

## CQHE éléments de synthèse : Développement Durable

### Enjeux de l'expérimentation

Il n'est pas indifférent de rappeler que le Développement Durable porte sur le social, l'économique et l'environnement.

L'appel d'offres portait sur ces trois thèmes à travers le renouvellement typologique des formes d'habitat, les modes de production du logement et ses incidences sur la ville tout en visant les économies d'énergie.

Ainsi, les projets illustrent par des solutions variées les conditions des économies d'énergie tout en développant les thèmes de mixité sociale et fonctionnelle, de diversification des usages, de potentialité d'insertion urbaine et de densité, de renouvellement des images architecturales à travers des modes de production variés et flexibles dont l'industrialisation des façades ou de Plugs, éléments additionnels que l'on retrouve dans les propositions du programme REHA.

Cette synthèse a vocation à soulever des questions, à évoquer des solutions ou des pistes de nouvelles recherches. Leur diversité tant typologique que formelle est garante d'une évolution dans la flexibilité en tenant compte de la complexité des questions posées.

Synthèse à deux voix, elle est partie du suivi des recherches par un ingénieur, Jean-Marie Alessandrini du CSTB et un architecte, Marie Christine Gangneux conseil du PUCA.

Une vision commune a permis de vérifier la concordance des points de vue, architectural et technique. La vérification de la cohérence des projets de ces deux points de vue, est l'objectif visé.

Ainsi, la notion de confort fait écho à la définition des besoins et des usages, l'intégration des solutions d'enveloppes impacte sur les options d'équipements visant des solutions passives et les choix constructifs redistribuent les contraintes apportant de nouvelles formes ou images architecturales plus compactes et plus complexes.

La question de l'occupant est au centre de l'évaluation en ce qu'il doit pouvoir maîtriser son environnement à travers des systèmes à ergonomies simples tout en acceptant une gestion par des automatismes.

### EQUIPES CQHE

OPTIMISATION DE LA FAÇADE NORD : Altersmith architecte, Cardonnel Ingénierie, Batiserf, St Gobin Glass, TECHNAL.

'Le building concept est une problématique d'interaction entre la manière d'habiter contemporaine et un enjeu d'efficience énergétique'.

MINITOUR : Architecture Studio, QUILLE, Alto Ing., ECO CITÉS.

'La Minitour à très haute qualité environnementale et très basse consommation a vocation à réconcilier le citoyen et l'habitat collectif (TIKOPIA)'.

EFFIBAT : Claude Franck architecte, Centre Energétique et Procédé (CENERG), GTM, VINCI.

'EFFIBAT est un concept à performances BBC et à très bonne optimisation économique. Le concept est destiné aux centres ville et aux faubourgs'.

IMPACTE : Architecture Pelegrin, E. Pelegrin-Genel, Pouget Consultants, CETBA, TBC.

'Le concept s'appuie sur des strates qui permettent de capter des énergies renouvelables et de transferer des calories suivant l'usage et la fonction'.

BATIMENT CONCEPT : tectône architectes, RFR éléments, TERREAL.

'Un habitat pluriel associant densité et mixité, à partir d'éléments modulaires dérivés de la terre cuite ou crue pour le transfert de calories et du rayonnement'.

BBEFM : aaPGR architectes, N. Chauvineau Ing., WATTS.

'Le concept est un bâtiment évolutif dont l'amélioration continue est programmée'.

ECOLOCATIF EN BOIS : ARCHIC architectes, LIGNATEC-KLH, CNDB, STEUERWALD, Ecobanques.

'Immeuble à loyer décent, économique en énergie et construit en bois'.



**Une performance multicritère  
à relativiser en fonction du contexte**

La comparaison entre projets est délicate dans la mesure où chaque équipe s'est construit son propre contexte et ses propres scénarios d'usage. Si la performance est jugée en fonction d'un contexte et

de ressources, elle ne peut dépendre du seul maître d'ouvrage. L'analyse est multicritères : consommation d'énergie, confort, coût global, énergie grise, ACV, production d'énergie. Quelques valeurs sont présentées

ici pour donner un ordre de grandeur. Elles dépendent des hypothèses prises. Dans la perspective d'une réalisation elles peuvent servir de référent à un échange entre maître d'ouvrage et équipe de conception.



