, 2000] intègrent les aspects confort thermique d'été dont la classification des façades aux nuisances sonores est un des paramètres nécessaires pour établir l'exigence. La prise en compte de façon cohérente des différents phénomènes physiques mis en jeu se généralise. La réglementation thermique depuis 2005 [RT, 2005], détermine une consommation pour l'éclairage artificiel qui dépend directement du rayonnement solaire qui pénètre dans l'ambiance et en cohérence avec les apports solaires associés. L'introduction en 2012 du besoin Bioclimatique dans la réglementation thermique [RT, 2012] vise à valoriser le travail de conception, sur l'enveloppe pour un usage et un environnement spécifiques, dans sa capacité à limiter les besoins d'énergie pour les conforts thermique et visuel. Le cadre réglementaire attire ainsi l'attention sur les antagonismes et les complémentarités entre disciplines. C'est une opportunité pour les équipes de conception pour recourir à des outils plus fins pour répondre aux besoins des occupants.

Cependant, pour appliquer une démarche énergétique complète, il conviendrait de renforcer et de développer des approches méthodologiques de manière à évaluer le potentiel énergétique d'un site dans un contexte urbain. A cet effet, il conviendrait de mettre l'accent sur la densité et ses conséquences sur la diversité d'activités et les interactions entre bâtiments et l'environnement de manière à lire les indicateurs énergétiques d'un bâtiment en regard de ces éléments de contexte extérieur. Ainsi, la performance énergétique pourrait-elle être exprimée, à l'instar d'un rendement, comme le rapport entre la réponse à un besoin et l'exploitation d'une ressource. Une première piste pourrait être de se saisir de l'opportunité énergétique que représente la diversité d'activités, rencontrées sur un faible périmètre, pour favoriser l'émergence de solutions énergétiques alternatives qui utiliseraient des ressources collectives pour répondre aux besoins individuels. L'hétérogénéité des ressources disponibles semble être un atout supplémentaire pour répondre à des besoins énergétiques de qualités différentes. Néanmoins, certains obstacles existent. Sur le plan technique, la grande quantité d'énergie dissipée, est de mauvaise qualité[9] ce qui abaisse considérablement le rendement et rend aléatoire le bénéfice énergétique en regard du coût de récupération et de distribution. La garantie d'avoir la puissance disponible au bon moment est un autre obstacle qui nécessite de lever les incertitudes liées à la fluctuation de l'activité ou tout au moins en appréhender les risques. Ces deux points nécessitent encore des travaux exploratoires qui pourraient être orientés vers la connaissance des usages, la projection dans le fonctionnement futur du bâtiment et une compréhension plus fine de la perception de confort thermique par les occupants.

La notion même de confort thermique à l'intérieur des bâtiments est ici reposée : les exigences doivent-elles prôner l'homogénéité spatiale et la stabilité temporelle des températures, de façon rigide ou au contraire avec une flexibilité acceptable ? Peuvent-elles aller jusqu'à se focaliser sur les conditions thermiques au plus près des personnes ? Doivent-elles intégrer un degré de sensibilité au climat extérieur ?

On peut être tenté de rechercher la perfection correspondant à la neutralité thermique, à l'absence de tout inconfort quel que soit l'endroit, le moment ou les conditions climatiques extérieures. Ce qui aboutit à des critères d'homogénéité, de stabilité et des intervalles étroits de température. D'une part, ces critères ne sont pas atteignables avec une contrainte forte sur les consommations d'énergie et la limitation du recours à la climatisation, d'autre part, il se trouve que la neutralité thermique, par l'absence de sensations thermiques et de lien avec le climat extérieur, n'aboutit pas forcément au bien-être des usagers. Il ne s'agit pas de sacrifier le confort aux économies d'énergie, ni même d'imposer un changement dans les comportements, mais de réfléchir en d'autres termes : « la question ne serait plus de définir une nouvelle norme sur la base de ce qui est nécessaire physiologiquement ou faisable techniquement, mais d'intégrer l'acceptabilité sociale comme critère de réussite », en travaillant sur une nécessaire

9/ A propos de la qualité de l'énergie : « Le travail mécanique est une forme d'énergie qui peut être convertie en n'importe quelle autre forme d'énergie, par conséquent, c'est une forme d'énergie de « qualité » » [Thiers, 2008]
Et des moyens de la mesurer : « L'exergie correspond à la part maximale d'énergie qui peut être transformée en énergie noble. Toute destruction d'exergie correspond ainsi à de la dégradation d'une quantité correspondante d'énergie. » [exergie, TI BE 8015]. « La teneur en exergie d'une forme d'énergie donnée représente son niveau de « qualité » » [Thiers, 2008]

« réconciliation entre le confort et les économies d'énergie »[10].

La notion de « confort adaptatif », traduite dans la norme NF EN 15251 [NF EN 15251, 2007], propose des intervalles de confort dépendant de la moyenne glissante de la température extérieure, considérant comme confortables des températures plus élevées lors de séquences chaudes. Cela traduit une relative acclimatation aux conditions climatiques extérieures, ce qui semble, dans certaines limites toutefois, une approche raisonnable et acceptable dans les bâtiments non climatisés.

Pour faire une analyse complète dans la perspective de gérer les paradoxes liés à la recherche du confort thermique en toutes saisons, il y a donc une nécessité de travailler simultanément à différentes échelles spatiales : le logement, voire le local, pour établir les besoins ; l'environnement extérieur pour établir la ressource.

Cette double échelle spatiale, implique également différentes temporalités, entre l'immédiateté d'un confort et l'exploitation de cycles de consommations jour/nuit ou saisonnier, pour les plus connues, pour répondre à cette demande en veillant à exploiter un potentiel local.

La conciliation entre énergie et architecture, malgré les résultats obtenus, permet-elle de conclure à la performance ? Compte tenu des fonctions que doit assurer un bâtiment il nous semble prématuré de conclure positivement. Les pistes évoquées et les solutions envisagées répondent-elles aux autres exigences comme la sécurité incendie, le confort acoustique, l'insertion au site, etc. ?

10/ Citations tirées de l'ouvrage «Anthropologie des usages de l'énergie dans l'habitat « où Hélène Subrémon reprend la pensée de l'architecte anglais Ian Cooper.

LA SÉCURITÉ INCENDIE

ET LES AUTRES COMPOSANTES DE LA QUALITÉ

Projet « Impacte », Pélegrin Architecture

Problématique et démarche

La performance énergétique ne peut s'obtenir au détriment de la sécurité, du confort ou de la santé des occupants. De façon plus générale, le niveau de performance du bâtiment ne peut se limiter à un seul critère car l'appréciation globale que l'on retiendra au final sera celle du critère le moins performant. Autrement dit, l'excellence dans un domaine ne peut justifier de s'affranchir d'un bon niveau de performance dans les autres. On a beau dire, si le projet n'est pas bon sur un thème, sa qualité globale sera implicitement calibrée sur ce thème.

Pour illustrer cette idée, on utilise parfois la métaphore du baquet d'eau[11], qui dit que pour un baquet ce n'est pas la plus haute planche, mais la plus basse qui contrôle le niveau de l'eau.

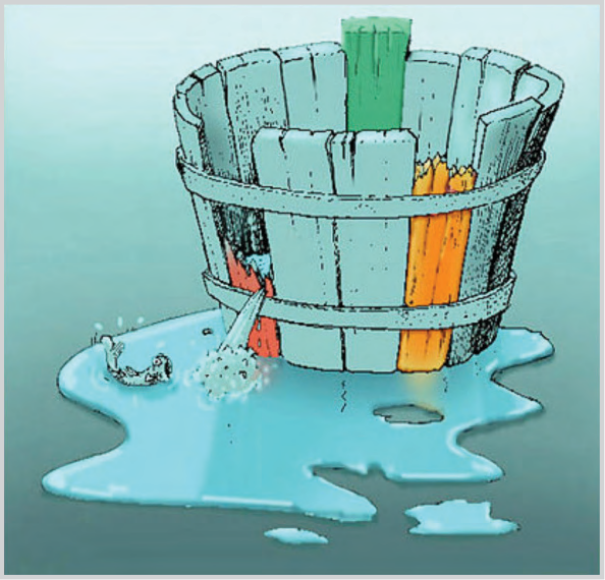


Figure 33 : La « théorie du baquet »

11/ Source : Wikipedia http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Th%C3%A9orie_du_baquet.jpg

D'un autre point de vue, si les exigences sur les autres thèmes que l'énergie sont trop élevées, elles risquent de limiter la performance énergétique ou d'engendrer des coûts excessifs. Toutefois, existent certains thèmes particuliers liés à la sécurité des personnes, pour lesquels il n'est pas envisageable de réduire le niveau d'exigence. S'assurer de la qualité globale et du niveau de sécurité du bâtiment est donc indispensable. Cependant, nous avons vu que l'innovation architecturale et le renforcement de l'exigence énergétique ont conduit à revoir certains principes de conception en zone urbaine, à développer des composants spécifiques intégrés au bâtiment et à remettre en cause les ordres de grandeurs. Par ailleurs, il permet d'insister à nouveau sur les interactions fortes entre le bâtiment et son environnement immédiat, en particulier en zone urbaine.

Logiquement, la question posée est la suivante : quelles sont les conséquences du relèvement du curseur de performance énergétique sur les niveaux d'exigence des autres thèmes et la capacité du bâtiment à assurer la sécurité des occupants ?

Une approche exhaustive et générique ne nous semble pas accessible dans l'immédiat et ne nous apparaît pas forcément souhaitable dans la mesure où chaque situation est spécifique. Dès lors, il convient d'adapter l'effort d'analyse à l'importance des thèmes en regard du contexte du projet de construction. Pour illustrer notre propos, nous allons dans cette partie, confronter les principaux concepts des projets CQHE résultant de l'adéquation entre énergie et architecture, d'une part, à la sécurité incendie et, d'autre part, aux principaux thèmes permettant de caractériser la « qualité globale ».

Nous nous concentrons sur la sécurité incendie qui demeure un risque important et dont le principe d'isolement des locaux en fonction de leur usage présente un antagonisme avec la mutuali-

sation des ressources et des besoins, envisagée dans un contexte urbain pour développer des solutions énergétiques alternatives.

Pour les autres critères, la démarche Haute Qualité Environnementale (HQE), qui traite 14 thèmes différents et qui promeut une approche globale en lien avec le contexte local, nous paraît être un bon support structuré avec les éléments essentiels. De fait, nous pensons également que la démarche et la philosophie adoptée dans une approche globale sont un tremplin pour les autres disciplines dans la perspective d'identifier les interactions existant entre elles et de concevoir un bâtiment équilibré, adapté à son contexte environnemental et qui répond aux besoins des occupants.

Pour chacune de ces préoccupations, nous cherchons à voir quels antagonismes, convergences et problématiques nouvelles apparaissent. Nous distinguons cependant les contraintes de sécurité incendie, dont le niveau d'exigence n'est pas négociable, des autres critères. En effet, la haute performance énergétique peut être atteinte tout en préservant les autres critères de la qualité globale, ou au contraire s'élaborer au détriment de certains de ces critères.

Regard sur la sécurité incendie

La sécurité incendie présente un enjeu particulier. En effet, l'observation, à partir des concepts CQHE, des conséquences de la conjonction d'exigences énergétiques renforcées et de la situation en zone urbaine a conduit à identifier trois vecteurs porteurs des solutions constructives imaginées :

— l'enveloppe du bâtiment qui associe et assemble matériaux et équipements de manière à filtrer le climat extérieur pour maintenir le confort intérieur et produire éventuellement de l'énergie,

— l'agencement des espaces habités et les transferts aérauliques associés pour apporter le confort et l'hygiène,

— le principe de récupérer l'énergie d'un usage à l'autre de manière à exploiter les complémentarités entre besoins et ressources.

Dans la perspective de maintenir le confort thermique, les échanges de chaleur, par communication aéraulique ou par mitoyenneté des parois entre locaux d'usages différents, sont recherchés. Ces principes, dans des gammes de températures plus élevées associées au risque incendie à l'occasion d'un événement accidentel, posent problème car ils favorisent la propagation du feu.

Ainsi les solutions énergétiques, qui s'appuient sur le principe de transférer la chaleur par fluide caloporteur pour tirer parti de la proximité de locaux destinés à des usages différents, fragilisent-elles le principe d'isolement qui prévaut pour la sécurité incendie. Cet exemple fait ressortir un antagonisme entre les deux disciplines qui n'est pas nouveau mais dont la gravité de l'événement peut potentiellement s'accroître avec l'augmentation de la masse de matériaux utilisés pour l'enveloppe. Selon un questionnement générique, il convient de savoir dans quelles mesures les solutions énergétiques développées pour répondre aux nouvelles exigences énergétiques présentent un risque supplémentaire pour la sécurité incendie.

Des principes qui évoluent, des ordres de grandeur qui changent et des solutions qui impliquent des échelles spatiales plus grandes ; à l'instar de l'exemple précédent, c'est la conjonction de ces évolutions qui invite à porter un nouveau regard sur les règles de sécurité actuelles. Sont abordés successivement, la mixité d'usages, les espaces tampons et les transferts aérauliques ainsi que la façade et ses interactions avec son environnement. La sensibilité au risque incendie est étudiée tant en regard de la réglementation que des phénomènes physiques mis en jeu.

Ne sont abordés ci-après que les principaux concepts incorporés aux projets analysés qui ont un lien avec la protection incendie. Cette analyse ne prétend aucunement à l'exhaustivité comme se doit de le faire un rapport d'organisme agréé, destiné à la commission de sécurité territorialement compétente, laquelle émet un avis destiné au maire préalablement, de manière obligatoire, à l'établissement de l'arrêté d'ouverture d'un ERP[12] ou de manière informative, dans certains départements, pour les immeubles d'habitation.

Quelles que soient les évolutions constructives les principes de la sécurité restent invariables (voir cadre : objectifs généraux de la sécurité incendie). Ils visent à protéger les personnes et se traduisent de la façon suivante :

— recourir à une conception adaptée à la protection,

— les logements doivent être isolés des locaux à risque,

— les occupants doivent pouvoir évacuer le bâtiment ou être secourus.

12/ ERP : Etablissement Recevant du Public

Objectifs généraux de la sécurité incendie

Le décret de 1969, codifié en juin 1978, fixe, dans un premier alinéa, des objectifs généraux de sécurité qui sont à prendre en compte lors de la conception et la construction de l'ouvrage. Littéralement, il précise que :

«La disposition des locaux, les structures, les matériaux et l'équipement des bâtiments d'habitation doivent permettre la protection des habitants contre l'incendie. Les logements doivent être isolés des locaux qui, par leur nature ou leur destination, peuvent constituer un danger d'incendie ou d'asphyxie. La construction doit permettre aux occupants, en cas d'incendie, soit de quitter l'immeuble sans secours extérieur, soit de recevoir un tel secours.»

Code de la construction et de l'habitation (partie réglementaire) : Chapitre 1 Règles générales - Section 2 Dispositions générales applicables aux bâtiments d'habitation - Article R111-13, Décret n° 78-1132 du 29 novembre 1978

La mixité : un antagonisme de principe mais pas de singularité identifiée

La discussion sur la conception adaptée ne peut être menée qu'en regard d'un cas concret dans une situation donnée. Le second principe, quant à lui, met en avant le caractère relatif du risque en distinguant le logement des autres usages. La notion d'isolement entre locaux, au sens de la réglementation incendie, a du sens dès lors qu'ils abritent des usages différents. Or, la proximité entre les usages, dans la perspective de valoriser les besoins complémentaires d'énergie et d'opérer en conséquence des transferts d'énergie, a été identifiée comme le support à des solutions alternatives pour répondre aux objectifs de la performance énergétique. Au-delà de l'antagonisme de principe, les systèmes énergétiques qui viseraient à recourir à un fluide caloporteur pour transférer la chaleur dissipée dans un local vers un autre fragilisent-ils l'isolement exigé ?