| Projet   | Expression de la performance  | Postes de consommation et production locale  |
|--|---|--|
| Bâtiment en R+7 de 12,5 m d'épaisseur de 3 à 5 niveaux de logements de type T3 ou T4 traversants de 70 à 90 m <sup>2</sup> hab.<br>SHON=1,6 SHAB façade nord vitrée.<br>Réalisé pour le nord ouest | Consommation-production PV locale = 19kWhep/m <sup>2</sup> SHON/an<br>Coût : 1713 euros HT/m <sup>2</sup> SHAB<br>Appréciation du confort d'été sur la température d'air avec un seuil à 29°C.                | Chauffage, ECS, auxiliaire, ventilation, éclairage<br>Production locale de 12 kWh/m <sup>2</sup> /an par panneaux photovoltaïques  |
| Mini tour de 77 logements de 70 m <sup>2</sup> de moyenne<br>Fonctionne bien pour les zones H1 et H2   | Consommation-production PV locale = 19 kWhep/m <sup>2</sup> /an<br>2400 euros HT/m <sup>2</sup> SHAB<br>Seuil de 28°C pour la TiC   | Chauffage, ECS, ventilateurs, pompes, éclairage<br>Production PV=12,9  |
| Bâtiment compact en R+6 avec des bureaux au nord et 16 logements en duplex au sud<br>Zone climatique H1a   | Consommation-production PV locale = 20 kWhep/m <sup>2</sup> SHON/an<br>2007 coûts de construction définis dans l'Arrêté du 20 décembre +de 22%<br>24°C pour la TiC (la RT2005) en logement, 30°C en tertiaire | Chauffage, ECS, ventilation, auxiliaire, éclairage pour les commerces (600 m <sup>2</sup> ), les bureaux (2000 m <sup>2</sup> ), les logements (1400 m <sup>2</sup> )<br>Production PV équivalente à 20 kWhep/m <sup>2</sup> SHON/an |
| Bâtiment en R+7 de 12,5 m d'épaisseur de 3 à 5 niveaux de logements de type T3 ou T4 traversants de 70 à 90 m <sup>2</sup> habitables<br>Région parisienne   | Consommation de 0 à 7 kWhep/m <sup>2</sup> SHON/an<br>1584 euros HT/m <sup>2</sup> SHON hors parking  | Chauffage, ECS, éclairage, auxiliaires<br>Production PV de 60 kWh/m <sup>2</sup> SHON/an   |

# Architecture

## Renouveler les images architecturales

**Formes architecturales et potentiel du Développement Durable.** La diversité de projets part d'une nouvelle synthèse des contraintes qui portent sur les économies d'énergie, la densité, la compacité, l'orientation, la complexité fonctionnelle, sans remettre en cause la notion de confort. Le rapport structure/enveloppe s'en trouve modifié. Les systèmes passifs tendent vers une indépendance de l'une, garante de l'inertie du bâtiment, vis-à-vis de l'autre assurant son isolation. Ainsi les typologies et les formes architecturales sont modifiées sans que la morphologie urbaine n'en soit affectée: continuité urbaine, multiplicité des activités et proximité des transports en commun.

**Renouveler la conception de l'habitat en optimisant la solution technique.** Les dispositifs architecturaux et techniques d'économie d'énergie, actifs ou passifs, sont au cœur des préoccupations des concepteurs qui travaillent en équipes pluridisciplinaires : Jardin d'hiver, véranda solaire, cellier technique, 'pièce en plus', patio, plan libre, addition de modules, double orientation, superposition des fonctions et équipements renouvelant les dispositions et les fonctions des pièces de l'habitat qui semblent devoir s'adapter aux besoins suivant les saisons et la volonté des occupants.

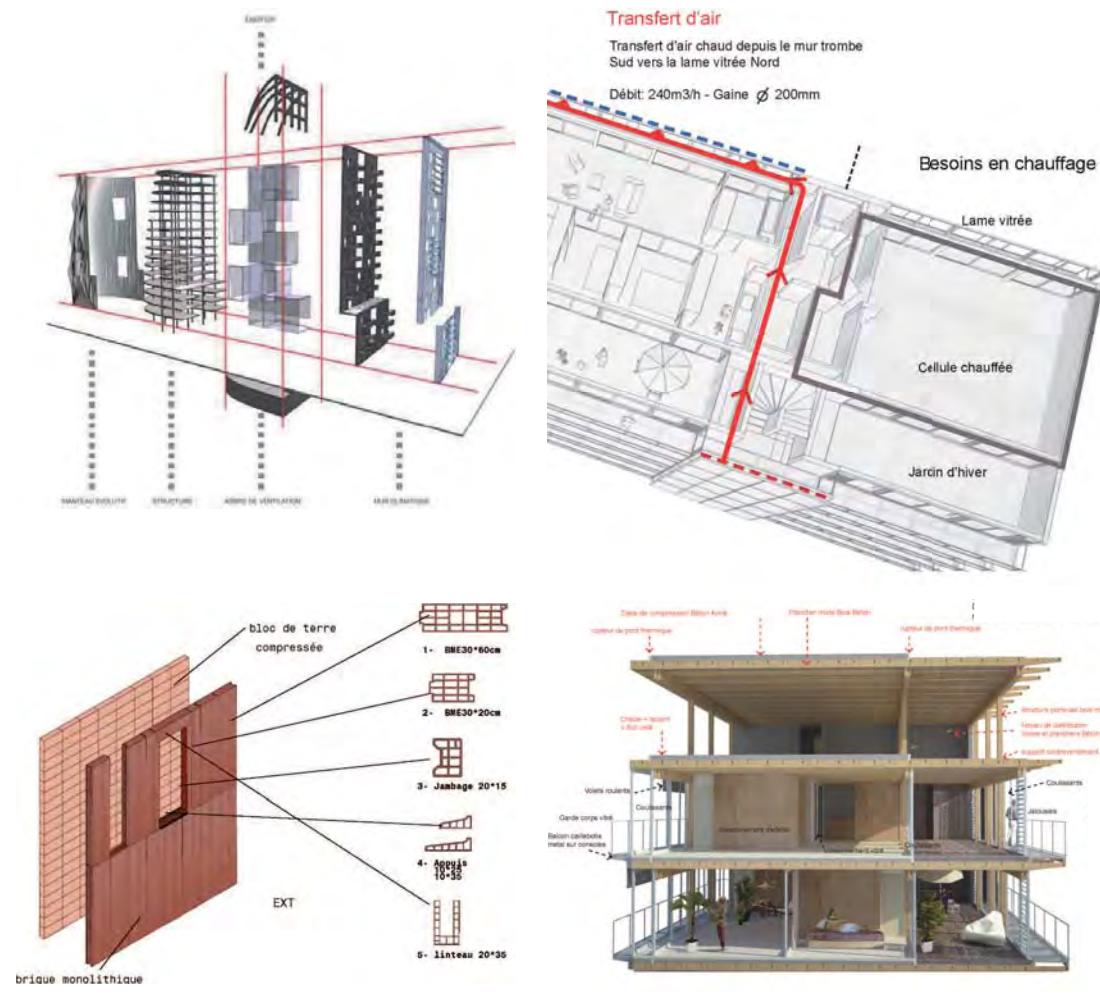
**Actualiser les modes de construction.** Prendre en compte le cycle de vie des matériaux et des techniques d'un bâtiment pour en réduire l'impact CO2 réinterroge la production industrielle du secteur bâtiment, les procédures de chantier, la qualité de la mise en œuvre et la pérennité des ouvrages en évaluant l'exploitation. La diversité des projets réévalue les matériaux vis-à-vis de leurs performances : béton pour l'inertie thermique, composants bois pour l'isolation, les briques crues ou cuites, les structures métal pour les additions. Les rénovations futures sont intégrées dès la conception. L'évaluation des recherches passe par la flexibilité des solutions et la complexité des paramètres intégrés.

## Réduire les émissions de gaz à effet de serre

**Une démarche commune : la sobriété énergétique.** Dans la perspective de réduire les émissions de gaz à effet de serre, les équipes ont imaginé des solutions très différentes. En revanche, elles ont toutes adopté le principe de la sobriété énergétique. L'association de professionnels d'horizons diverses, a été un élément essentiel pour une approche pluridisciplinaire équilibrée de la conception pour viser un haut niveau de confort pour un coût global maîtrisé.

**Des solutions intégrées au bâti.** Chaque composant du bâtiment contribue à la performance énergétique. Les solutions pensées à l'échelle du bâtiment, ont permis de conserver une grande diversité face à la nécessité d'avoir un bâtiment fortement isolé et très étanche à l'air. Ainsi, une équipe a exploré une solution de façade nord vitrée dont les pertes de chaleur sont partiellement compensées par la récupération de calories dans un mur trombe au sud. La hauteur de la Minitour permet un système de renouvellement d'air adaptable aux besoins : pour l'hygiène, la récupération de chaleur passe par les serres en hiver, pour le rafraîchissement en été, les serres ont de larges ouvertures motorisées. Ces deux exemples illustrent comment l'agencement, la structure, l'enveloppe et la forme jouent un rôle dans la performance énergétique.

**Des choix constructifs différents.** Les matériaux sélectionnés en fonction de leurs caractéristiques physiques répondent à des exigences précises. La brique, le bois, le béton ou le métal sont associés pour répondre aux exigences du bâtiment : la brique crue a été travaillée pour maintenir un taux d'humidité dans les espaces en fonction de l'usage et du confort requis ; les pertes de chaleur d'une façade, compensés par les apports d'une autre, permettent de vitrer la façade nord ; la brique monolithique, les loggias en saillie ou le mur capteur dont les ouvertures et les protections solaires s'adaptent suivant les saisons, contribuent à la cohérence de chaque projet pour répondre à l'exigence de la sobriété énergétique et du confort.



# Architecture

Diversifier les images architecturales

Réévaluer les contraintes

## Diversité des formes architecturales :

### Tour, immeuble villa, maisons en nappe

Les contraintes de densité et de compacité propres aux systèmes passifs ne remettent pas en question la diversité des typologies architecturales qui s'associent dans une ville dense où des services variés et des modes de circulations douces sont possibles : proximité et continuité en sont les clefs. Les tours, villages verticaux, des immeubles compacts intégrant des 'jardins' et des duplex et des maisons mitoyennes en nappes continues, apportent des qualités de vie semblables à celle de la maison individuelle dans des ambiances et qualités urbaines différentes. Les opérations intègrent des activités autres que le logement par superposition de commerces ou de bureaux dans les étages inférieurs et le rez-de-chaussée. Les transferts de calories sont alors possibles suivant l'occupation dans la journée.