Comme observé au chapitre précédent, les solutions techniques envisagées dans le cadre des concepts CQHE mettent l'accent sur la mitoyen-

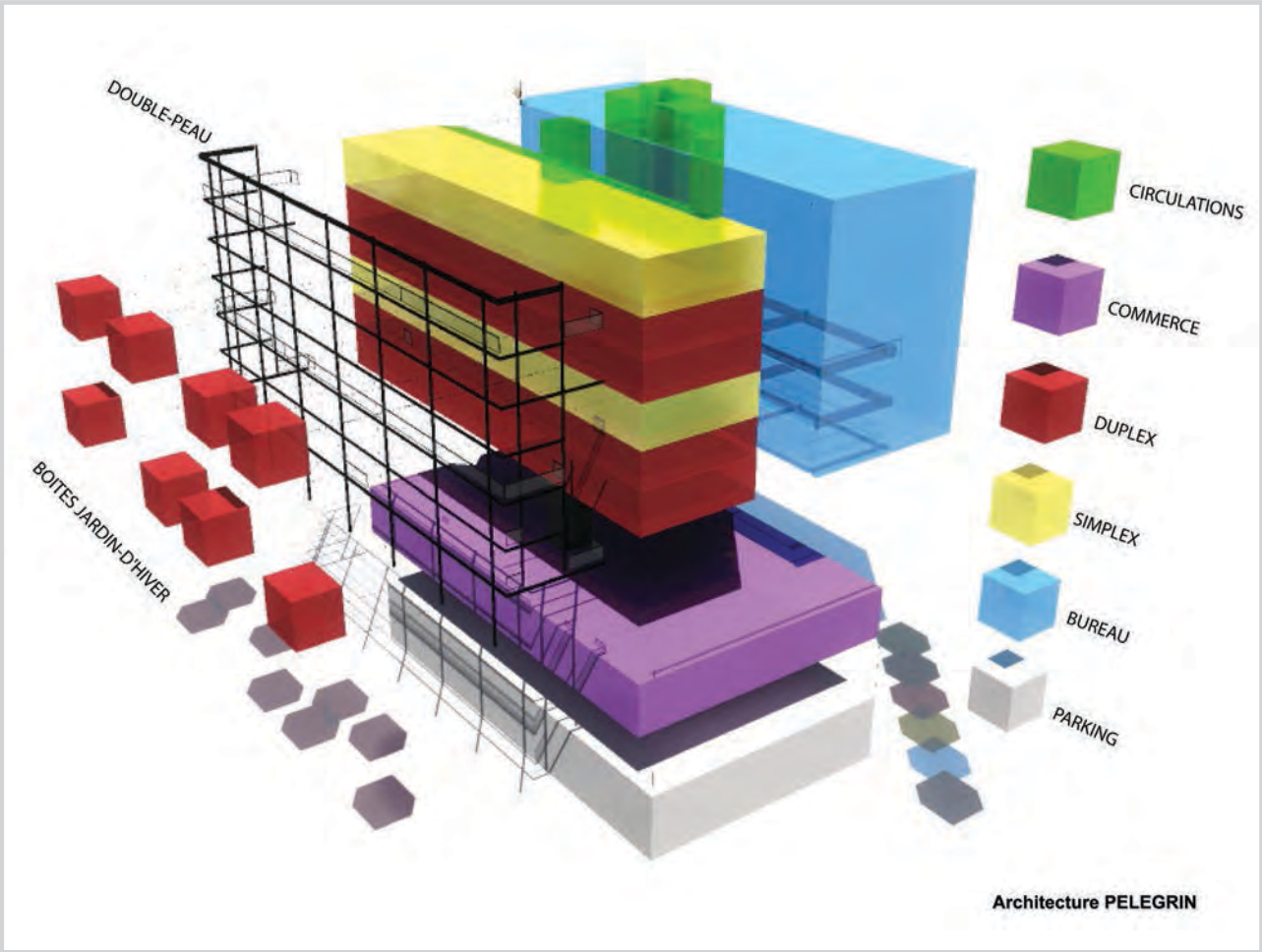


Figure 34 : mixité bureaux, commerces, logements, Projet Impacte François Pélegrin architecte

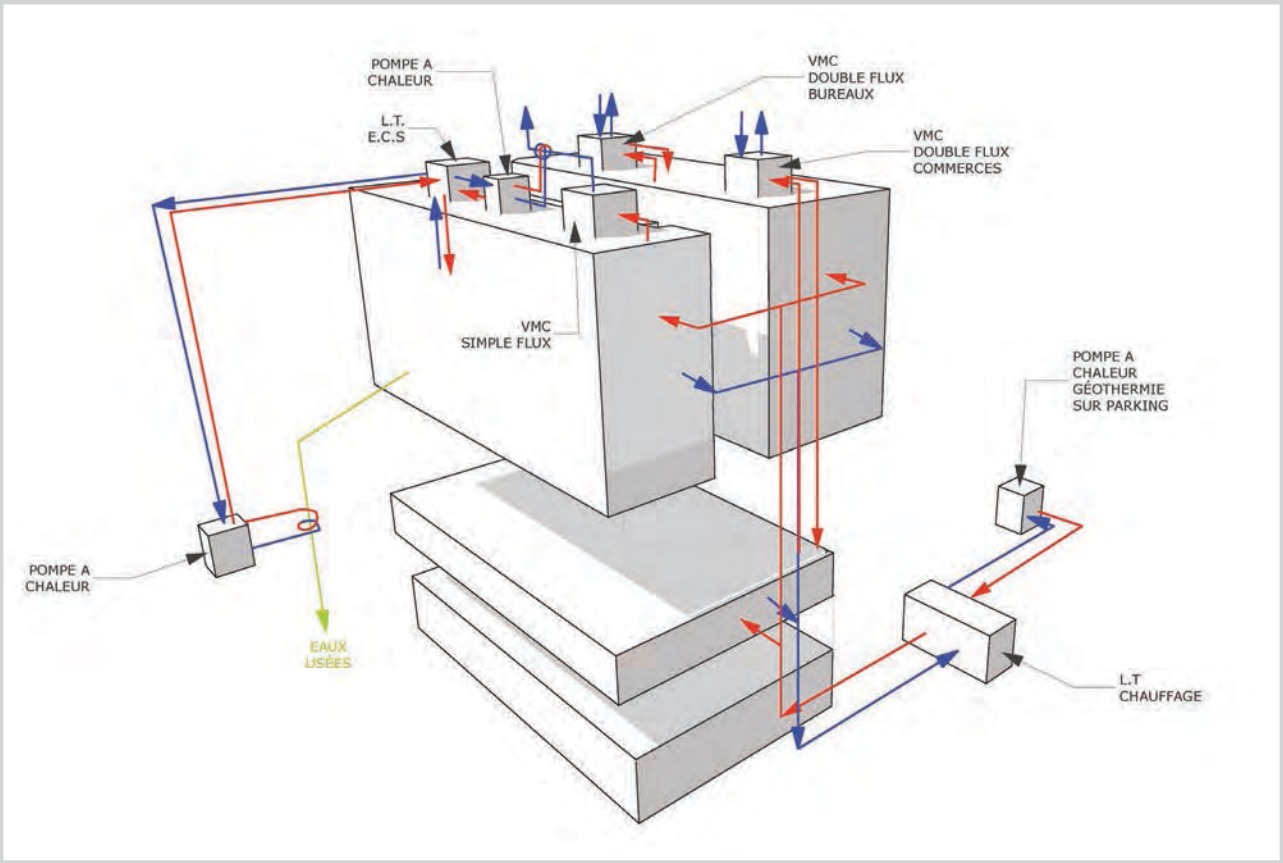


Figure 35 : principe de fonctionnement du système énergétique en mode chauffage, Projet Impacte

neté des locaux qu'elle soit verticale ou horizontale. Les locaux, qui abritent les usages dont la demande de chaleur est la plus faible, du fait, par exemple, d'une occupation diurne, sont disposés au nord de manière à protéger du froid la paroi nord des logements. De même le rez-de-chaussée est destiné à des activités commerciales de manière à réserver les étages aux logements afin qu'ils disposent d'une exposition solaire plus importante. La figure 34, extraite du projet Impacte, illustre cette organisation du bâtiment.

Dans ce projet, les systèmes énergétiques imaginés tirent parti de cette mixité d'usage smais sans mettre en contact direct l'air des différents locaux. Chacun d'entre eux dispose d'ailleurs de son propre fluide caloporteur et le bâtiment est parcouru par plusieurs circuits mis en relation par des échangeurs de chaleur intégrés ou non dans des machines thermodynamiques [figure 35].

Ainsi la mise en valeur de la mixité s'est-elle traduite par un travail sur l'agencement des locaux d'usages différents de manière à limiter les pertes de chaleur avec des dispositions qui ne sont pas contradictoires avec le principe d'isolement. D'ailleurs, la réglementation, dans certains cas, tient compte de cette possibilité.

La sécurité incendie et la mixité d'usages, contexte réglementaire

Réglementairement, le code de la construction et de l'habitation (CCH) constitue le référentiel pour l'usage d'habitation, le code du travail (CdT) pour l'usage de bureaux. Le règlement de sécurité contre l'incendie des établissements recevant du public (ERP) constitue le référentiel pour l'usage de commerce. De plus, des dispositions particulières de ce dernier règlement s'imposent pour l'usage de parking sous les deux bâtiments en cas de mixité des usages en superstructure. Toutefois, le récent règlement de sécurité relatif aux immeubles de grande hauteur (destiné à se substituer à l'arrêté du 18 octobre 1977), qui reconnaît le principe de plusieurs classes d'activités dans l'emprise de l'immeuble, propose des mesures complémentaires intégrant la mixité d'usages.

De plus, les solutions de transferts de chaleur développées, qui utilisent des fluides différenciés par usage, ne font pas ressortir de difficultés nouvelles pour la sécurité incendie. En vue d'améliorer le rendement de ces installations, il est ten-

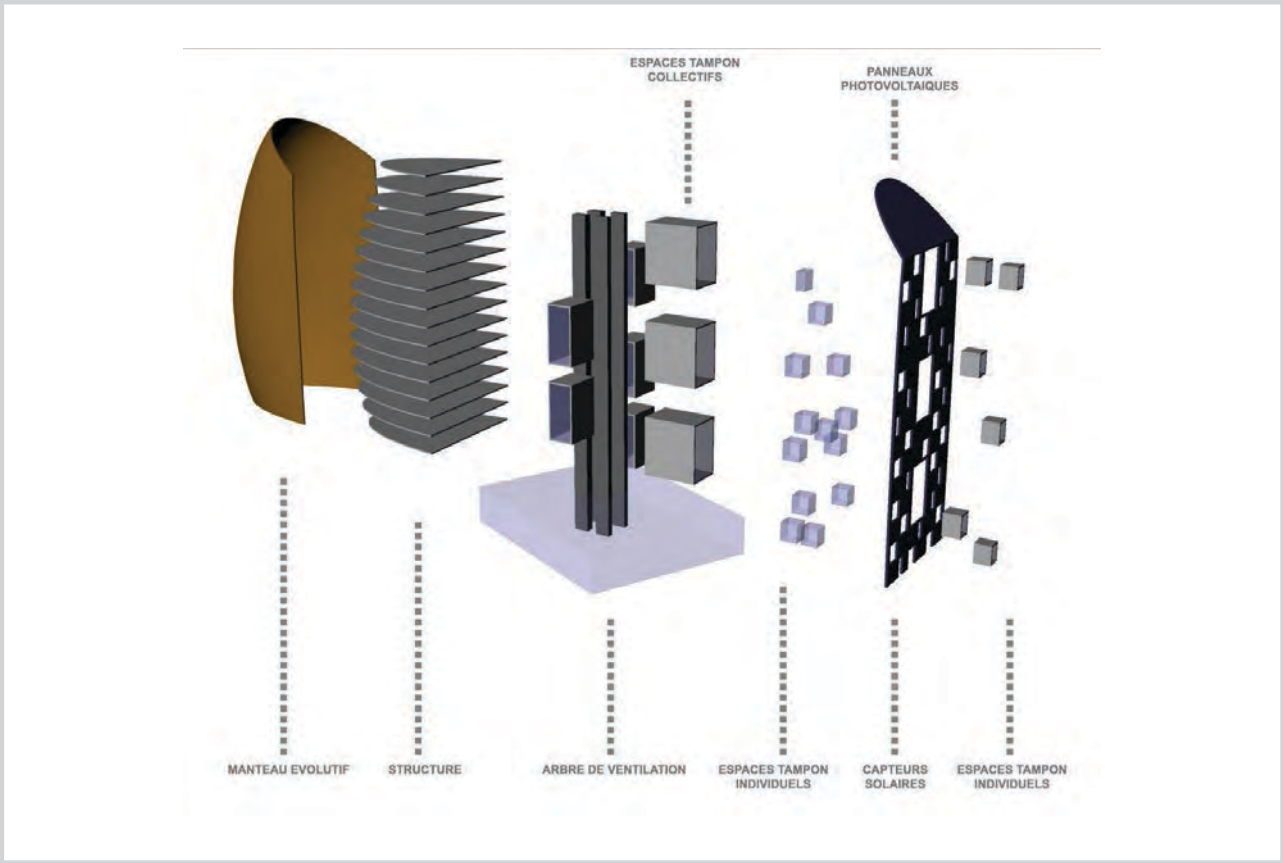


Figure 36 - Tikopia en recherche et développement : vue schématique éclatée

tant d'imaginer des circuits plus courts et une utilisation plus directe de la chaleur dissipée. Pour cela il convient de conserver le questionnement et de rester vigilant sur des solutions alternatives.

Espace tampon et volumes habités : un différentiel de risque

Par exemple, dans le projet Tikopia il est prévu un transfert d'air depuis des espaces communs, sans usage défini, vers plusieurs logements. La circulation du fluide est assurée par tirage thermique à l'aide de la cheminée d'air qui traverse tout l'immeuble. L'ensemble est appelé « arbre de ventilation » [figure 36]

Il existe donc un différentiel de risque entre les espaces communs et les logements avec une mise en communication aéraulique. Or la convection naturelle est également un moteur du mouvement de la fumée. Au début de tout feu ouvert (flamme nue), le dégagement d'énergie a d'abord pour effet d'élever la température de la fumée[13]. L'écart de température, entre la fumée générée par le foyer et l'air ambiant, qui environne ce dernier, provoque un mouvement ascensionnel vertical de la fumée[14] à l'intérieur du local. Celle-ci s'accumule sous le plafond. A ce stade de développement la fumée n'a pas encore débordé vers les volumes voisins par des communications.

Lorsque le feu est peu actif (phase initiale de développement d'un feu ultérieurement plus puissant), la fumée emprunte les trajets aérauliques préexistants entre volumes. Ensuite, l'envahissement des volumes voisins par la fumée hors du « volume source » s'effectue selon un double phénomène d'extension :

— extension horizontale (avancée de fronts de fumée le long d'un couloir par exemple),

— extension verticale lorsque la fumée débouche dans des volumes favorisant de tels trajets verticaux (atriums à grande hauteur sous plafond, trémies, cages d'escalier...)

Toujours accompagnés d'une diminution de la température de la fumée, ces mouvements ont des effets sur les caractéristiques de la fumée qui sont fonction de leur direction :

13/ Une définition de fumée : phase gazeuse s'écoulant en aval d'un foyer ouvert et contenant de fines particules de matière (liquide, aérosol ou solide)

14/ Elle monte sous l'action des forces d'Archimède.

— le mouvement vertical s'accompagne d'un entraînement d'air dans les panaches de fumée, ce qui augmente la section, donc le volume enfumé et ayant pour effet de la refroidir, (d'en augmenter les quantités, en accentuer la diminution de température) ;

— le mouvement horizontal n'induit qu'un entraînement diluant très limité lié principalement à l'établissement éventuel d'écoulements stratifiés et à contre-courant.

Dans tous les cas, l'extension du volume enfumé permet la formation de colonnes de tirage thermique (grand volume libre ou présence de trémies), ce qui modifie en général sensiblement la configuration des écoulements d'air traversant les diverses ouvertures dans les parois séparatives et dans les parois enveloppe du bâtiment sinistré.

L'équipe projet a perçu les risques, posés par les espaces tampons vis-à-vis de la sécurité incendie :

— le risque de feu et d'enfumage des espaces tampons intérieurs au bâtiment mettant potentiellement en communication 3 niveaux d'habitation ;

— le risque d'enfumage, voire d'extension du feu à l'intérieur du bâtiment par « l'arbre de ventilation » servant à la régulation thermique des espaces intérieurs et mettant par conséquent potentiellement en communication des espaces.

Dès lors, les volumes tampons sont traités et l'équipe projet propose des mesures de mitigation des risques à soumettre aux autorités de tutelle. Il s'agit de la mise en œuvre d'ouvertures pour le désenfumage naturel des espaces tampons, de détecteurs incendie, de volets coupe-feu ainsi que des systèmes d'asservissements associés et de commandes manuelles à disposition des pompiers.

Sur l'exemple donné, en première analyse, il ne ressort pas de points d'achoppement majeurs. La démarche concertée, entre équipe de conception, maîtrise d'ouvrage et service de sécurité, associée au développement d'équipements techniques offre potentiellement des moyens pour préserver la sécurité incendie et atteindre la performance énergétique sans dénaturer le projet. En revanche, les composants mis en œuvre peuvent exiger, de par leur complexité, un entretien et une dextérité difficiles à maintenir au cours de l'exploitation du bâtiment (voir cadre : Objectifs généraux de la sécurité incendie).

La pérennité des dispositifs de mitigation du risque prévus doit donc être analysée en tenant compte des compétences des personnes, du maintien des connaissances et du bon fonctionnement des équipements. Gérer la complexité dans le temps apparaît comme un des points sensibles dans le logement où la responsabilité vis-à-vis des espaces communs peut être diluée entre les différents propriétaires.