## Synthèse des contraintes pour renouveler les critères de qualité.

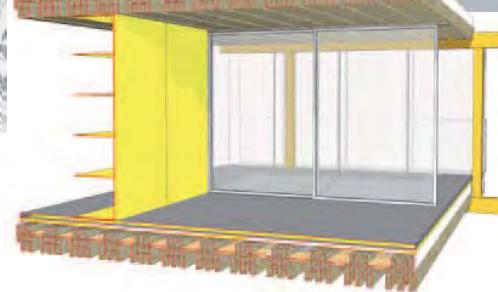
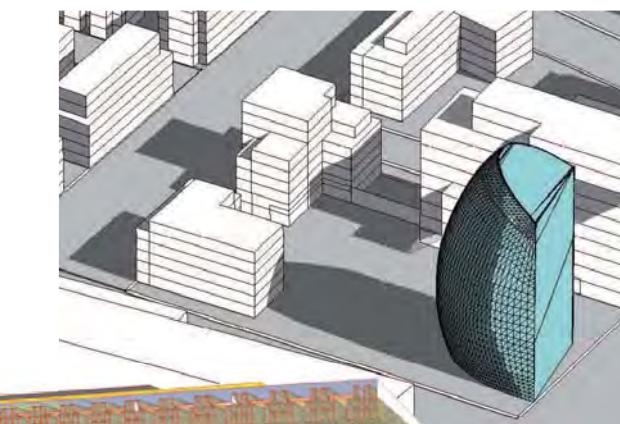
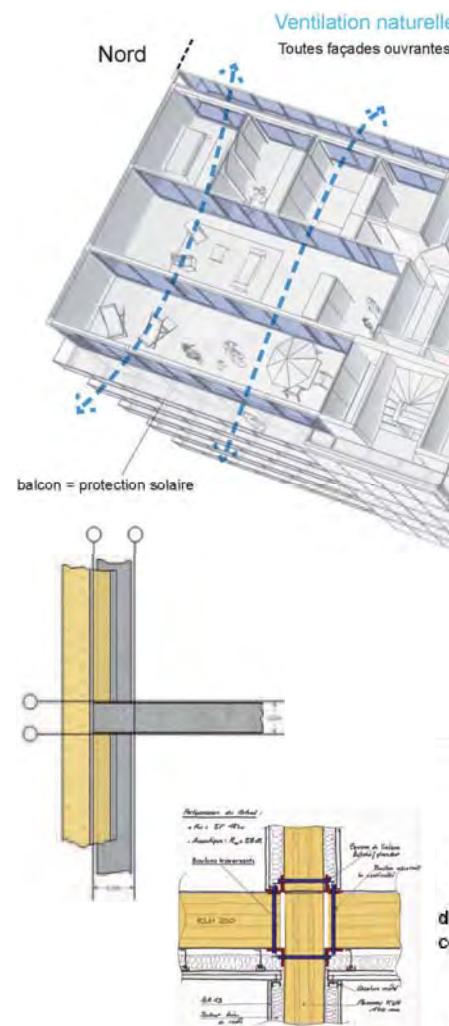
Un cycle de vie vertueux est un processus complexe qui associe pérennité, réversibilité et évolutions dans le temps, de la production des matériaux à la démolition/recyclage du bâti en passant par la construction et la maintenance. Le concept évaluant la brique crue ou cuite a finement étudié l'une et de l'autre dans les éléments de la construction à partir d'une optimisation du confort intérieur et de la pérennité tout en explorant le potentiel formel et la couleur. La cohérence de la synthèse des contraintes amène à interroger simultanément les choix structurels, l'enveloppe, l'isolation, l'étanchéité à l'air, à l'eau, le confort thermique, acoustique ou visuel, la sécurité incendie, l'hygiène et la qualité de l'air et le potentiel de l'énergie grise. Les points singuliers, en particulier les liaisons entre parois, impactent les détails de construction. La question de l'étanchéité en industrialisant des composants, s'exprime par une exigence de qualité de la mise en œuvre et du contrôle. L'enveloppe devient l'enjeu majeur des choix architecturaux et techniques, renouvelant les images et les process.

## Densité et isolation une redistribution des contraintes.

La conjonction d'un niveau d'isolation élevé et de la densité urbaine met l'accent, sur les interactions climatiques avec les bâtiments du voisinage et sur le confort d'été. Dans la logique de sobriété énergétique, les enveloppes sont conçues de manière à limiter les pertes de chaleur. Une très forte isolation et une bonne étanchéité à l'air sont les caractéristiques qui ressortent de chaque concept. Les consommations de chauffage sont fortement réduites. La récupération des apports solaires contribue à réduire des besoins de chaleur résiduels. Dans des zones urbaines denses, le bâtiment à haute performance énergétique doit veiller à limiter l'ombre portée sur les autres bâtiments qui ne sont pas au même niveau de performance, au risque de générer un bilan négatif pour une échelle spatiale plus grande. Une forme arrondie de tour a été imaginée dans le souci de limiter cet impact. La question du confort d'été redessine l'agencement des espaces. Les espaces ouverts dans les logements traversant d'une façade à l'autre, ont été travaillés de manière à faciliter l'évacuation de la chaleur pour garantir le confort thermique d'été. Le duplex avec une double hauteur de tirage thermique augmente les débits d'air.

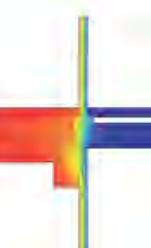
## Association des matériaux pour répondre aux contraintes.

Les solutions envisagées associent des matériaux en fonction de leurs caractéristiques et mettent en œuvre des techniques constructives diverses. L'association du bois pour la structure, qui présente un bon bilan carbone et une faible conductivité thermique, et du béton pour le plancher, qui possède une forte capacité de stockage de chaleur, est proposée de manière à réduire les ponts thermiques et augmenter l'inertie du bâtiment. En vue de réduire les pertes de chaleur et les pathologies sur les points sensibles de l'enveloppe, que sont les jonctions entre les parois, les concepts envisagent le recours aux rupteurs de ponts thermiques, à la structure bois, à l'isolation par l'extérieur ou répartie, la façade désolidarisée des planchers en mode de construction poteaux-poutres.



Plancher intermédiaire entre logements

$$\Psi = 0,182 \text{ W/m.K}$$



# Usages

Conception adaptée à l'évolution des usages

Conception facteur d'économie d'énergie

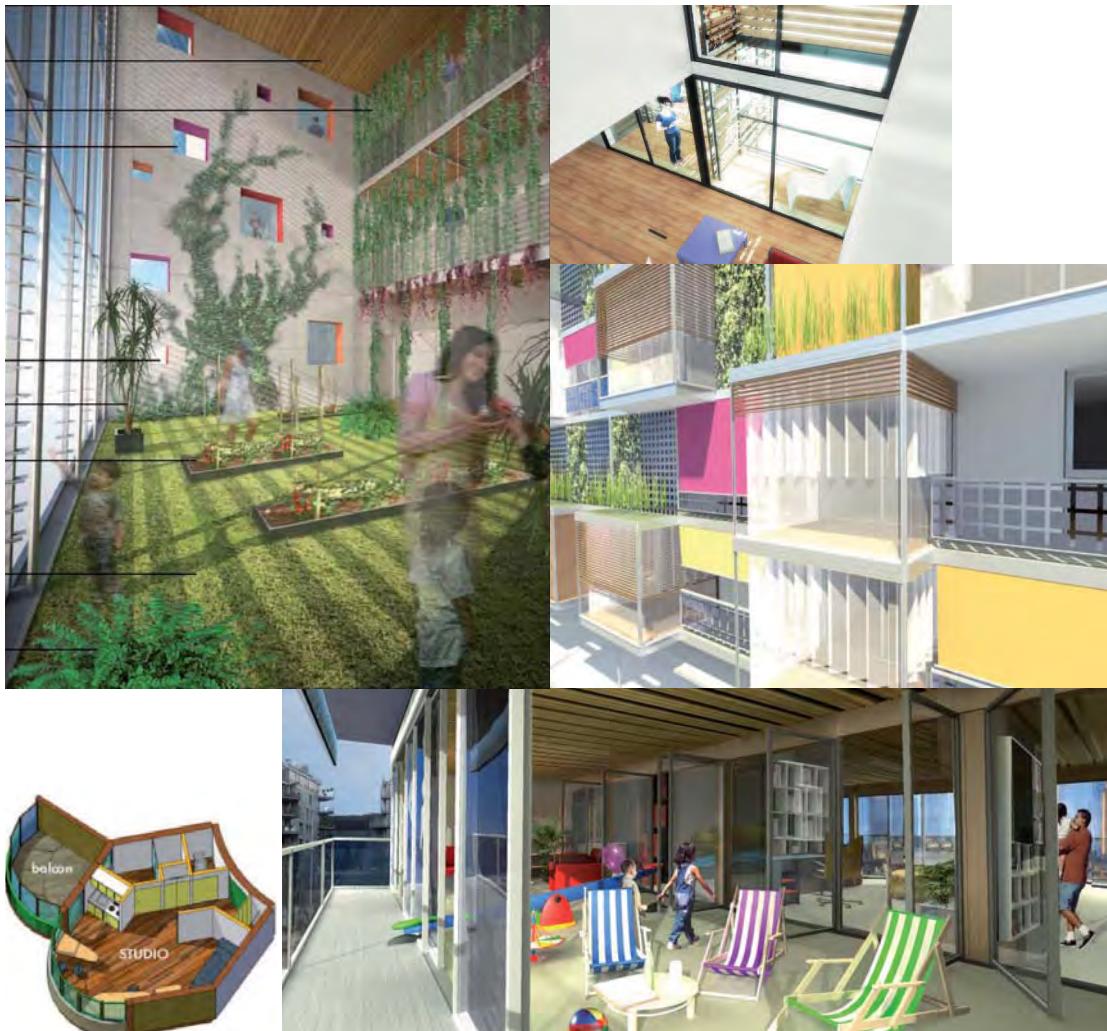
**Mixité sociale.** C'est un enjeu pour la ville de demain. La flexibilité des statuts, location ou accession, est posée dans toutes les problématiques des projets participant à l'expérimentation. Ils proposent des logements de taille variable pour répondre aux besoins des familles, des jeunes salariés ou des personnes âgées respectant ainsi un principe de mixité intergénérationnelle. Les espaces communs (halls, circulations, serres collectives, jardins, toits-terrasses) sont dessinés pour renforcer le lien social et intergénérationnel. La mixité fonctionnelle est prévue par superposition des fonctions, adossement des bureaux au nord et des logements au sud ou répartition dans l'ilot.