Objectifs généraux de la sécurité incendie, obligation d'entretien et de vérifications

La réglementation dans le deuxième alinéa de l'article R111-13 relatif aux mesures d'entretien exige du propriétaire de l'immeuble que :

«Les installations, aménagements et dispositifs mécaniques, automatiques ou non, mis en place pour permettre la protection des habitants des immeubles doivent être entretenus et vérifiés de telle manière que le maintien de leurs caractéristiques et leur parfait fonctionnement soient assurés jusqu'à destruction desdits immeubles. Les propriétaires sont tenus d'assurer l'exécution de ces obligations d'entretien et de vérifications. Ils doivent pouvoir en justifier, notamment par la tenue d'un registre.»

Code de la construction et de l'habitation (partie réglementaire) : Chapitre 1 Règles générales - Section 2 Dispositions générales applicables aux bâtiments d'habitation - Article R111-13, Décret n° 78-1132 du 29 novembre 1978

Les paramètres du risque façade

Les cas étudiés montrent qu'il existe des alternatives pour conserver le niveau de sécurité à l'échelle du bâtiment. Cependant, la proximité entre bâtiments a été identifiée comme un facteur de nature à faciliter l'exploitation des complémentarités énergétiques. Or les mécanismes qui régissent un feu développent des zones de flammes à une température supérieure à 500°C. Elles émettent un rayonnement thermique important sur la façade où le feu a pris et également sur la façade en vis-à-vis. Il convient donc d'élargir l'échelle spatiale pour étudier les interactions entre bâtiments.

La figure 37 illustre la situation décrite ci-dessus et le risque d'extension du feu par rayonnement thermique sur la façade en vis-à-vis.

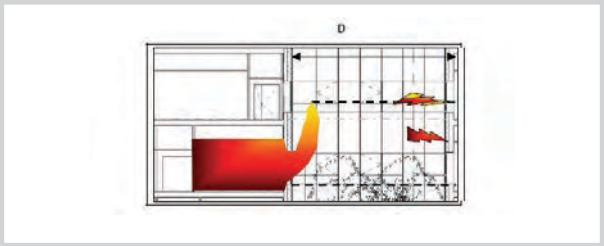


Figure 37 : rayonnement thermique sur la façade en vis-à-vis

Le flux radiatif reçu sur cette dernière sera d'autant plus faible que la distance entre les flammes extérieures et la façade sera grande.

Il s'agit également de se préoccuper des risques d'extension du feu sur la même façade. Des flammes sortent. Elles chauffent la façade par convection et rayonnement. Les dispositions constructives dites du « C+D » visent à éloigner les flammes extérieures des baies vitrées du niveau supérieur afin que l'action thermique ne permette pas au feu de s'étendre au niveau supérieur. Elles visent donc à limiter le risque d'extension du feu vers les locaux du niveau supérieur.

La figure 38 illustre le risque et les dispositions constructives décrits au paragraphe précédent. Sur cette figure, D est nul.

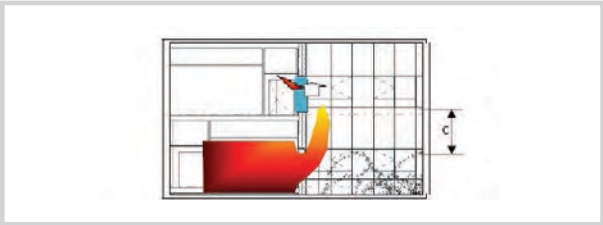


Figure 38 : extension du feu au niveau supérieur par la façade

Il ressort que l'extension spatiale de l'analyse doit tenir compte à la fois des distances entre ouvrants et entre façades.

De plus, l'enveloppe du bâtiment, en particulier sa façade, qui constitue un « composant » majeur de la performance énergétique attendue des bâtiments, a fortement évolué. L'effort essentiel a d'abord porté sur le renforcement de l'isolation sur les parties courantes et les points singuliers comme les ponts thermiques ainsi que sur les baies vitrées avec la généralisation des doubles, voire des triples vitrages. Comme nous l'avons vu au chapitre précédent l'accroissement de l'exigence énergétique s'est traduit

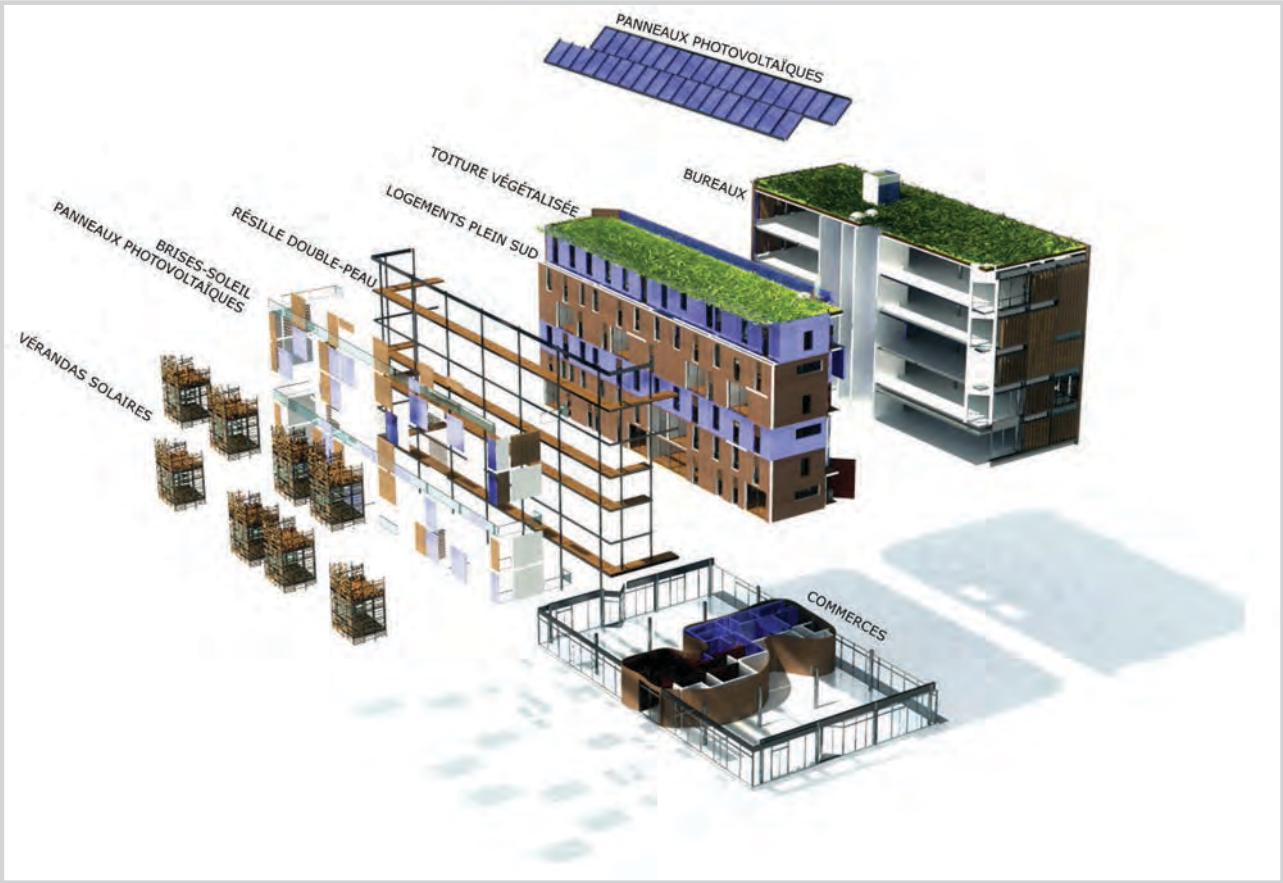


Figure 39 : vue d'ensemble du projet avec les différents éléments qui composent la façade, Projet Impacte

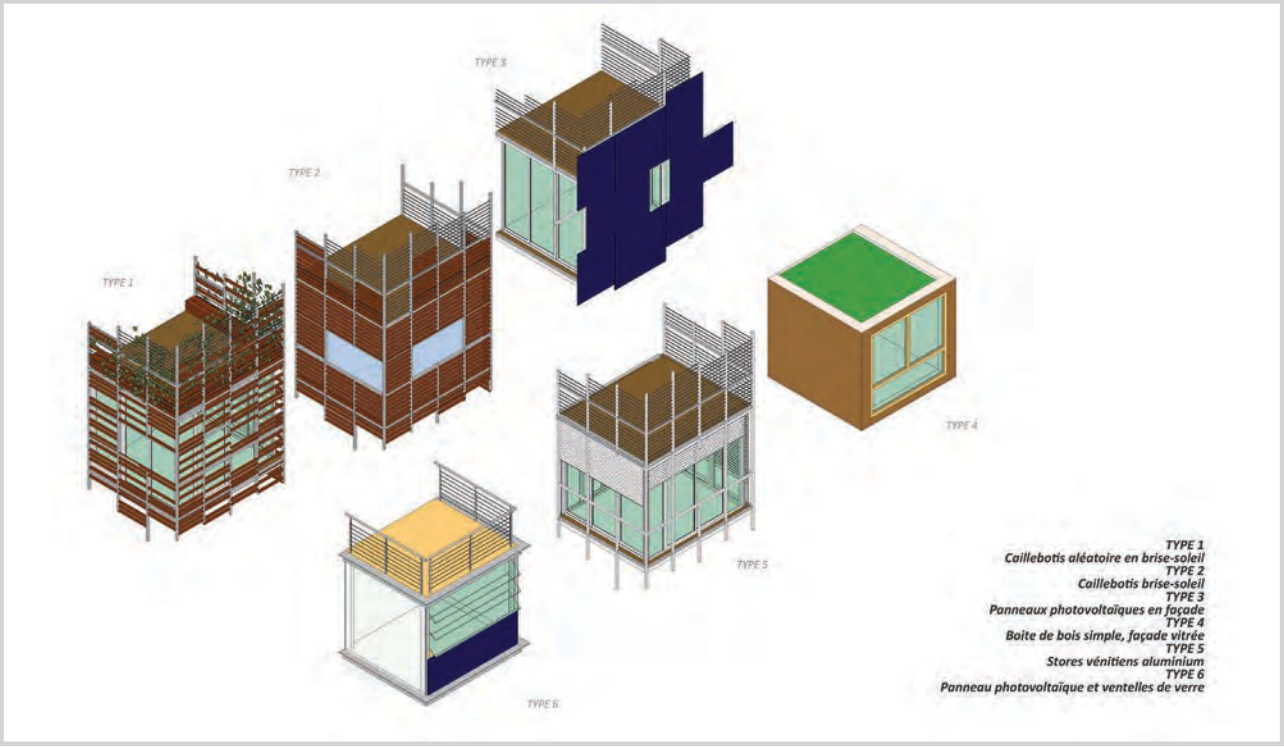


Figure 40 : les différents types de boîtes, projet IMPACTE

par une transformation des façades tant dans la nature des matériaux utilisés, que leur masse et de leur mise en œuvre. Celle du projet Impacte reprend l'essentiel de ces caractéristiques. Elle est le support de la résille, avec des composants qui filtrent le climat extérieur au bénéfice de l'ambiance intérieure (figure 40).

Compte tenu de la masse de matériaux présents, il convient d'estimer la sensibilité de ces nouvelles dispositions constructives au risque d'inflammation lorsqu'elles sont soumises à un rayonnement puissant ainsi qu'à l'intensité d'un feu qui en résulterait. A cela, il convient d'ajouter le risque, identifié précédemment, relatif à la propagation d'un feu entre façades, renforcé par la proximité entre bâtiments pour des raisons liées au contexte urbain et à la performance énergétique. Ainsi l'exercice de prévention doit-il se faire à la lumière des deux paramètres que sont, d'une part, la nature et la masse des matériaux présents en façade, d'autre part, la distance entre façades et entre ouvrants d'une même façade. Selon la définition de la façade donnée par différents textes (voir cadre : la façade : définition réglementaire et d'usage), la réglementation incendie distingue quatre types de risques différents auxquels elle peut être soumise (voir cadre : la réglementation; analyse qualitative et règles quantitatives). Pour chacun de ces risques et selon la famille de bâtiment des règles préventives ont été établies (voir cadre : règles préventives). Les évolutions observées sur la façade posent-elles des difficultés aux dispositions existantes ? Nos cas d'études permettent-ils de les déceler ?

La façade : définition réglementaire et d'usage

Le terme façade, selon les textes, concerne une partie plus ou moins grande de l'enveloppe et nécessiterait une réflexion. Ainsi, l'instruction technique n°249 relative aux façades (annexée à l'arrêté du 24 mai 2010 ; JORF du 6 juillet 2010), sans définir le terme, propose-t-elle dans son annexe 3 les définitions suivantes :

- façade légère : Façade constituée d'une ou plusieurs parois, dont la paroi extérieure, au moins, est caractérisée par une masse faible, généralement inférieure à 100 kg/m^2 ;

- façade légère «double peau » : façade légère vitrée ou partiellement vitrée constituée de deux façades légères à ossatures indépendantes, séparées par une lame d'air d'épaisseur minimale de 200mm et ancrées à la structure primaire du bâtiment, assurant à elles deux la fonction « façade » ;

- façade rideau : façade légère constituée d'une ou plusieurs parois, situées entièrement en avant des nez de plancher ;

- façade semi-rideau : ensembles menuisés, constituant la paroi extérieure d'une façade, mais dont certaines zones, et en particulier celles situées devant les allèges et trumeaux en béton ou maçonnés, n'assurent pas à elles seules l'étanchéité à l'air et/ou à l'eau, alors que d'autres (partie vision) assurent ce rôle.

Le dictionnaire général du bâtiment donne la définition suivante: « Chacune des faces verticales en élévation d'un bâtiment (en élévation signifie généralement à l'exclusion des soubassements et parties enterrées). On distingue :

- la façade principale, qui peut être celle de la porte d'entrée, ou la façade sur rue, ou encore la façade exposée au midi ;

- la façade arrière, à l'opposé de la façade principale ;

- et les façades latérales, plus souvent appelées pignons, surtout si elles épousent la forme triangulaire du comble. »

La réglementation : analyse qualitative et règles quantitatives

Trois règlements, dits de sécurité incendie, ont été édictés en application du code de la construction et de l'habitation. Ils s'appliquent aux opérations de construction neuve de bâtiments à usage d'habitation ou d'établissements recevant du public ou, quels que soient les usages hébergés, à la construction des immeubles dits de grande hauteur, dont la définition est donnée à l'article R122-2 du code précité. Chacun de ces trois règlements comporte une section relative aux façades. Les articles de ces sections mentionnent les dispositions constructives qu'il convient d'appliquer afin que les façades ne jouent pas un rôle favorable à la propagation du feu, lorsqu'il apparaît tant à l'intérieur du bâtiment qu'à l'extérieur, à proximité immédiate de celui-ci. Ils reprennent les deux paramètres précédents :

- La principale des règles relatives à la transmission du feu par les façades est, pour celles comportant des éléments verriers, celle dite du C+D, grandeur (une somme de distances) dont la valeur numérique, exprimée en mètres, a été fixée au regard de celle de la masse de matériaux combustibles, inclus dans les panneaux vitrés de façade, rapportée au m^2 de panneau de façade (vitrage compris). Le préambule du cahier CSTB n° 603 indiquait que les règles posées découlaient essentiellement d'études japonaises, menées sur des façades non combustibles

- Une autre exigence majeure est celle portant sur la performance de réaction au feu de la face externe des parois verticales de l'enveloppe, le niveau de performance (devenu la catégorie M) étant lié : à la famille de classement dont relève le bâtiment d'habitation, à la distance minimale entre bâtiments en vis-à-vis (ou entre le bâtiment et la limite de la parcelle sur laquelle il est prévu de le construire) ou au rapport D/H (D étant la distance des bâtiments en vis-à-vis et H la hauteur du plus élevé des deux).

« Analyse de risque »

La première analyse de risque de transmission du feu, aux façades ou par les façades, figure au paragraphe 3-20 de cette nouvelle rédaction du titre III de la notice technique. Quatre risques y sont considérés :

1/ la propagation radiative pouvant résulter de la manifestation d'un incendie dans un immeuble situé à proximité du bâtiment d'habitation considéré (il s'agit d'un scénario initial de feu extérieur) ;

2/ l'inflammation de la face externe d'une façade sous l'action d'un feu extérieur au sol et proche (par exemple : feu de véhicule ou de poubelle en pied de façade) ;

3/ la propagation rapide et généralisée du feu sur une façade combustible, éventuellement accompagnée de percement par le feu ce, pour un incendie à l'intérieur du bâtiment ;

4/ la propagation aux niveaux supérieurs, par les baies vitrées notamment, voire par la façade combustible elle-même, d'un incendie initialement intérieur à un niveau de l'immeuble.

« Règles préventives »

Risques 3 et 4

Leur prévention a été appliquée aux bâtiments d'habitation classés en 3ème et 4ème familles (au sens de l'article 1er du règlement du 23 mai 1960).