**Espaces supplémentaires : jardin d'hiver, pièce sans fonction, serre...** Les 'espaces tampons', dispositifs 'passifs', deviennent des pièces du logement qui participent activement de la vie des habitants: jardins d'hiver et vérandas solaires deviennent espaces de jeux, de repos ou de séjour en période estivale et en mi-saison. Ces espaces, en limite intérieur / extérieur, rapprochent le logement collectif des qualités de l'individuel. L'évolution de la famille et des activités non programmables sont prévus. La 'pièce en plus' permet d'accueillir un parent, un jeune ou des activités diverses (gym, bricolage, art...).

**Réversibilité et plan libre : Transfert de l'immobilier vers le mobilier.** La recherche d'une ventilation traversante pour le confort d'été et l'aération des logements a induit une véritable liberté d'appropriation des logements. Les modules ou les plateaux libres permettent tout type de cloisonnement, une organisation flexible des appartements et un réaménagement possible dans le futur. Certains projets vont plus loin en utilisant des cloisons mobiles qui intègrent des rangements et permettent une reconfiguration du logement au gré des saisons et des activités des occupants. Le mobilier de cuisine s'intègre à celui du séjour rejetant tous les éléments techniques vers un cellier fermé.

**Espaces supplémentaires pour récupérer la chaleur et protéger du froid.** Les réflexions sur l'évolution des foyers et sur les usages ont conduits les équipes lauréates à concevoir des espaces supplémentaires à usage libre. Cette évolution est une opportunité pour la sobriété énergétique. La serre, la loggia fermée, l'espace tampon solarisé sont présents individuellement ou collectivement dans tous les projets pour permettre de récupérer les apports solaires et contribuer au chauffage de l'ambiance. La présence d'ouvrants et de protections solaires permet de réguler l'ambiance thermique en période de forte chaleur. Inversement, circulations ou locaux de stockage, pour lesquels les exigences de confort sont plus souples, sont disposés au nord de manière à réduire les pertes de chaleur des espaces à occupation longue.

**Espaces ouverts ou confinés : Confort d'été et besoins de chaleur en hiver.** Selon les projets, l'agencement intérieur des logements a conduit à deux types de configurations aux conséquences sur les besoins énergétiques des bâtiments : D'une part, des plateaux libres qui présentent l'avantage de faciliter l'évacuation de la chaleur pour le confort d'été et un meilleur éclairage naturel. En revanche, le volume à chauffer est plus grand et le principe de ventilation par différence de pression pour l'hygiène est plus difficile à assurer ; D'autre part, des modules englobant des pièces fermées, sur une trame qui autorise la reproduction. L'espace associé à une activité et à un niveau de confort, est clairement délimité réduisant ainsi le volume à chauffer et définissant le niveau de renouvellement de l'air. En revanche, le rafraîchissement en été, par ventilation traversante, est plus difficile à assurer et l'éclairage naturel dépend de la position dans la trame. Il ressort de ces recherches, une imbrication forte entre architecture et besoins d'énergie tant du point de vue quantitatif que qualitatif dont de nombreuses implications restent à explorer. Optimiser ventilation, chauffage, rafraîchissement et éclairage naturel conditionne la cohérence des concepts.



# Usages

## Evolution des usages dans la diversité

## Impact de l'occupant sur la consommation

**Renouveler l'offre par la différence et la qualité du collectif.** Traditionnellement, l'habitat individuel s'apprécie parce qu'il assure intimité et liberté d'appropriation, mais il est pénalisant financièrement par le coût des déplacements vers les activités collectives (écoles, emplois, commerces, équipements, transports...) Les concepts tendent à renouveler l'offre de logements collectifs, pour les rendre plus attrayants en partant de leurs relations de proximité avec l'offre urbaine, et en reprenant des qualités de l'habitat individuel : intimité, espaces extérieurs et flexibilité.

**Equiper suivant la demande : Accepter l'intervention des occupants.** La flexibilité et l'adaptabilité font l'objet d'une recherche systématique qui rend originaux les bâtiments concepts de cette expérimentation. Si les logements neufs correspondent aux besoins des habitants, de futurs changements sont possibles sans interventions lourdes. Les futures interventions sont anticipées et facilitées par les systèmes constructifs : la rénovation de l'enveloppe (désolidarisée structurellement du gros œuvre), l'installation de nouveaux dispositifs techniques d'énergies renouvelables (pré-installation des fixations, des réseaux électriques, dimensionnement adéquat des locaux techniques), la recomposition du logement individuel pour répondre à de nouveaux besoins de la famille (cloisonnement indépendant de la structure ou même cloisons mobiles). Anticiper les interventions, c'est aussi équilibrer automatismes et actions de l'occupant. L'information des occupants est souhaitable car elle lui permet d'optimiser ses dépenses et d'adapter ses comportements. L'optimisation en termes d'économies d'énergie ne pourra se gérer au seul niveau du bâtiment. L'échelle de l'ilot est indispensable à une bonne visibilité des dépenses énergétiques. Certains concepts étudiés portent un réel potentiel à devenir des bâtiments à énergie positive alors que d'autres ne permettront qu'une optimisation. La mixité des activités est un potentiel qui peut entrer en synergie si la raisonnement est celui de l'ilot urbain.

**Prendre en compte le foisonnement.** Le cahier des charges des concepts exigent des enveloppes qu'elles soient très étanches à l'air et fortement isolées. La faiblesse des pertes de chaleur associée à des systèmes de récupération rend les besoins d'énergie très sensibles à la chaleur dissipée dans les logements due à l'activité humaine. Le dimensionnement des équipements et la performance des logements ont été estimés en phase de conception sur des scénarios conventionnels. Les équipes ont bien cernés l'enjeu et le comportement a été essentiel dans la conception avec la notion d'évolutivité et la répartition des espaces. Mais comment peut-on anticiper au mieux le comportement de l'occupant et son foisonnement dans un immeuble collectif ? Est-il possible d'impliquer plus en amont l'utilisateur final dans sa façon d'habiter ? En corollaire, dans quelles mesures l'architecture a-t-elle un impact sur le comportement ?

**Aider l'occupant à gérer son ambiance.**  
Pour l'anticipation, une première réponse vient des automatismes et de la simulation numérique. Les transferts de chaleur ne se voient pas, l'occupant n'est pas en mesure d'anticiper les réactions de l'enveloppe aux sollicitations thermiques extérieures et intérieures. Des automatismes, sur les protections solaires ou l'ouverture des baies, peuvent l'accompagner pour prévenir les situations inconfortables, par exemple en confort d'été, et l'aider à optimiser le fonctionnement de son logement. Par ailleurs, la demande de confort thermique doit être confrontée aux autres exigences de confort, visuel ou acoustique, de manière à ne pas déprécier le confort global. La simulation numérique présente un intérêt particulier pour paramétriser les automatismes et mesurer l'impact sur les autres exigences et les conséquences énergétiques. Elle a été largement utilisée pour le dimensionnement des concepts et pour prévoir la performance des bâtiments. Elle reste cependant fortement dépendante d'hypothèses comportementales qui devront être rediscutées dans le cadre d'une réalisation concrète avec le maître d'ouvrage.



# Insertion urbaine

## Insertion urbaine des bâtiments BBC

## Mixité d'usage & complémentarité énergétique

**Mixité fonctionnelle.** L'appel d'offres portait sur l'intégration de commerces, de tertiaire et de logements. La plupart des projets lauréats se veulent une nouvelle offre dans la ville existante, en proposant des commerces, de services de proximité, et des bureaux en liaison avec des logements suivant des modes d'association différents. La mixité fonctionnelle permet l'insertion des projets dans la ville et dans la vie de quartier. La base des minitours par exemple, suit le parcellaire et assure la continuité de l'espace urbain et de ses activités. La super structure de logements émergeant de la densité peut être orientée en fonction des contraintes solaires et profiter des apports calorifiques de dispositifs capteurs d'énergie renouvelables. Des installations communes autorisent des transferts de calories.

**Densité & compacité.** Les bâtiments optimisés du point de vue énergétiques mettent en évidence les coûts de transport des habitants et celui des infrastructures (création et maintenance de réseaux d'électricité, de gaz, d'eau et de canalisation, réseaux routiers). En pourcentage équivalant pour des bâtiments faiblement isolés, ces dépenses énergétiques constituent le 2ème levier des économies d'énergies primaires. Le bâti et l'organisation urbaine deviennent des enjeux à mener en parallèle. La ville dense préserve aussi la terre fertile. La densité urbaine (épaisseur, mitoyenneté, hauteur) est un facteur important d'économies d'énergie induites. Les projets d'immeubles compacts ont moins de surfaces de façade à isoler et moins de dispositifs thermiques (mutualisés) ce qui réduit les coûts de la construction et les consommations. Les propositions justifient des immeubles compacts, épais, mitoyens et en hauteur raisonnables.

**Continuité urbaine.** Les tours comme les immeubles concepts en particulier, intègrent une réflexion sur la continuité urbaine : rue, îlot, quartier et territoire. Différents dispositifs formels proposent la mitoyenneté entre immeubles ou un socle qui s'adapte aux contraintes du quartier en termes de hauteur et de programme. L'option 'nappe' à R+2 suit une densité de faubourg.

**Aménagement de l'espace en fonction des besoins.** Les bureaux ont une occupation courte et demande un éclairage homogène. Les logements ont une occupation longue et diversifiée dans la semaine. Dans l'un des concepts, les espaces sont disposés en fonction de leurs besoins énergétiques fortement dépendants de leur usage : Un éclairage important et homogène combiné à une durée d'occupation faible a conduit à orienter au nord les bureaux vitrés. Ils protègent les logements orientés au sud, qui du fait de leur durée d'occupation importante, présentent plus de besoins en chauffage. A travers cet exemple, il ressort qu'il est possible de conserver des façades nord vitrées sans réduire la performance énergétique.

**Compacité et optimum énergétique.** Perdes de chaleur et éclairage artificiel constituent l'enjeu d'une optimisation. Les nouveaux standards d'isolation réduisent les consommations pour le chauffage. La compacité des bâtiments réduit encore cette consommation parfois dans des proportions importantes. En revanche, la compacité réduit l'accès à l'éclairage naturel. En fonction de l'usage et de l'énergie, la consommation liée à l'éclairage peut devenir prédominante suivant l'indicateur de performance utilisé. L'approche pluridisciplinaire et la simulation numérique ont été des éléments clés pour trouver de bon compromis.