Pour les façades (ou les murs extérieurs) aveugles, la règle posée est : somme des durées coupe-feu pour la façade exposée, sur l'une puis sur l'autre de ses faces, au

moins égale à une heure (recours à deux corps d'épreuve).

Pour les façades comportant des éléments verriers, c'est la règle dite du C+D qui prévaut. Plusieurs seuils ont alors été fixés en fonction de la masse des matériaux combustibles incorporés aux panneaux de façade. Cette masse était exprimée en «équivalent bois», sachant que la combustion de 1 kg de bois libère 16 à 17 MJ.

MASSE COMBUSTIBLE (kg/m²)	CLASSEMENT DU BÂTIMENT	
	3ème famille	4ème famille
M < 1,5	≥ 0,80m	≥ 1,00m
1,5 ≤ M ≤ 5,0	≥ 1,00m	≥ 1,20m
M > 5,0	≥ 1,30m	≥ 1,50m

Seuil numérique (C+D) avec :

C : distance verticale entre les parties les plus rapprochées des deux panneaux qui, situés de part et d'autre du plancher, demeurent en place après un essai Lepir 2. La détermination de l'indice C fait appel à l'essai Lepir 2 qui s'applique aux façades vitrées. Une première description de ce protocole d'essai est donnée au paragraphe 2.22 de l'annexe n°5 de la notice technique, sous le titre «Essais de tenue au feu des façades ; panneaux avec vitres». Cette description a précédé celle donnée dans l'arrêté du 10 septembre 1970 relatif à la classification des façades vitrées par rapport aux risques 3 et 4.

D : distance horizontale entre le plan des vitres et le nu de la plus grande saillie de l'obstacle résistant au feu qui sépare deux panneaux superposés. Cet obstacle peut être le plancher lui-même si la façade est en retrait ou bien un balcon.

Risque 1 et 2

Leur prévention a été appliquée aux bâtiments d'habitation relevant des quatre familles, telles que définies par l'arrêté du 23 mai 1960.

Pour les bâtiments d'habitation peu élevés, qui présentent trois niveaux habitables au plus, la performance requise pour la face externe des façades était «moyennement inflammable» (assimilable à la catégorie M3), avec atténuation «facilement inflammable» (assimilable à la catégorie M4) pour les habitations individuelles, isolées ou jumelées, ne comportant pas plus de deux niveaux habitables. Par ailleurs, ces exigences ne s'appliquaient que sous certains seuils d'éloignement de la façade d'un tiers ou de la limite de parcelle.

Pour les bâtiments présentant plus de trois niveaux habitables, l'exigence était fonction de la distribution des immeubles (en bandes, en quinconce), de leur forme (en T, en L, en Y), du rapport D/H précédemment mentionné et du risque (faible ou important) que présentait l'exploitation du bâtiment tiers, voisin du bâtiment d'habitation à construire. Selon le cas, le niveau d'exigence était moyennement (M3) ou faiblement inflammable (M2) ; il pouvait être plus sévère (non inflammable M1) pour les cas de voisinage avec des tiers à risque important.

Les projets Tikopia, Ecolocatif en bois ou optimisation de la façade nord, sont imaginés pour des parcelles dégagées, la densité étant assurée par le nombre de niveaux. La façade nord vitrée se justifie par la vue offerte sur la Loire à Nantes. La façade sud, qui permet de récupérer les apports solaires, nécessite également l'éloignement d'un vis-à-vis pour conserver le fonctionnement énergétique du bâtiment [figure 41]. Dès lors, il ressort que les projets de tours précédents semblent faiblement exposés au risque 1, relatif à la propagation radiative pouvant résulter d'un incendie situé à proximité du bâtiment d'habitation considéré.

Figure 41 : Optimisation de la façade nord, architecte : Alter Smith

En revanche, l'habitat en nappe imaginé dans le concept habitat pluriel terre et temporalités propose un agencement des bâtiments qui potentiellement augmente la sensibilité à ce risque 1. Cependant le choix de la brique, matériau peu inflammable, en parement extérieur, limite l'exposition à la propagation radiative ainsi qu'à l'inflammation sous l'action d'un feu extérieur au sol et proche (risque 2). En revanche, le recours à des résilles avec des équipements végétalisés, des protections solaires, des panneaux photovoltaïques renforce le caractère combustible de la façade et le risque de propagation rapide et généralisée du feu sur une façade combustible (risque 3) (voir cadre précédent : la réglementation ; analyse qualitative et règles préventives). Dès lors, il est raisonnable de penser que l'exposition aux risques 2 et 3 devient plus sensible. De même, le risque de propagation du feu sur la façade elle-même et donc d'un niveau à l'autre (risque 4) concerne particulièrement ces bâtiments qui disposent de grandes surfaces vitrées et des parties opaques isolées par l'extérieur ou avec des parements bois, excepté l'habitat en nappe qui présente une faible hauteur. Il convient de souligner que la détermination des distances C et D ne se limite pas à la surface vitrée. En effet, les définitions des coefficients sont fortement induites par la technologie des façades panneaux, ces derniers comportant implicitement des parties combustibles susceptibles de percer, tant en linteau sous l'action de feu intérieur et de la flamme émergeant par la baie au vitrage détruit, qu'en allège sous l'action de la flamme émergeante et de l'éventuelle flamme pariétale établie sur la face externe combustible des panneaux.

Il ressort donc que le niveau de risque peut augmenter sous l'influence des nouvelles dispositions constructives mais qu'il ne change pas de nature. En conséquence une approche quantitative, à l'instar de la règle du C+D, devrait ouvrir sur des mesures palliatives. La question doit donc plutôt être orientée vers l'estimation des seuils et leur adaptation ou non aux solutions envisagées.

Les projets CQHE plébiscitent les enveloppes et structures mixtes avec du bois, du béton, du métal, du verre, des produits plastifiés et des végétaux. Ces matériaux sont courants, en revanche, leur assemblage fait appel à des systèmes minutieux et au recours à des produits composites. Le détail de la mise en œuvre n'est pas toujours accessible à la phase APD dans laquelle les projets ont été présentés et relève des plans d'exécution à l'instar des techniques d'étanchéité [étanchéité à l'air]. Les détails introduisent un facteur de complexité. Il serait intéressant d'approfondir cette analyse sur ces documents en portant un regard attentif, notamment, aux mariages entre matériaux à l'instar de ce qui a été fait sur les rupteurs de ponts thermiques.

Il convient également de rappeler que l'accessibilité des façades figure au premier rang des dispositions constructives des réglementations. Elles permettent aux pompiers, au service de secours d'intervenir à tous les niveaux où des personnes peuvent être présentes lorsque les dégagements intérieurs ne sont pas praticables. Il s'agit du public pour les ERP et les occupants de logements pour l'habitation. Les fonctions de la façade, ses modes constructifs posent la question du maintien d'un accès à l'intérieur du bâtiment par les façades. Les éléments ajoutés, à l'instar des résilles non amovibles, ne doivent pas remettre en cause ce principe qui doit cependant être étudié en fonction de l'environnement et des voies d'accès en concertation avec les services de secours. Compte tenu de l'enjeu que représente la façade, sur le plan architectural et énergétique, il peut être pertinent d'aborder plus en amont la question de la sécurité incendie pour cet objet.

Approfondir l'analyse sur la sécurité incendie

Il convient de rappeler que l'analyse effectuée ici ne prétend aucunement à l'exhaustivité. Elle est un regard. D'autres, plus précis, plus quantitatifs, peuvent bien sûr être portés. Le tableau 2 récapitule la sensibilité au risque incendie des composants facteurs de la performance énergétique développés dans le cadre des projets CQHE.

L'analyse ne fait pas ressortir, sur les cas concrets étudiés, des difficultés patentes pour assurer la sécurité incendie, ou des singularités que les dispositions réglementaires ne sauraient pas anticiper. Ce constat s'explique par le cadre de l'appel à idées qui visait la livraison d'un projet en phase APD qui ne permet pas de voir dans le détail les difficultés de la réalisation et est en amont du travail de concertation avec les différents acteurs. Ce travail montre qu'une analyse qualitative de risque s'appuyant sur les référentiels réglementaires existants peut constituer une première étape dans la recherche de solutions pour respecter les exigences de sécurité incendie intégrant la présence d'activités différentes dans l'emprise d'un même immeuble.

Les autres critères de la qualité globale à travers la démarche HQE

Pour aborder les autres critères de la qualité nous privilégions une approche qui reprend la structure de la démarche HQE appliquée aux bâtiments. Elle s'appuie sur une liste de 14 thèmes, appelés couramment cibles, relatifs au site, à la construction, à la gestion, au confort et à la santé. Ces 14 cibles de la qualité environnementale des bâtiments sont les suivantes, présentées ici d'une façon inhabituelle, en fonction de l'angle selon lequel on considère le bâtiment:

— Bâtiment vu comme un sous-système interagissant avec son environnement immédiat :

Cible n° 1. Relations des bâtiments avec leur environnement immédiat

— Bâtiment vu comme hébergeant des occupants et leurs activités :

Cible n° 8. Confort hygrothermique

Cible n° 9. Confort acoustique

Cible n° 10. Confort visuel

ELÉMENTS DE LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE	INTÉRÊT ÉNERGÉTIQUE	RISQUES INCENDIE IMPACTÉ DE FAÇON PRIVILÉGIÉE	EXEMPLE
Mixité d'usages, la mutualisation des usages, favoriser la proximité.	Opérer des transferts d'énergie, par simple mitoyenneté ou via un système de récupération.	Exigence fonctionnelle d'isolement des tiers, Exigence de résistance au feu des façades, sensibilité aux risques 1 et 4.	Impacte, BBEFM
Façade en bois avec isolation par l'extérieur ou répartie.	Augmenter l'isolation, limiter les ponts thermiques avec des parois autoporteuses, faciliter la rénovation sans toucher à la structure.	Exigence de résistance au feu des façades, sensibilité aux risques 2, 3 et 4.	Effibat, Ecolocatif en bois
Façade très vitrée.	Récupérer les apports solaires, accès à l'éclairement naturel, faciliter la surventilation.	Exigence de résistance au feu des façades, sensibilité aux risques 3 et 4.	Optimisation de la façade nord
Parois actives : Résilles et parois filtrantes ou productrices d'énergie (protections solaires, PV, mur trombe).	Récupérer la chaleur l'hiver, la transférer à l'ambiance ou améliorer le bilan thermique de la façade, se protéger du soleil l'été, filtrer le rayonnement pour bénéficier de l'éclairement naturel et limiter les apports de chaleur, rafraîchir l'air par évapotranspiration (humidifier l'air par les plantes), créer de l'énergie.	Exigence de résistance au feu des façades, sensibilité aux risques 2 et 3. Accessibilité des façades aux services de secours.	Impacte, Ecolocatif en bois
Les espaces communs ou ouverts associés à un transit d'air : serre, espace tampon.	Conditionner l'air avant qu'il ne pénètre dans le volume habitable (préchauffer en hiver rafraîchir en été).	Exigence fonctionnelle d'isolement des tiers, Exigence de résistance au feu des façades, exposition forte au risque 4.	Tikopia,
Les espaces traversants.	Tirer parti des différentes orientations du bâtiment selon la période, évacuer la chaleur en été avec un flux de la façade à l'ombre vers la façade au soleil.	Exigence de résistance au feu des façades, exposition forte au risque 3 et 4.	Optimisation de la façade nord, Effibat

Tableau 2 : sensibilité au risque incendie de quelques solutions énergétiques

Cible n° 11. Confort olfactif

Cible n° 12. Qualité sanitaire des espaces

Cible n° 13. Qualité sanitaire de l'air

Cible n° 14. Qualité sanitaire de l'eau

— Bâtiment vu comme une machine en fonctionnement :

Cible n° 4. Gestion de l'énergie

Cible n° 5. Gestion de l'eau

Cible n° 6. Gestion des déchets d'activité

Cible n° 7. Gestion de l'entretien et de la maintenance

— Bâtiment vu comme un assemblage de produits (considérés sur leur cycle de vie et à l'épreuve du temps) :

Cible n° 2. Choix intégré des procédés et produits de construction

Cible n° 3. Chantier à faibles nuisances

La démarche HQE invite les acteurs à réfléchir de façon multicritère, sachant que les 14 cibles interagissent entre elles, se traduisant tantôt par des convergences, tantôt par des antagonismes. Elle les invite également à faire une étude approfondie du site et du contexte, là aussi multicritère, ce qui permet d'identifier en amont les contraintes et les opportunités du site et sert de base à la hiérarchisation des cibles. En résumé, la pertinence des objectifs environnementaux d'un projet HQE se définit par une réflexion sur la qualité globale et l'adaptation optimale du projet au contexte local. Lorsque les exigences programmatiques se focalisent sur la haute performance énergétique, les principes de la démarche HQE que l'on vient d'énoncer gardent toute leur validité. Il convient d'adapter en conséquence les exigences sur les autres thèmes.

Par rapport à la problématique, les principaux thèmes de la qualité globale sont les suivants :

— L'adaptation au site et au contexte

Les interactions avec le contexte urbain et la prise en compte des contraintes et opportunités du site.

— Le confort et la santé

Le confort, à travers les conditions visuelles et acoustiques. Les conditions thermiques ont déjà été vues à travers le prisme de la performance énergétique.

La santé, à travers le thème de la qualité d'air intérieur (QAI).

— La qualité d'usage

L'utilisation des espaces et des équipements.

— Le facteur « temps » et le cycle de vie

La durabilité de l'ouvrage et de ses composants, ainsi que la facilité d'exploitation et d'entretien-maintenance, dans une perspective de pérennité des performances et de vision à long terme.

L'énergie « grise » incluse dans le cycle de vie des produits de construction qui, en élargissant le périmètre spatial et temporel du système, interroge les processus de fabrication, de transport, de construction et de fin de vie.

Le choix de ces thèmes se justifie par les interactions qu'ils entretiennent avec la gestion de l'énergie, soit qu'ils impactent la performance énergétique, soit qu'ils risquent d'être négligés à cause de la recherche d'une haute performance énergétique[15]. De plus, les items relatifs au confort, à la santé, à l'usage et à la pérennité correspondent à des fonctions et caractéristiques essentielles d'un bâtiment, qu'il convient de préserver, sans pour autant les rigidifier. On constate que les thèmes retenus mettent en relation différentes échelles spatiales et temporelles de par les questions fondamentales qui leurs sont associées : « où construisons nous », « pour qui construisons nous » et « comment et pour combien de temps construisons nous » ?

Ces thèmes seront croisés avec les concepts architecturaux suivants, développés dans les projets CQHE :

— les choix constructifs et les matériaux utilisés, par exemple une cheminée d'air centrale[16], des panneaux photovoltaïques, des matériaux biosourcés[17], une enveloppe ou « peau » désolidarisée de la structure[18] ;

— l'agencement du logement et sa « pièce en plus ». La pièce en plus peut être un espace capteur de chaleur comme une véranda bien orientée[19], ou une pièce « neutre » dont l'usage sera déterminé par l'occupant selon ses besoins[20]. L'agencement général peut être « ouvert »

15/ Voir notamment le référentiel PEQA de Certivéa, conçu pour accompagner les labels de haute performance énergétique des bâtiments tertiaires (www.certivea.fr).

16/ Projet Tikopia

17/ Par exemple projets Ecolocatif en bois ou Optimisation de la façade nord

18/ Voir les projets Impacte ou Tikopia

19/ Voir par exemple les projets Optimisation de la façade nord ou Impacte

20/ Voir notamment le projet habitat pluriel terre et temporalités

(espaces peu cloisonnés[21]), « fermé » (espaces très cloisonnés) ou ajustable selon les saisons ;

— les espaces communs, offrant à tous les occupants de l'immeuble des espaces à partager[22] ;

— la mixité d'usages, afin notamment de mutualiser certains besoins, de permettre des transferts d'énergie[23].

Chaque thème va être analysé en présentant :

— en quoi le thème interagit avec une performance énergétique élevée et quels sont les phénomènes mis en jeu ;

— comment les projets CQHE ont intégré et traité le thème ;

— comment la réflexion peut être élargie de façon plus générique.

L'adaptation au site et au contexte

Les caractéristiques du site et du contexte urbain conditionnent la stratégie énergétique et influencent les performances du bâtiment liées à l'énergie et à l'environnement intérieur, faisant de chaque projet un cas particulier. Ces caractéristiques sont nombreuses : les paramètres climatiques locaux, les règles d'urbanisme, les nuisances urbaines notamment sonores, les réseaux disponibles, l'aménagement urbain, l'environnement bâti, les contraintes techniques, les risques, etc. A cela se rajoute l'accès aux services et aux transports, si l'on se place dans une démarche énergétique plus large englobant l'ensemble d'une activité ou d'un mode de vie (habiter, travailler, se détendre...)

Se posent également les questions de la densité optimale au regard de l'énergie et de ses thèmes corollaires, et de l'attractivité du logement en immeuble collectif, à réinventer, pour concurrencer celle de la maison individuelle. Le milieu urbain se caractérise par la densité et la diversité, ces deux caractéristiques créent un nouveau « climat », donc une conception « bioclimatique » adaptée à la ville doit être pensée en fonction de ces deux qualités : se préserver du froid en valorisant les pertes de chaleur, se préserver du chaud en disposant d'un environnement extérieur tempéré, et améliorer l'accès à la lumière du jour pour le confort, la santé et les économies d'éclairage.

Le site, au regard des opportunités et des contraintes qu'il génère, n'est pas neutre sur le plan de l'énergie, du confort, de la santé, et plus largement du développement durable. Il convient de prendre en compte ses spécificités pour établir la performance. Le site, de par ses caractéristiques intrinsèques, offre un ensemble de « ressources » et constitue un « potentiel » à exploiter dans le projet, sur le plan énergétique, et également sur d'autres thématiques comme le confort. Les caractéristiques en question peuvent concerner, le climat local, l'environnement construit ou l'organisation et l'activité de la cité :

Le climat local

— Le climat ou microclimat : le vent, l'ensoleillement, l'humidité, l'amplitude journalière des températures en été, qui est un aspect essentiel de la conception bioclimatique, impactant le fonctionnement du bâtiment et le confort en toutes saisons, et fournissant des sources d'énergies renouvelables ;

— L'aménagement des espaces urbains : revêtements minéraux clairs ou sombres, végétation, présence d'eau, espaces verts, zones ombragées en été, tout cela constitue un microclimat urbain, entraînant un effet d'îlot de chaleur plus ou moins accentué, pouvant favoriser ou non le confort d'été, notamment vis-à-vis de solutions telles que la surventilation nocturne destinée à rafraîchir le bâtiment ;

— Les aspects liés au sol ou au sous-sol : topographie, géologie, hydrologie, potentiel géothermique, radon, qui peuvent se traduire par des contraintes mais aussi par des opportunités telles que : utilisation de la température relativement stable d'un cours d'eau ou d'une nappe, etc. ;

L'environnement construit

— L'environnement bâti : activités environnantes, déchets ou rejets facilement convertibles en source d'énergie, pertes d'énergie récupérables, production locale d'énergie, besoins éventuels de chaleur à basse température, ou toute information permettant d'étudier des stratégies de transfert d'énergie (chaleur, froid, électricité) et/ou de mutualisation de sources d'énergie ;

— Les voiries : de par leur largeur, leur orientation, elles conditionnent le potentiel solaire du site et la conception bioclimatique, favorisent ou non la circulation du vent en été, imposent l'orientation des façades principales et les vues ;

— Les réseaux desservant le site ou situés à proximité : réseaux de chaleur urbains, autres réseaux énergétiques, ce qui autorise certaines sources

21/ C'est le cas du projet Optimisation de la façade nord

22/ Voir les projets Tikopia ou Ecolocatif en bois (étage intermédiaire dédié à un espace convivial)

23/ Voir les projets Impacte ou Bâtiment bioclimatique évolutif à fonction mixte

énergétiques, renouvelables ou non, émettant plus ou moins de gaz à effet de serre ;

L'organisation et l'activité de la cité

— Les règles d'urbanisme : densité, gabarits, emprise au sol, contraintes architecturales (liées par exemple à un site classé), qui viennent contraindre les formes, obliger à certaines orientations, imposer des masques proches, ce qui limite ou conditionne l'optimisation bioclimatique de l'enveloppe, ou encore l'utilisation d'équipements solaires ou éoliens ;

— Les choix d'urbanisme : mixité fonctionnelle, accès aux services et aux transports, espaces verts et de convivialité, ce qui conditionne le mode de vie des habitants, en particulier les déplacements et leur contenu énergétique ;

— Les nuisances urbaines : bruit, odeurs, poussières, air pollué, qui peuvent compromettre des solutions de ventilation naturelle ou par ouverture de fenêtre ;

— La vulnérabilité au regard de certains risques, y compris le changement climatique : inondation, tempête, sècheresse, canicule, séismes, risques de pollution accidentelle, ce qui demande de faire des choix viables sur le long terme ;

De plus, il convient de tenir compte des projets de la Collectivité pouvant affecter ou interagir avec le site à court, moyen ou long terme.

Les projets CQHE ont été imaginés avec un minimum de contraintes par rapport au site ; chaque projet ayant défini son propre contexte, plus ou moins contraint. Néanmoins, on peut identifier quelques aspects convergents entre environnement urbain et principe énergétique :

Les acteurs du projet Habitat pluriel terre et temporalités ont réfléchi sur la densité optimale de la nappe de logements, reliant diverses configurations spatiales aux besoins de chauffage. Ceci est illustré par la figure 42.

D'autres projets ont travaillé sur la mutualisation des sources énergétiques et la mixité d'usages avec une répartition verticale et horizontale des espaces en fonction des activités :

— le projet Impacte comprend des logements au sud et des commerces au rez-de-chaussée. L'ombre portée des bâtiments voisins conditionne la répartition entre commerces et logements ;

— concernant le projet de tour Tikopia, on note une répartition verticale avec le socle au niveau de la rue et à l'échelle des bâtiments adjacents, les logements sont situés au-dessus et sont dégagés des masques créés par les autres bâtiments.

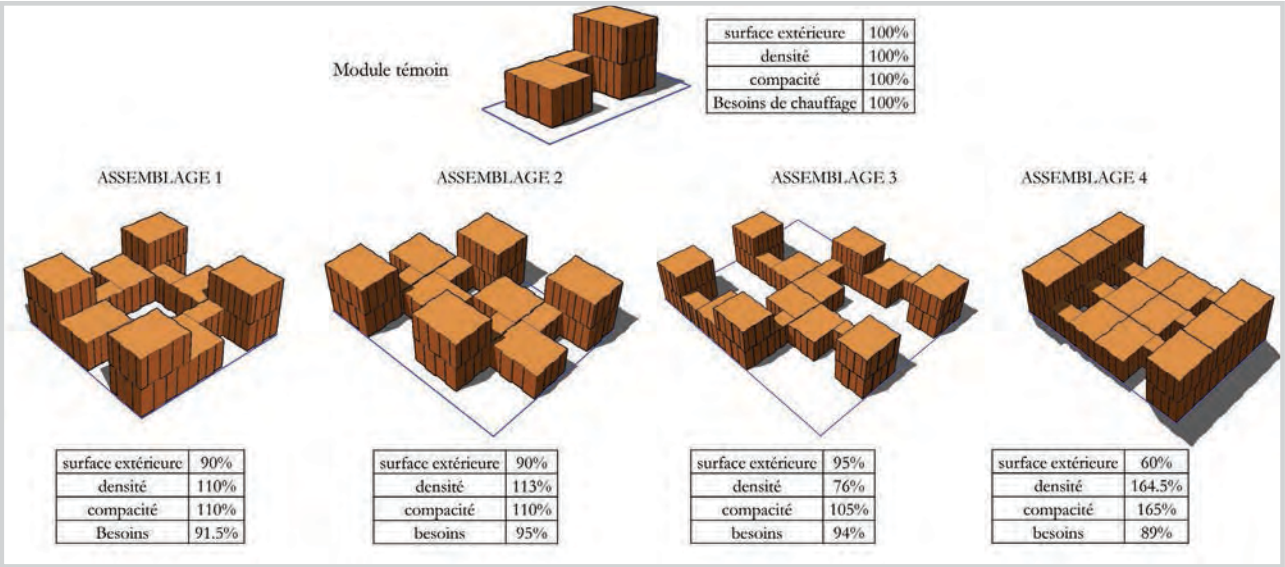


Figure 42 : habitat pluriel terre et temporalités, interactions entre densité, compacité et besoins de chauffage

La forme arrondie de la tour côté nord a pour objectif de limiter les masques sur les bâtiments riverains, comme le montre la figure 43.

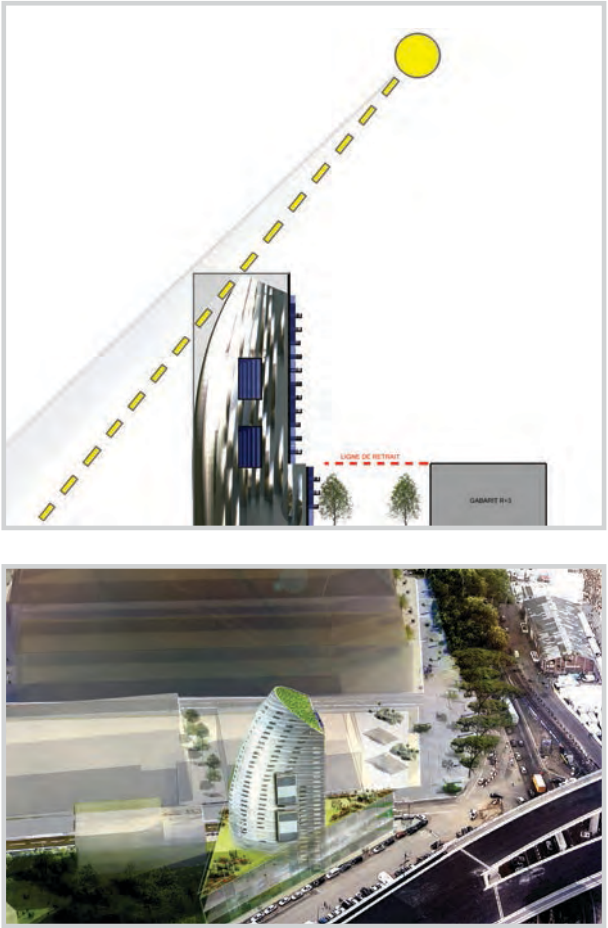


Figure 43 : Tikopia, quelle forme pour réduire l'impact sur les autres bâtiments ?

L'architecte du projet Optimisation de la façade nord a privilégié la vue sur la Loire, d'où une façade nord fortement vitrée, et une stratégie de captage d'énergie en façade sud pour ensuite la transférer vers les espaces nord, en utilisant le vecteur air. Cela suppose un tissu urbain assez aéré (absence de masques) pour permettre une bonne récupération solaire en façade sud. Cette remarque n'est pas anodine, car il est assez peu fréquent qu'un bâtiment en site urbain soit bien dégagé sur ses deux façades principales.

D'un point de vue plus générique, une analyse multicritère du site doit être faite en amont afin d'identifier les « ressources » du site et de les mettre en regard des « besoins » du projet. Cette analyse de site est à inclure dans le programme, et doit être prise en compte pour hiérarchiser les objectifs et fixer les exigences de performance, sachant que les concepteurs devront ensuite approfondir, optimiser et affiner cette adéquation entre site et projet.

L'éclectisme des concepts CQHE montre que la performance énergétique peut être obtenue en suivant des principes parfois éloignés des canons du bioclimatisme traditionnel. En revanche, chaque projet s'est appuyé sur les caractéristiques intrinsèques du site imaginé ou les a définies en fonction du bâtiment développé. Cette latitude était offerte par le contexte très particulier de l'appel à idées CQHE.

Ainsi la diversité d'activités propre aux environnements urbains ouvre des opportunités. Dans la perspective d'une mixité d'usages, le rez-de-chaussée demande une attention particulière. En effet, en milieu urbain dense, exposé au bruit, à la chaleur, à la pollution de l'air, au risque d'intrusion, etc., il pose souvent problème pour le logement. Dès lors, le rez-de-chaussée demande un traitement spécifique, et offre une opportunité pour introduire, à travers des commerces, des bureaux, des locaux pour des professions libérales, une mixité d'usages au sein même du bâtiment, et demande également de réfléchir à des stratégies de transfert ou de récupération d'énergie entre les différents usages.

L'ouverture du programme sur la mixité d'usages offre au concepteur des perspectives de performance énergétique orientée sur la récupération et non plus sur la production. Le programme peut devenir ainsi un tremplin à l'innovation technologique des systèmes énergétiques. Mais la mixité des usages ou mixité fonctionnelle au sein d'un même programme est un sujet difficile qui nécessite d'étudier le contexte urbain et ses fonctions. Elle ne peut se faire sans impliquer la collectivité.

Le logement en immeuble collectif participe à la fabrication de villes denses autour de pôles de services, et de ce fait contribue à limiter l'étalement urbain[24]. Face à l'engouement des ménages pour la maison individuelle, consommatrice d'espace, de réseaux, de transports, etc., il convient de réhabiliter l'attractivité du logement collectif, en réfléchissant notamment sur les usages et la qualité de vie. Les projets CQHE, sur la base de partis architecturaux très diversifiés, s'attachent à proposer des logements collectifs qui offrent

24/ Il faut avoir à l'esprit que l'artificialisation des sols consomme en France l'équivalent en surface d'un département tous les 7 ans, et impacte la biodiversité, le climat, les puits de carbone naturels, la capacité de production agricole, forestière, aquacole, etc. Voir le rapport d'évaluation du Grenelle, octobre 2010.

tout ou partie des agréments, réels ou supposés[25], de la maison individuelle[26].

La densité est donc souhaitable, mais elle a ses limites. Dans une approche qui ne se réduit pas au bâtiment, il convient de favoriser la qualité de vie locale, les espaces de détente et de « respiration », afin d'éviter que les habitants, stressés par leur mode de vie durant la semaine, fuient en dehors de la ville tous les week-ends, à la recherche de lieux plus agréables, de calme, d'espace, de nature, etc., entraînant des transports pouvant être énergivores et polluants (voiture individuelle notamment).

Il convient donc également d'élargir la réflexion et d'intégrer les questions de mobilité, qui ont des répercussions énergétiques, environnementales, sociales et économiques fortes, sans rester seulement à l'échelle des besoins des bâtiments, mais en se centrant sur les besoins des usagers pour leurs activités. Les choix d'urbanisme jouent alors un grand rôle. Le fait de construire un bâtiment BEPOS sur un site loin de tout service et dépourvu de transport en commun, reviendrait à transférer la responsabilité de la réduction de la consommation d'énergie du logement vers le transport. Par ailleurs, la densité nécessite d'avoir le souci de l'autre et de veiller, à l'instar du projet Tikopia [figure 43], à ne pas dégrader les ressources des bâtiments à proximité, en l'occurrence solaires en limitant l'effet de masque.

On peut se poser la question : quelle est la densité urbaine optimale pour assurer conjointement un ensemble de performances énergétiques, environnementales et sanitaires, comme dans la démarche HQE, en intégrant les impacts à l'échelle urbaine ? La densité forte et la densité faible ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients. Le meilleur compromis serait-il une densité moyenne, proche de l'habitat individuel dense ou du petit collectif ?

La réponse dépasse l'équipe de conception et concerne en premier lieu les urbanistes et les aménageurs. En effet, leurs actions et décisions ont des conséquences sur la performance énergétique des bâtiments. Par exemple, la forme générale des bâtiments (distance entre bâtiments, COS, orientation, hauteur, pente de toiture, proportions, parties vitrées, nombre de places de parking) est souvent contrainte par les règles locales d'urbanisme, qui jusqu'à présent, ont été peu influencées par des considérations énergétiques. Dès lors, leur implication apporterait un plus pour établir des exigences énergétiques plus ambitieuses, à l'instar du BEPOS, en phase avec les ressources du territoire. A ce titre la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments [UE, 2010] ouvre la voie avec l'introduction d'une tolérance dans la performance énergétique avec la notion de « bâtiments à consommation d'énergie quasi nulle » comme standard pour les bâtiments à l'horizon 2020.

Finalement, il s'agit de répondre au mieux aux besoins, énergétiques et des habitants, en exploitant au mieux les ressources ou opportunités du site. Cela dépend donc des caractéristiques du lieu de construction, et des synergies et optimisations possibles. Des choix énergétiques peuvent se révéler d'un niveau très performant dans un contexte donné, parce qu'on pouvait difficilement faire mieux à cet endroit. En revanche, des choix équivalents dans un site mieux pourvu en opportunités aboutiront à un niveau moyen de performance, parce qu'il était possible d'aller plus loin. Cela conduit à relativiser la notion de performance, c'est-à-dire à la replacer dans le contexte urbain de l'opération. Evaluer une performance, cela signifie l'interpréter par rapport à des limites qui trouvent leur sens dans un contexte donné. Elle ne peut se limiter à des valeurs quantitatives.

Le confort et la santé

Il est difficile d'établir clairement la limite entre inconfort et risque pour la santé. On peut considérer qu'il y a comme un « continuum » entre le confort et la santé, c'est pourquoi ces deux thèmes sont regroupés sous un même en-tête. L'inconfort peut se traduire par des sensations désagréables ou gênantes, alors que des symptômes pathologiques relèvent du domaine de la santé. Le décès prématuré de près de 15000 personnes en France lors de la canicule de 2003 illustre bien les effets sur la santé d'un inconfort thermique poussé à son extrême. Les pathologies liées aux nuisances sonores, les dépressions saisonnières par manque de lumière du jour, sont d'autres exemples. La distinction entre santé et confort est sans doute plus facile à établir par des critères quantitatifs plutôt que qualitatifs, faisant intervenir des notions de seuils à la fois dans l'intensité des phénomènes et dans la durée d'exposition.

Cependant, le renforcement des exigences énergétiques et le contexte urbain ont pour consé-

25/ La maison individuelle est souvent idéalisée. Afin de réhabiliter l'attractivité du logement collectif, il convient aussi de « démythifier » la maison individuelle.

26/ La maison individuelle est perçue avec les avantages suivants : intimité, espace ou impression d'espace, calme, lien avec l'extérieur, lumière et soleil, possibilité de vivre plus souvent dehors ou en avoir l'impression, relation avec la « nature ».

quences de rapprocher ces deux thèmes et de rendre la frontière moins nette. Le changement d'ordre de grandeur sur le critère de l'énergie conduit à revisiter des questions qui se posent en matière de confort thermique :

— est-il possible de se passer de climatisation en été ?

— comment gérer le confort en mi-saison ? Ne sous-estime-t-on pas la complexité induite par cette période ?

— est-il possible de se passer de chauffage en hiver, et dans ce cas comment préserver le confort d'hiver ?

— les « normes » et la conception moderne du confort thermique doivent-elles être revues ?

— comment anticiper le réchauffement climatique ?

La question du confort d'été existe déjà sur le plan réglementaire depuis 2000 [arrêté, 2000]. Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, le fait de renforcer l'isolation et l'étanchéité des bâtiments, confronté à l'impact du patrimoine bâti et de la voirie sur l'environnement local, ne fait qu'accentuer la problématique. De même, la question de la mi-saison a été étudiée à travers l'adaptation entre le système énergétique et le fonctionnement du bâtiment, en particulier pour limiter les surchauffes. Les premiers retours d'expériences sur les bâtiments à basse consommation [RAGE, 2012] identifient le surdimensionnement comme une source de surconsommation d'énergie, en plus d'un coût supplémentaire à l'installation. Comment trouver le bon équilibre entre complexité, coût en réponse à un besoin particulièrement faible et épisodique ? Il s'agira de s'assurer que les conditions d'ambiance soient « acceptables » pour les occupants, y compris dans des situations extrêmes qui pourraient s'avérer plus fréquentes et d'une durée plus longue que prévue selon les scénarios d'occupation envisagés. Dès lors, dans l'avenir il est probable que la question principale pour le concepteur ne sera plus de calculer une consommation de chauffage mais de savoir s'il peut s'affranchir d'un système de chauffage ou, de façon moins radicale, quel système mettre en place tout en conservant la garantie qu'il n'y ait pas de situations critiques.

Par ailleurs, les bâtiments que l'on conçoit aujourd'hui, avec les hypothèses actuelles, vont fonctionner plusieurs dizaines d'années. Les équipements pourront être remplacés par d'autres plus performants et mieux adaptés, mais le parti architectural et les choix d'enveloppe engagent davantage l'avenir que les équipements. Le contexte va évoluer à deux niveaux : les conditions de confort acceptables en hiver et en été par les occupants des logements et des bureaux, et les températures extérieures sous l'effet du réchauffement climatique, d'ailleurs déjà en marche.

— Un bâtiment très performant étant fortement isolé, le fait de relever les consignes de température en hiver, par exemple de 19°C à 21 ou 22°C, n'entraîne pas de difficulté majeure, sachant que peu d'énergie en plus suffira à atteindre ces nouveaux « standards », sans compter l'effet positif du réchauffement climatique.

— La question est beaucoup plus problématique en été, notamment si le confort thermique est assuré par des solutions passives (inertie, protections solaires, puits canadien, surventilation nocturne…). Si l'on fait l'hypothèse que le « polygone de confort » acceptable aujourd'hui sera plus réduit demain, et que le réchauffement climatique se traduira par 1°C de plus et par des canicules plus fréquentes, force est de constater que le confort sera difficile à atteindre, vu le peu de marge de manœuvre généralement offert par les solutions passives. Le risque est de voir se développer dans l'habitat l'installation plus ou moins anarchique de climatiseurs, mais on notera que ce risque est plus important dans les bâtiments existants que dans les bâtiments performants qui intègrent une conception bioclimatique.

1/ Le confort visuel

Généralement les architectes accordent une grande importance au confort visuel et prêtent fréquemment 3 fonctions principales à une fenêtre : l'éclairage, la vue, la ventilation. Ce sont les deux premiers points qui sont concernés ici, le troisième relevant d'autres thématiques (confort thermique, confort olfactif et qualité d'air intérieur). Le Corbusier accordait une importance vitale au soleil dans l'habitat : « le soleil, qui commande à toute croissance, devrait pénétrer à l'intérieur de chaque logis[27] », il a même proposé un seuil, en exigeant « qu'au solstice d'hiver le soleil pénètre dans chaque logis au minimum deux heures par jour[28] ». Le manque de lumière naturelle peut être reconnu comme un critère d'insalubrité. Ainsi, le Code du travail exige-t-il pour les locaux à usage prolongé un accès à la lumière du jour et des vues sur l'extérieur à l'horizontale du regard [code du travail].

Le confort visuel est donc un aspect impor-

27/ Le Corbusier, la Charte d'Athènes, Habitations, éditions de minuit, 1957, Paris, article 12.

28/ Le Corbusier, la Charte d'Athènes, Habitations, éditions de minuit, 1957, Paris, article 26.

tant à préserver, notamment l'agrément de la lumière naturelle et des vues sur l'extérieur, mais il interagit de façon antagoniste avec le confort thermique d'été, à cause des apports solaires. L'éclairage naturel permet de faire des économies sur l'éclairage artificiel, poste de consommation énergétique qui tend à augmenter, en part relative, avec la diminution des besoins de chauffage. Il en ressort la nécessité de revisiter les principes de la conception bioclimatique.

Bien que l'éclairage artificiel contribue au confort visuel, c'est principalement l'éclairage naturel qui est visé ici. Qui dit éclairage naturel dit parties vitrées, qui dit parties vitrées dit apports solaires, variables selon les orientations, et risques de surchauffe. Les protections solaires, qui pallient à l'inconfort thermique et évitent l'éblouissement, ainsi que les brise-vues qui préservent l'intimité, réduisent l'éclairage naturel. La lumière homogène, donc diffuse, est plus efficace pour les activités tertiaires. Or il faut garder à l'esprit qu'il n'y a pas que le rayonnement direct du soleil qui procure des apports internes de chaleur, le rayonnement diffus n'est pas négligeable en termes énergétiques (environ 100 à 200 W/m^2 de vitrage), il faut donc en tenir compte.

De plus, un sentiment d'enfermement peut apparaître, consécutif à une mauvaise gestion de l'espace, à un manque de perspectives visuelles, à des protections solaires fixes, à un manque de lumière naturelle.

Dans les bâtiments très isolés où l'épaisseur des murs est importante, et où les vitrages sont doubles ou triples, la pénétration de lumière est réduite, par rapport à un bâtiment standard de même volumétrie intérieure.

Les concepteurs des projets CQHE ont tous intégré ces questions de confort visuel.

Le projet Impacte propose pour les loggias des résilles permanentes en peau de façade ; celles-ci filtrent le soleil mais « formatent » et entravent les vues sur l'extérieur et peuvent donner un sentiment d'enfermement. L'usager devrait pouvoir manœuvrer les protections solaires afin de libérer totalement les vues quand il le souhaite.

Le projet Optimisation de la façade nord a une proportion très importante de parties vitrées, y compris pour délimiter certains espaces intérieurs. Comme tout aspect de confort, le confort visuel est une question d'équilibre et de dosage, c'est-à-dire il n'en faut ni trop ni trop peu. Un projet trop vitré, trop transparent, peut être perturbant pour l'occupant sur le plan psychologique (manque d'intimité) et apporter un éclairement trop fort près des façades.

Quant au projet de mini-tour Tikopia, les serres à usage collectif sont très vitrées, procurant le sentiment d'être dehors, comme dans un jardin ou un patio.

Dans le cas du projet Effibat, où le bâtiment est très épais, la présence d'un atrium permet à la fois d'apporter de la lumière aux pièces centrales et de favoriser la ventilation traversante.

D'un point de vue générique, en période de chauffage, il peut y avoir à gérer des problèmes d'éblouissement dû au soleil ou de reflets sur écran, ce qui va amener à abaisser les protections solaires, avec pour conséquence de priver le bâtiment d'apports solaires pour le chauffage, et de solliciter l'éclairage artificiel. Pour un confort visuel constant et de bonne qualité, il est intéressant de disposer des baies vitrées au nord, notamment pour les activités de bureau (travail sur écran), mais il convient de veiller à leur forte isolation thermique (triple vitrage en climat froid).

La mobilité des protections solaires permet théoriquement d'adapter les apports solaires et lumineux aux besoins de l'occupant qu'il s'agisse de lumière, de chaleur ou d'intimité. Pour répondre à cet équilibre, en tenant compte des variations de l'environnement et des usages, il est judicieux d'avoir recours à des lames orientables et empilables, si possible assez larges, plutôt qu'à des « screens » uniformes. Les protections solaires doivent par ailleurs présenter une bonne tenue au vent, afin de répondre aux critères de fiabilité et de durabilité. Les automatismes couplant des gradateurs de lumière et la gestion des protections solaires permettent d'optimiser le recours à l'éclairage artificiel. Le gradateur vient compenser l'obscurcissement dû à la protection solaire.

On a vu que la compacité du bâti avait des avantages, mais il faut faire attention aux bâtiments profonds, notamment pour les bureaux : dans le cas d'un bâtiment large de 18 m, 1/3 du bâtiment est sans accès à l'air ou à la lumière naturelle (c'est-à-dire au-delà de 6 m par rapport à une façade).

2/ Le confort acoustique

Le confort thermique d'été peut être contraint par des nuisances acoustiques extérieures, empêchant l'ouverture des fenêtres. D'une part, l'ambiance acoustique peut être dégradée lorsqu'on veut mobiliser l'inertie thermique des locaux (inertie du plafond notamment). D'autre part, la mise en œuvre de surfaces absorbantes, pour atténuer la réverbération dans un local, va « masquer » une partie de l'inertie thermique (plafond et murs notamment), à moins que la masse volumique du matériau absorbant soit élevée.

Le bruit des réseaux aérauliques est à minimiser, que ce soit en cas de chauffage aéraulique ou de ventilation double-flux.

Les projets CQHE se préoccupent relativement peu des questions acoustiques et des interactions entre énergie, confort thermique et confort acoustique. La question acoustique peut être évoquée dans l'atrium du projet Effibat qui nécessite un traitement approprié pour réduire la réverbération. Les jardins d'hiver collectifs du projet Tikopia peuvent, de par leur fréquentation, engendrer des situations bruyantes et poser des problèmes acoustiques aux locaux adjacents. Un antagonisme a été relevé entre acoustique et confort d'été dans le projet Optimisation de la façade nord, dû au fait que la dalle de compression est recouverte par un isolant acoustique.

Les phénomènes acoustiques étant relativement complexes, la présence d'un acousticien dans l'équipe de conception est recommandée.

Certains projets CQHE ont cherché à diversifier les usages afin de mutualiser des ressources énergétiques et de permettre des transferts de chaleur. Ces juxtapositions d'usages différents et les dispositifs de transfert de chaleur peuvent engendrer des problèmes acoustiques.

Les conflits de confort peuvent toucher trois aspects de confort : thermique, acoustique et visuel. Ceux-ci doivent donc être travaillés simultanément lors de la conception. Là aussi, l'orientation des façades et les caractéristiques du site sont à prendre en compte dans la recherche de solutions optimales.

3/ La santé à travers la qualité d'air intérieur

L'accès à un air pur dans les logements, était une préoccupation forte des hygiénistes depuis le milieu du 19ème siècle [Corbin, 1982]. De fait, l'air relativement confiné des locaux fermés entraîne des concentrations de polluants qui peuvent être élevées. Par exemple, des campagnes de mesure[29] ont mis en évidence, dans l'air intérieur des pièces principales des logements, des concentrations de formaldéhyde en moyenne dix fois supérieures à celle de l'air extérieur. Le renouvellement d'air est donc une nécessité. Or, la ventilation est à l'origine d'une consommation d'énergie qui peut être directe, par les consommations des auxiliaires, ou indirecte en période de chauffage pour compenser les pertes de chaleur par le renouvellement d'air. La performance énergétique entre donc en antagonisme avec la qualité d'air intérieur (QAI).

La ventilation naturelle par ouverture manuelle de fenêtre, ou par tirage thermique, permet de s'affranchir d'une consommation d'énergie pour son fonctionnement, mais il est plus difficile de veiller à la bonne maîtrise des taux de renouvellement d'air, afin d'assurer l'optimum entre QAI et gestion de l'énergie.

Si l'idée d'une « pièce en plus » dans les logements fait son chemin les caractéristiques à lui demander vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur posent question. Les usages possibles peuvent être variés, ils dépendent de chaque ménage, et peuvent évoluer au cours de la vie d'une famille. Peut-on envisager une pièce en plus pour un usage totalement indéterminé ? Les espaces intérieurs d'un logement appartiennent schématiquement à 4 catégories : les pièces principales (ou sèches), les pièces de service (ou humides), les circulations et les rangements. Les pièces sèches et les pièces humides sont traitées différemment, en termes de ventilation, d'éclairage, de réseaux de fluides, de revêtements, d'acoustique… Si l'on envisage un usage de type bureau, bibliothèque, multimédia, chambre d'amis, on est dans le cas d'une pièce sèche. Si l'usage est plutôt le lavage, le séchage et/ou le repassage du linge, on est dans le cas d'une pièce humide, et il faut prévoir une extraction d'air. Donc rien qu'en termes de ventilation, l'usage n'est pas neutre, et si l'usage est indéterminé, comme dans le projet Habitat Pluriel Terre et Temporalités, on peut imaginer d'avoir pour cette pièce un renouvellement d'air adaptable ou individuel (une arrivée d'air neuf et une extraction propres). Les pertes par renouvellement d'air prenant une part relative importante dans les bâtiments très performants énergétiquement, il convient de récupérer au mieux les pertes sur l'air extrait.

La multi-activité ne permet pas de définir en amont l'usage du local et donc ses besoins en terme de volume d'air neuf. La relation est étroite entre usage et hygiène-santé.

Dans le même esprit, le « plan libre », qui laisse à l'occupant la liberté d'aménager son espace intérieur, ne facilite pas le compartimentage des activités qui permet de délimiter et d'étanchéifier les espaces en fonction des niveaux de pollution. Par ailleurs, la possibilité de ventiler par balayage, comme le prescrit la réglementation hygiène, n'est pas toujours compatible avec le fonctionnement imaginé traversant avec récupération d'air en façade sud dans la serre et transmission aux différentes pièces. Elle est remise en cause lorsque les pièces techniques sont ramenées au centre du bâtiment (ex : projet d'Alter Smith).

29/ Voir les données de l'Observatoire de la qualité d'air intérieur, géré par le CSTB : www.air-interieur.org/

Les espaces tampons ou serres qui préchauffent l'air avant de ventiler les appartements servent également de lieu de socialisation et d'activités collectives, c'est le cas des jardins d'hiver du projet Tikopia. Ces espaces ont été imaginés pour créer un espace intermédiaire entre intérieur et extérieur, comme on peut en trouver dans la maison individuelle. Selon l'activité, ils peuvent potentiellement polluer l'air destiné à purifier le logement : forte fréquentation, préparation de repas de type barbecue, plantes vertes rejetant du CO2 pendant la nuit, etc. Dans ces types de situation, ce n'est donc pas un air neuf qui entre dans les logements.

Les solutions de récupération d'énergie sur l'air extrait et de préchauffage de l'air neuf sont intéressantes, afin d'assurer une bonne qualité d'air intérieur, un meilleur confort thermique en évitant les courants d'air froid et avec une faible dépense énergétique. Il y a donc un intérêt énergétique à la ventilation double-flux, ainsi que la possibilité de filtrer l'air neuf potentiellement pollué, mais il faut veiller à la bonne hygiène des réseaux d'amenée d'air et changer les filtres régulièrement (entretien-maintenance).

Il y a là un antagonisme entre le souhait d'accéder à une liberté d'évolution des locaux et de leur usage et un système énergétique intégré dans la conception même du bâtiment qui suppose des besoins énergétiques prédéfinis et donc des usages figés. Le paradoxe de cette situation est fourni par le projet de Tectône, Habitat pluriel terre et temporalités, qui veut que l'enveloppe s'adapte à un usage indéterminé. Ce projet, bien qu'il n'apporte pas de réponse, permet d'illustrer clairement cette difficulté. Comment arbitrer cet antagonisme entre liberté d'évolution des usages des bâtiments et conception adaptée à des besoins définis initialement. Cette question concerne également les aspects de confort.

La qualité d'usage

Il s'agit de réfléchir sur l'utilisation des espaces et des équipements, sachant que certains espaces peuvent avoir été conçus pour servir la haute performance énergétique, comme une véranda par exemple. La qualité d'usage est cruciale, préservant les modes d'habiter, la flexibilité, l'anti-intrusion, la convivialité, l'intimité, la maîtrise des occupants sur leurs conditions de confort ; se pose aussi la question de l'appropriation d'un logement à haute performance énergétique, avec ses espaces tampons, ses volumes capteurs d'énergie, ses espaces partagés, la gestion des protections solaires, ses systèmes énergétiques pas toujours appropriables facilement, etc. ;

Les solutions mises en œuvre pour répondre à l'exigence énergétique, ne s'appuient pas uniquement sur des équipements techniques, elles mettent en scène des espaces et des agencements particuliers des locaux qui impactent fortement sur la qualité d'usage. Dans quelles mesures ces solutions favorisent-elles la qualité d'usage ?

Certains projets proposent des espaces partagés : Ecolocatif en bois (à mi-hauteur du bâtiment), ou Tikopia avec les serres. D'autres projets tels que BBEFM et Impacte ont prévu une mixité d'usages (bureaux, logements, commerces). En termes d'usage au quotidien, la cohabitation pose-t-elle problème ou à l'inverse présente-t-elle des avantages ?

Une autre question qui se pose est relative à la taille et à la délimitation des espaces intérieurs. Faut-il privilégier les petits espaces fermés ou plutôt les grands espaces ouverts ? Par exemple les concepteurs de la résidence étudiante Ecolocatif en bois ont fait le choix de petits espaces individuels tout équipés (studios). Le parti architectural aurait aussi bien pu retenir des espaces plus grands et partagés, mutualisant par la même occasion certains équipements (cuisine par ex.). De façon plus générale, cette question renvoie aux modes de vie, à l'équilibre à trouver entre intimité et convivialité. Les usagers sont bien sûr indispensables à cette réflexion, les retours d'expérience également.

Plusieurs équipes de concepteurs CQHE, en choisissant une structure poteaux-dalles, ont prévu la flexibilité et l'adaptabilité des espaces, que ce soit pour une reconfiguration des logements, voire carrément un changement d'usage. C'est le cas des projets Effibat et Tikopia.

La qualité d'usage, c'est aussi l'ergonomie, la maîtrise individuelle de son logement. Sont notamment concernées la gestion de l'ouverture des fenêtres et la gestion des protections solaires.

Les logements à fort taux de vitrage et vitrage toute hauteur posent certains problèmes pratiques :

— la pose de rideaux aux fenêtres, pour la protection de l'intimité, entre en conflit avec le confort visuel ;

— il est difficile de meubler des pièces où presque toute la façade est vitrée.

Concernant les vérandas, le confort thermique est très variable d'une saison à l'autre, d'un jour à l'autre selon l'ensoleillement, donc les usages sont conditionnés, voire perturbés par ces variations. L'association de ces espaces à des façades vitrées est une piste envisagée pour faire en sorte

que ces variations soient une aide pour accompagner le plus naturellement possible l'occupant dans l'usage économe de son logement.

Le maître d'ouvrage et les concepteurs doivent aussi se préoccuper de l'image que donne le bâtiment vu de l'extérieur, y compris à l'épreuve du temps. Des solutions sont à trouver pour éviter une image peu valorisante, liée notamment aux utilisations peu gratifiantes : vélos garés sur les balcons, linge qui sèche à la vue de tous, revêtements divers pour opacifier les garde-corps des balcons et loggias, protections solaires « bricolées », paraboles en façade, bric-à-brac derrière le bas des parties vitrées toute hauteur, etc., et autres inadéquations visibles entre les choix architecturaux et les façons d'habiter.

Se pose également une question d'équité sociale entre logements / ménages : équité des charges de chauffage ou d'ECS, y compris l'accès équitable aux énergies renouvelables actives ou passives, accès aux vues agréables, accès au soleil, confort d'été, jouissance d'espaces.

Le facteur « temps » et le cycle de vie

Cette partie traite de deux sujets : d'une part le bâtiment confronté à son fonctionnement sur le long terme, et d'autre part la considération de l'énergie au niveau du cycle de vie du bâtiment, c'est-à-dire pas seulement en phase d'exploitation.

1/ La prise en compte de la durabilité et de l´entretien-maintenance

La performance énergétique poussée et ses solutions innovantes, tant pour l'enveloppe que pour les systèmes, interrogent la durabilité de l'ouvrage (sa capacité à durer) et la robustesse des systèmes en fonctionnement. Il est crucial pour la réussite de la vie du bâtiment, la pérennité de ses performances, et la conservation de son attractivité, d'investir dans des solutions durables et de bien anticiper l'entretien et la maintenance. L'enveloppe et les systèmes énergétiques doivent être pensés pour une facilité d'exploitation et d'entretien-maintenance, l'atteinte réelle des performances théoriques calculées « sur le papier », la pérennité des performances dans le temps voire leur amélioration, la fiabilité de fonctionnement.

Il convient d'anticiper la durée de vie de chaque produit ou composant et son remplacement par des produits si possible plus performants, tout en veillant à limiter le caractère intrusif des opérations de maintenance et de rénovation.

Certains projets CQHE, comme Impacte ou Tikopia, sont constitués d'une structure et d'une façade légère ou peau extérieure qui vient se rapporter sur la structure. Cette façade a une durée de vie plus courte que la structure, elle peut être changée sans toucher à la structure, pour laisser la place à une façade multifonctions, un style plus contemporain, un aspect « neuf », correspondant à des attentes renouvelées. Les peaux extérieures en fine résille bois, qui semblent assez fragiles, risquent de s'abimer rapidement, et de renvoyer une mauvaise image de qualité architecturale.

Le projet BBFEM, quant à lui, s'est focalisé sur l'anticipation de futurs équipements : les systèmes évoluent en fonction de leur arrivée ou de leur maturité sur leur marché, permettant un étalement et une optimisation des coûts. Certaines évolutions techniques sont anticipées en pré-câblant le bâtiment.

Le programme du maître d'ouvrage doit exiger la robustesse des solutions techniques et la durabilité des choix architecturaux, un entretien et une maintenance aisés et peu coûteux, mais au-delà de cela, c'est surtout lors du suivi de la phase de conception qu'il conviendra pour le maître d'ouvrage d'être particulièrement vigilant, en travaillant la question aux côtés des concepteurs, en se « projetant » en phase d'exploitation, en n'hésitant pas à aller dans le détail, en intégrant bien les ressources et compétences dont il dispose pour ces tâches d'entretien et maintenance.

Les points délicats qui nous semblent importants à signaler, compte tenu des dispositions constructives actuellement proposées, sont les suivants :

— la durabilité des parties mobiles, manœuvrables par l'occupant ou automatisées, et pour certaines soumises aux agents climatiques (ex : protections solaires, ventelles, panneaux coulissants) ;

— le bon fonctionnement des automatismes, des systèmes solaires actifs et passifs ;

— l'entretien de la façade et de la peau extérieure filtrante ;

— l'entretien des réseaux aérauliques (double-flux, puits canadien) ;

— sur un plan managérial, la complexité des équipements accroît la nécessité d'avoir un suivi rigoureux des contrats d'entretien-maintenance.

Les problèmes d'entretien peuvent entraîner une image peu valorisante du bâtiment, par exemple si les grandes parties vitrées sont difficiles à nettoyer, si les parties végétalisées dépérissent, etc.

La nécessité du suivi des installations pour la détection des défauts et la performance effective soulève la question de la mesure, donc du comptage et de sa précision. Cette mesure serait

à reconsidérer en tenant compte des consommations d'eau chaude sanitaire et de chauffage devenues marginales sous l'impulsion des nouvelles exigences énergétiques. Dès lors que faut-il compter, à l'échelle du logement, du bâtiment, et avec quels objectifs ?

2/ L'énergie « grise » des produits de construction

En complément, l'énergie mobilisée sur le cycle de vie des produits de construction et des systèmes, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à l'élimination des déchets, en passant par la fabrication et le transport, alourdit de façon sensible le bilan énergétique du bâtiment ; c'est donc un enjeu à considérer et une optimisation énergétique globale du projet devrait être recherchée. Le recyclage des produits en fin de vie et l'emploi de matières recyclées se posent également, sachant que l'un des intérêts de la densité urbaine c'est la proximité des lieux de déconstruction et de reconstruction, dès lors la réduction des distances à parcourir peut transformer le poids de l'énergie « grise » d'un matériau.

Cet aspect, apparu récemment dans le monde des professionnels, n'a pas été étudié précisément par les équipes des projets CQHE. Néanmoins, le choix du matériau bois pour certains projets (Optimisation de la façade nord et Ecolocatif en bois) participe à une réflexion sur le choix de matériaux naturels, renouvelables, locaux, impliquant peu d'énergie « grise » embarquée.

Il convient également de souligner le recours à des structures poteaux-dalles ou poteaux-poutres dans les concepts Impacte et Effibat notamment, qui anticipe des durées de vie différentes entre l'enveloppe et la structure. Ce mode constructif permet de reprendre les façades et d'en améliorer la performance tout en conservant la structure. Par ailleurs, les plateaux libres offrent un potentiel de requalification important qui peut être vu comme un recyclage sur site de la structure.

L'énergie grise et le cycle de vie des produits de construction et des équipements sont à prendre en compte. En effet, selon l'étude HQE Performance[30] réalisée par le CSTB, les valeurs médianes d'énergie grise s'élèvent à 50 et 63 kWh d'énergie primaire totale par m² shon et par an respectivement pour les immeubles collectifs d'habitation et pour les bâtiments de bureaux, pour une durée de vie du bâtiment de 50 ans. Pour un bâtiment d'habitation BBC par exemple, cette énergie grise pèse presqu'autant que les usages de la RT ! Un bâtiment très performant énergétiquement de type passif ou Bépos, devrait donc chercher à minimiser l'énergie grise qu'il contient, vu que celle-ci va devenir prépondérante, et même à optimiser l'ensemble. Des outils existent pour calculer cette énergie grise, en particulier l'outil ELODIE[31] du CSTB (couplé à la base de données française INIES), que l'on peut facilement mettre en perspective avec les consommations d'énergie primaire en phase d'exploitation.

Ce type d'approche en cycle de vie met en valeur la question spatio-temporelle. Confrontée à l'approche urbaine, elle prend de l'importance. Il serait intéressant d'approfondir la réflexion sur le recyclage des matériaux et de mettre en relation les flux de déconstruction et de reconstruction à l'échelle urbaine.

Conclusions et perspectives sur la sécurité incendie et la qualité globale

Dans ce chapitre nous avons exploré comment le renforcement de l'exigence énergétique interagit avec les autres disciplines de manière à identifier les points à surveiller pour maintenir la sécurité et ne pas dégrader la performance globale. L'approche expérimentale, portée par les concepts CQHE n'est pas exhaustive, en revanche elle donne une base concrète aux réflexions et questionnements génériques qui ressortent de ce travail.

Dans leur état d'avancement, il ne ressort pas de difficultés nouvelles pour l'application de la réglementation incendie, mais l'analyse nous a alertés sur certains points :

— la mixité fonctionnelle: la nécessité de rester vigilant sur les solutions qui visent à mettre en relation les locaux à usages différents ;

— l'échelle temporelle : il s'agit d'étudier la difficulté éventuelle pour maintenir en bon état de fonctionnement des équipements faisant partie des mesures compensatoires destinées à garantir le niveau de sécurité ;

— l'échelle spatiale : l'approche limitée au bâtiment est à la fois insuffisamment détaillée et à une échelle trop réduite, pour permettre à travers une approche quantitative de discuter du calibrage des seuils en regard des équipements des façades et des distances entre bâtiments et sur une même paroi entre ouvrants. Il y a de fait

30/ Cette étude a porté sur plus de 130 bâtiments résidentiels et tertiaires modélisés à l'aide du logiciel ELODIE (étude réalisée entre 2011 et 2013 pour le compte de l'Association HQE, du METL, du MEDDE et de l'ADEME). Pour en savoir plus : http://assohqe.org/hqe/spip.php?rubrique10

31/ Voir www.elodie-cstb.fr

nécessité de mettre dans leur contexte les situations de manière à voir comment la conjonction des évolutions peut être à l'origine d'une augmentation du risque incendie. L'exemple illustré précédemment est constitué de la proximité des façades et de l'évolution de leur composition. De même, quelles sont les conséquences de l'isolation des parois par l'extérieur sur les températures des fumées et en surface de façade ? Ce changement d'ordre de grandeur des températures augmente-t-il le risque pour la façade considérée et celle en vis-à-vis et dans quelles mesures ?

La démarche concertée apparaît comme un exemple à suivre pour intégrer les différents acteurs et travailler sur ces variations d'échelles spatiale et temporelle. A ce titre, la démarche de l'ingénierie incendie peut être une perspective intéressante dans la mesure où elle exige de se projeter dans le fonctionnement du bâtiment dans son contexte. Cette approche dédiée, orientée sur une exigence de performance et non une obligation de moyen, offre également de la souplesse pour intégrer, dans un cadre réglementaire, des solutions plus originales qui viendraient à être développées. Elle rejoint les perspectives de la performance énergétique qui identifient la description de scénarios pour le fonctionnement du bâtiment comme une piste pour fiabiliser le confort dans le bâtiment. Il convient de distinguer, toutefois, un scénario d'exposition au risque d'un scénario pour un fonctionnement au quotidien dans des conditions normales.

L'impact de l'exigence énergétique a ensuite été étudié sur quatre autres thèmes : l'adaptation au site et au contexte, le confort et la santé, la qualité d'usage et le facteur temps.

Le contexte urbain des projets fait ressortir les limites de la densité. Celle-ci offre une diversité d'usages qui ouvre des opportunités pour les économies d'énergie et le confort dans les logements. Ainsi est-il envisagé de trouver des complémentarités énergétiques, qui permettraient de tirer parti de la proximité d'activités aux besoins énergétiques différents. Cependant, à l'excès, la densité peut avoir des inconvénients avec par exemple un effet d'étouffement pour les occupants qui peuvent être amenés à quitter plus souvent la ville et augmenter leurs déplacements. Il ressort que l'adaptation au site est une approche multi-acteurs à une échelle qui dépasse celle du bâtiment et sur laquelle le maître d'ouvrage ne peut guère agir. L'analyse des conflits entre confort thermique, acoustique ou sécurité, conduit à une conclusion similaire. Pour traiter ces questions il convient d'impliquer la collectivité qui devient un acteur important pour l'économie d'énergie des bâtiments. Dans l'état actuel, bien que modeste, le principe de « faire au mieux là où on est » semble le plus approprié.

La recherche de la qualité d'usage a conduit les concepteurs à repenser l'agencement intérieur de manière à ce que les conforts, notamment thermique et visuel, soient synonymes d'économie d'énergie. La recherche a été orientée de manière à ce que les variations des sollicitations climatiques soient un guide pour accompagner l'occupant dans l'usage économe de son logement et non un élément perturbateur ou limitatif dans la jouissance de l'espace. Le plateau libre associé aux façades vitrées, les pièces en plus ou sans usage déterminé sont des pistes à approfondir malgré certains antagonismes au premier rang desquels figure la qualité de l'air. De fait, le plateau libre ou la pièce à usage indéterminé pose un problème vis-à-vis du renouvellement d'air pour l'hygiène, dont les réseaux sont fixes et dimensionnés pour un besoin qui va distinguer les pièces humides des pièces de vie.

L'exigence de performance associée à une valeur maximale de consommation conduit à faire converger estimation et réalité et donc à suivre les consommations. Or les consommations d'eau chaude sanitaire et de chauffage tendent à devenir marginales avec les nouvelles exigences énergétiques. Dès lors que faut-il compter, à l'échelle du logement, du bâtiment, et avec quels objectifs ? Compter la consommation des autres usages et la rendre accessible en dehors du foyer présente un risque d'ingérence et de stigmatisation des comportements. La situation devient paradoxale entre l'intérêt d'une mutualisation, porteuse de solutions économes dans le logement collectif, et d'un suivi individuel de la performance.

Enfin, la réduction des consommations d'énergie pour le fonctionnement du bâtiment augmente la part relative de l'énergie grise dans le bilan global. Elle conduit à réfléchir sur l'origine des matériaux et leur recyclage. La possibilité de requalifier un bâtiment en conservant la structure porteuse, comme le permettent les assemblages poteaux-poutres ou poteaux-dalles, offre une solution alternative de récupération des matériaux sur site. Cet allongement de l'échelle temporelle devrait se faire avec une augmentation de l'échelle spatiale.

CONCLUSIONS

ET PERSPECTIVES

Projet « Optimisation de la façade Nord », Alter Smith, Architectes

L'objectif a été d'étudier les conséquences du relèvement du curseur de performance énergétique sur la conception du bâtiment, les contraintes fondamentales et les niveaux d'exigence des autres thèmes. A travers sept concepts de bâtiments, le travail exploratoire a porté sur des logements collectifs qui présentent un enjeu particulier car d'une part, ils ont généralement des besoins énergétiques, rapportés à leur surface, élevés, du fait d'un grand nombre d'occupants, d'autre part, ils offrent une alternative à la maison individuelle qui a l'inconvénient de favoriser l'étalement urbain.

Les usages un nouvel enjeu

L'exigence énergétique Bepos a eu pour première conséquence de transformer les ordres de grandeur et la répartition des postes de consommation d'énergie traditionnels dans les bâtiments. Les consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire, estimées sur les concepts CQHE, sont devenues marginales et représentent environ le quart de la consommation énergétique globale du bâtiment exprimée en kWhep/m^2. L'enjeu à venir de la performance énergétique porte donc sur la consommation des autres usages, que ce soit pour assurer le confort visuel, la santé, l'activité ou les loisirs des occupants. L'occupant est donc au cœur de la question énergétique. Pour autant doit-il assumer seul la responsabilité des économies d'énergie par une adaptation de son comportement ? Il apparaît souhaitable de généraliser le principe, adopté par la plupart des équipes de conception des projets CQHE, qui consiste à considérer la sobriété énergétique comme conséquence d'une utilisation simple, et idéalement pilotée comme réponse intuitive aux variations climatiques du logement et non comme une contrainte comportementale.

L'amélioration de l'enveloppe : une opportunité pour la conception

La confrontation de l'exigence Bepos, qui a entraîné une redistribution des postes de consommation, à la fois en matière de composition urbaine et d'amélioration des performances isolantes des composants d'enveloppe, remet en cause certains principes constructifs reconnus porteurs de la sobriété énergétique comme la compacité et l'orientation sud des vitrages. La demande de froid ou de confort d'été et l'accès à l'éclairement naturel pour limiter la consommation d'éclairage artificiel deviennent prioritaires sur le chauffage. En conséquence, les agencements, qui facilitent l'évacuation de la chaleur à l'instar des logements traversants, sont plébiscités. Les vitrages orientés au nord, qui permettent d'avoir une lumière stable et homogène, en particulier pour les activités tertiaires, peuvent être à rechercher. Il ressort un allègement des contraintes et donc une liberté supplémentaire accordée à la conception par les évolutions techniques de l'enveloppe. Elle offre des opportunités pour arbitrer sur d'autres critères en particulier pour le vitrage, en mettant l'accent sur ses fonctions premières de laisser voir l'extérieur et d'éclairer l'intérieur.

De la production à la récupération

Autre perspective, on peut imaginer que les besoins de chaleur pourront être couverts par la mutualisation des énergies, consommées puis dissipées, favorisée par la proximité d'activités variées. L'introduction d'un indicateur de performance sur la qualité de l'énergie consommée, pour assurer les besoins, en fonction du potentiel local, serait de nature à valoriser les solutions orientées sur la récupération.

Les échelles spatiales mobilisées….

Pour répondre à l'exigence Bepos, la recherche a porté sur les moyens de s'affranchir de systèmes énergétiques avec pour conséquence d'augmenter les interactions avec l'environnement. La diversité des activités, les nuisances sonores dues notamment aux transports, la présence de végétaux, la proximité entre les bâtiments, la sécurité des lieux, sont autant d'aspects qui ont un impact sur le bien-être dans le logement, sa sécurité et sa sobriété énergétique. Ils dépassent largement le périmètre d'intervention du maître d'ouvrage du projet de construction et nécessitent une implication forte de la collectivité locale.

A l'inverse, la demande de confort, qu'il soit homogène ou différencié selon l'activité des espaces, les besoins en air neuf pour l'hygiène, la composition des parois et des équipements pour assurer la récupération de chaleur ou assurer la sécurité incendie, nécessitent de travailler à l'échelle spatiale du local voire à l'échelle inférieure. Le souci du détail pour assurer l'étanchéité à l'air du bâtiment ou pour l'approche détaillée afin d'appliquer la réglementation incendie, illustre cette nécessité de travailler à l'échelle du composant. Le changement d'ordre de grandeur conduit à mettre l'accent sur des paramètres dont l'impact hier était marginal et qui devient aujourd'hui prioritaire.

… s'accompagnent d'un changement d'échelle temporelle

La perspective de réduire au minimum la consommation d'énergie et de récupérer au mieux l'énergie dissipée nécessite de travailler sur les cycles énergétiques pour mettre en phase besoins et ressources. A l'échelle du bâtiment l'équilibre est difficilement atteint. Augmenter le nombre de bâtiments et d'occupants permet de renforcer la continuité de l'activité et de maintenir le cycle. Il y a donc une interaction entre les échelles spatiales et temporelles. L'adéquation entre besoins et ressources énergétiques renouvelables nécessite de travailler sur des temps courts qui ne pourront être allongés qu'en optimisant les solutions de stockage. En parallèle, la réduction de l'énergie utilisée en fonctionnement accentue le poids de l'énergie « grise » qui nécessite de se projeter dans les phases de construction, requalification et déconstruction des bâtiments.

Travailler aux frontières

Répondre aux propriétés fondamentales du bâtiment, s'assurer de l'équilibre entre les différents critères pour atteindre la qualité globale, sont des exigences, à l'instar du développement durable, qui mettent l'accent sur l'approche interdisciplinaire et la nécessité de travailler sur les interactions notamment pour identifier les complémentarités et les antagonismes. Il s'agit alors de savoir jusqu'à quel niveau de détail il faut aller pour chaque discipline pour que, d'une part, elle rende compte des phénomènes, d'autre part, elle s'articule avec les autres afin de conserver un niveau de précision cohérent. Le passage de l'énergie au confort ou du bâtiment au transport fait ressortir des échelles temporelles et spatiales différentes qu'il convient d'ajuster.

L'expression de la performance : une passerelle entre les frontières

La performance est l'expression de la qualité d'une réponse à un besoin par rapport aux ressources disponibles et mobilisées. Appliquée à notre domaine d'étude, les besoins sont définis par les usages du bâtiment et les ressources sont caractérisées par le lieu de la construction qu'elles soient climatiques ou façonnées par l'activité humaine (équipements, réseaux, etc.) Dès lors, la performance apparaît comme une passerelle entre les échelles, du bâtiment au site en passant par l'urbain. Elle est donc un support possible pour développer un travail « transfrontalier ». Une approche quantitative soulève toutefois des interrogations qui seraient à éclairer :

— intimement liée au contexte, la performance est relative et son expression quantitative ne peut rendre compte de la réalité d'une situation. Quelle signification donner alors à la garantie de performance ?

— par ailleurs il conviendrait de définir un périmètre d'application. Faut-il la déterminer à l'échelle du logement, du bâtiment, du quartier ?

Quantifier et rendre visible en dehors du foyer présente un risque d'ingérence et de stigmatisation. Une évaluation individuelle de la performance nous éloigne de la pensée globale, inhérente au développement durable, et peut sembler paradoxale lorsque la densité et la mutualisation sont identifiées comme porteuses de solutions économes.

Limiter au bâtiment ou au logement le périmètre d'évaluation de la performance est donc réducteur en regard des différentes disciplines et des variations spatiales et temporelles. A cet égard, il serait intéressant de voir comment les autres disciplines s'articulent et s'inscrivent dans le principe de l'urbanisme qui selon Le Corbusier « doit assurer la liberté individuelle en même temps

qu'il doit bénéficier et se saisir des bienfaits de l'action collective. »

L'expérimentation : « faire au mieux là où on est »

Il ressort qu'atteindre la performance énergétique et anticiper ses conséquences dépassent l'approche technique et impliquent des acteurs au-delà du maître d'ouvrage et de l'équipe de conception des projets de construction. Pour autant, dans un contexte donné, dans la perspective de « faire au mieux là où on est », il est possible d'expérimenter tout en limitant les risques liés à l'innovation en s'appuyant, par exemple, sur les enseignements tirés des travaux prospectifs. Ainsi, dans le cadre de CQHE, malgré la liberté offerte par le contexte conceptuel de l'exercice, l'innovation repose-t-elle principalement sur l'agencement et l'articulation originale de techniques éprouvées. Cela nécessite, néanmoins, de travailler dès la phase programmation sur l'évaluation du site et de son potentiel et de se projeter dans le fonctionnement futur du bâtiment pour bien en cerner l'usage.

Références

Bibliographiques

[atelier BEPOS, 2011] Bâtiments à énergie positive, compte rendu de l'atelier du 21 janvier 2011 à l'ENSA Paris Belleville, Jean-Marie Alessandrini, Sylviane Nibel, Centre scientifique et technique du bâtiment, PUCA, octobre 2011.

[CQHE-PUCA, 2007] La méthode CQHE, Concept, Qualité, Habitat énergie, appel à idées mai 2007, PUCA.

[CQHE, bilan de l'appel à idées] La méthode CQHE, Concept, Qualité, Habitat énergie, Bilan de l'appel à idées, PUCA

[Ademe, 2009] chiffres clés du bâtiment, Ademe, 2009

[Trocmé, 2009] TROCME M., Aide aux choix de conception de bâtiments économes en énergie, thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 148 p, 2009.

[Effibat, 2009] Effibat, vers un bâtiment efficient, Rapport de synthèse, 23/02/2009, Cabinet Claude Franck, Centre Energétique et Procédé (Mines ParisTech), GTM bâtiment, Vinci construction Direction de l'habitat dovial, Direction recherche et développement.

[Ecolocatif] Ecolocatif en bois, autonomie solidaire, Archic, Lignatec-KLH, Costic, Steuerwald, Ecobanques, CNDB, Synthèse et maquette GAMM Architecture

[Ecolocatif, costic] Ecolocatif en bois, Rapport de l'étude thermique, Christian Schwarzberg, Avril 2009, Costic

[Alter Smith, 2009] Optimisation de la façade nord, recherche urbaine et technique appliquée à l'immeuble de logements collectifs : reconsidération des paramètres de confort dans le logement durable, Alter Smith architectes, Batiserf ingénierie, Cardonnel ingénierie, Saint-Gobain vitrages, Nantaise d'habitations

[Impacte, 2009] Innovation Maîtrisée Pour l'Architecture Climatique, la Thermique et l'Environnement, Architecte: François PÉLEGRIN ; Architecte dplg, urbaniste dup Architecte, psychologue du travail : Elisabeth PELEGRIN GENEL ; Architecte dplg ; Thermicien: André POUGET POUGET consultants ; Bureau d'études/économiste: Philippe BOURGUIGNON, bet CETBA Ingénieurie ; Générateur d'innovation: Gérard FLEURY, Antoine THUIILLIER TBC, 2009.

[Tikopia, 2009] Concept habitat Tikopia, Rapport final des études de recherche et développement, AS. Architecture-studio, QUILLE, Alto Ingénierie S.A, ECO CITES, 2009

[BBEFM, 2009] Bâtiment Bioclimatique Evolutif à Fonction Mixte, aaPGR architectes, N. CHAUVINEAU : Ingénieur des énergies renouvelables, WATTS : Economiste, 2009

[habitat pluriel, 2009] habitat pluriel, terre et temporalités rapport de recherche, Tectône, RFR éléments, Terreal, 2009

[CEPHEUS results, 2006] CEPHEUS results: Measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building, Schnieders, Jürgen1; Hermelink, Andreas2 Source: Energy Policy, v 34,n 2 SPEC. ISS., p 151-171, January 2006; ISSN: 03014215; DOI: 10.1016/j.enpol.2004.08.049; Publisher: Elsevier Ltd, 1 Passive House Institute, Rheinstr. 44/46, D-64283 Darmstadt, Germany, 2 University of Kassel, Center for Environmental Systems Research, Kurt-Wolters-Str. 3, D-34109 Kassel, Germany

[ICU, 2008] Correction des données météorologiques en fonction d'un îlot urbain (impact climatique des îlots urbains), BEC _ 2009 _ DHUP _ Rapport _ Lot-3.2, Version : 1.2, Date : 08/09/2009, Cécile Gautier, Météo France

[Thiers, 2008] Stéphane THIERS, Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive, Thèse de doctorat de l'école nationale supérieure des mines de Paris, 2008.

[exergie, TI BE 8015] Analyse exergétique, Riad BENELMIR, André LALLEMAND, Michel FEIDT, techniques de l'ingénieur BE 8015

[RT, 2000] Guide réglementaire, règles Th-C et Th-E, 2001, CSTB

[RT, 2005] Guide réglementaire, Règles ThCE, 2006, CSTB

[RT, 2012] Guide réglementaire, règles Th-BCE, mars 2012, CSTB.

[Étanchéité à l'air] Étanchéité à l'air : dispositions constructives, Mémento de conception et de mise en oeuvre à l'attention des concepteurs, artisans et entreprises du bâtiment, novembre 2010, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement,

5 cahiers disponibles en ligne :

http://www.rt-batiment.fr/fileadmin/documents/RT2005/etancheite/carnetsdetails/MAJ _ 20110104/00 _ Memento _ Etancheite _ Organiser _ la _ qualite.pdf

http://www.rt-batiment.fr/fileadmin/documents/RT2005/etancheite/carnetsdetails/MAJ _ 20110104/01 _ Memento _ Etancheite _ COB.pdf

http://www.rt-batiment.fr/fileadmin/documents/RT2005/etancheite/carnetsdetails/MAJ _ 20110104/03 _ Memento _ Etancheite _ ITE.pdf

http://www.rt-batiment.fr/fileadmin/documents/RT2005/etancheite/carnetsdetails/MAJ _ 20110104/02 _ Memento _ Etancheite _ ITI.pdf

http://www.rt-batiment.fr/fileadmin/documents/RT2005/etancheite/carnetsdetails/MAJ _ 20110104/04 _ Memento _ Etancheite _ ITR.pdf

[Muller.A., 2010] Muller Anne, Développement d'une méthode de modélisation pour l'évaluation de la performance de stratégies de sécurité incendie, Thèse de Doctorat.- Université de Haute Alsace, 2010

Réglementaires sécurité incendie

Décret n°55-1394 du 22 octobre 1955 UHA. REGLES GENERALES DE CONSTRUCTION DES BATIMENTS D'HABITATION (APPLICATION DE L'ARTICLE 92 DU CODE DE L'URBANISME), JORF du 25 octobre 1955.

Cahiers du CSTB, livraison n° 35, décembre 1958, cahier 283

Arrêté du 23 mai 1960 PROTECTION DES BATIMENTS D'HABITATION CONTRE L'INCENDIE, SECURITE ET SAUVEGARDE DES PERSONNES EN CAS D'INCENDIE, JORF du 29 mai 1960

Décret n° 69-596 du 14 juin 1969 fixant les règles générales de construction des bâtiments d'habitation, JORF du 15 juin 1969

Arrêté du 10 septembre 1970, relatif à la classification des façades vitrées par rapport au danger d'incendie, Ministère de l'intérieur, Journal Officiel du 29 septembre 1970.

Arrêté du 18 octobre 1977 portant règlement de sécurité pour la construction des immeubles de grande hauteur et leur protection contre les risques d'incendie et de panique, J.O. du 25 octobre 1977

Arrêté du 31 janvier 1986, modifié relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation, Ministère de l'urbanisme, du logement et des transports, Journal Officiel du 5 mars 1986

Instruction technique n° 249 du 24 mai 2010, relative aux façades, Ministère de l'intérieur, de l'outre mer et des collectivités territoriales, Journal Officiel n° 154 du 6 juillet 2010

Décret n° 2011-36 du 10 janvier 2011 relatif à l'installation de détecteurs de fumée dans tous les lieux d'habitation, JORF n°0008 du 11 janvier 2011

LOI n° 2010-238 du 9 mars 2010 visant à rendre obligatoire l'installation de détecteurs de fumée dans tous les lieux d'habitation, JORF n°0058 du 10 mars 2010

Qualité globale

[UE, 2010] DIRECTIVE 2010/31/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 19 mai 2010, sur la performance énergétique des bâtiments.

SUBREMON Hélène, « Anthropologie des usages de l'énergie dans l'habitat – un état des lieux », PUCA Recherche n°200, 2011, 70p.

[7730, 2006] Norme NF EN ISO 7730, Ergonomie des ambiances thermiques, Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local, Afnor, Mars 2006.

[NF EN 15251, 2007] Norme NF EN 15251 « Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments, couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique », Afnor, août 2007

[code du travail] code du travail, quatrième partie, livre 2, titre 2, chapitre 3, section 1, articles R-4223-1 à 12.

[arrêté, 2000] arrêté du 29 novembre 2000, équipement, transports et logement, relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments, J.O. du 30 novembre 2000.

[RAGE, 2012] Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012, Retours d'expériences dans les bâtiments à basse consommation et risques de non-qualité, résultats 2011, juin 2012, 65 p,

http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr/regles-de-lart/detail/rapport-2011-de-letude-rex-bbc-risques.html

[Corbin, 1982] Le miasme et la jonquille, CORBIN Alain, Champs Flammarion, date de publication 1986 (1ère éd. 1982 Aubier Montaigne), troisième partie, chapitre 2 « l'haleine de la maison ».