**Transférer la chaleur dissipée en fonction des besoins et des périodes.** La mixité d'usage permet aux logements de récupérer la nuit la chaleur dissipée dans les bureaux dans la journée. La mise en pratique de tels systèmes pose de nombreuses questions techniques interdisciplinaires et nécessitent de connaître les usages et les besoins. A partir de quelle quantité de bureaux et de logements, la mise en œuvre d'un système de récupération est-il envisageable ? Cette approche relève d'une échelle urbaine plus large que celle du bâtiment et nécessite de conduire l'analyse énergétique en explorant les liens et incidences entre ressources et besoins.



# Typo/morphologies

## De nouvelles typologies

**Parcellaire & implantation.** Les projets ont été conçus sans contraintes spécifiques d'implantation, les équipes ont cherché les conditions idéales d'implantation, d'orientation, de prospect et de masque urbain tout en raisonnant sur les ajustements en situations urbaines différencierées. Ils offrent une recherche méthodique sur de nouvelles distributions des logements et des bureaux, des modalités de répétition des concepts, des relations de prospects, des solutions pour optimiser l'orientation NS. Le marché du foncier reste une interrogation que seul le terrain précisera.

**Au delà du bâtiment : quartier, ville.** La réflexion a dépassé le logement pour raisonner sur la morphologie urbaine: îlot, quartier, ville. De la forme définie par un diagramme de l'ombre portée sur le voisinage, à la totale transparence et l'ouverture des logements sur la ville, une nouvelle identité formelle caractérise chaque proposition dans des situations urbaines diverses. L'optimisation a mis en évidence la difficulté à raisonner sur le bâti seul, la question de la mutualisation des services et des transports est récurrente : Quels raccordements aux réseaux, modes de mobilités, modes de consommation...? Ces projets dessinent la ville de demain insérée dans un territoire respectueux d'un rapport ville/campagne équilibré.

**De nouvelles typo-morphologies.** A travers cette recherche, se pose la question des éco-quartiers : nouveaux développements ou régénération de la ville existante à travers de nouvelles centralités et restructurations des îlots existants. L'existant doit être évalué pour son potentiel de réhabilitation en vue d'économies d'énergie substantielles et d'une réelle mise à niveau de l'espace du logement. L'expérimentation typologique s'inscrit dans une nouvelle logique d'implantation à la fois respectueuse de l'espace urbain existant mais aussi plus ouverte sur la lumière et la 'nature'. De nouveaux quartiers naîtront de l'articulation d'un stock existant respectueux de l'environnement et de nouvelles opérations productrices d'énergies renouvelables, dont le bilan sera à énergie positive.

## Performance énergétique à l'échelle urbaine

**Analyse énergétique / échelles.** A l'échelle du bâtiment : identifier les besoins. A l'échelle urbaine : identifier les ressources. Dans le cadre de la performance énergétique, les projets CQHE ont fait le choix de limiter le recours à l'énergie primaire pour assurer le fonctionnement du bâtiment. L'analyse énergétique est faite à partir de la question du besoin. Si on veut tendre vers l'optimum énergétique, la démarche doit être complétée par une analyse des ressources énergétiques. La conception bioclimatique, qui analyse les ressources climatiques locales, s'applique à une échelle qui n'est pas limitée au bâtiment. Une analyse similaire pourrait être conduite à l'échelle urbaine pour analyser les ressources énergétiques disponibles. Cependant lorsque la densité augmente les besoins augmentent et la ressource climatique diminue. Aussi l'analyse devrait-elle porter sur l'activité et les infrastructures urbaines pour évaluer leur potentiel en termes de ressources énergétiques et les possibilités de mutualisation.

**Comment appréhender le rapport besoins / ressources.** Une partie de la solution se situe à une échelle plus large que celle du bâtiment. La performance est une notion relative qui dépend du potentiel de départ et du niveau atteint finalement. D'un point de vue énergétique, le potentiel dépend de la ressource, et le niveau atteint dépend des besoins. Pour répondre au besoin d'énergie, on observe une transformation de la ressource. La performance relève du niveau de déterioration de cette transformation. La question de l'énergie positive nécessite d'évaluer également si le bâtiment contribue à alimenter la ressource énergétique. Dans cette perspective, le maître d'ouvrage n'a pas toute la solution et son effort va avant tout porter sur la sobriété énergétique et une qualité d'ensemble pour le fonctionnement. D'autres solutions énergétiques cherchant la mutualisation sont à envisager à une échelle plus grande qui reste à délimiter en fonction de la situation. Les collectivités locales sont partie prenante de cette démarche dans un souci d'équité de la distribution au niveau du prix.





### Fonctionnement général

Le projet est une mini-tour de 10 à 16 niveaux, composée d'un mur 'capteur' au sud, d'un mur manteau en demi-cercle couvrant les autres façades. Le principe énergétique repose sur une isolation très renforcée, la récupération des apports solaires par des espaces tampons, une orientation sud et la recherche de l'inertie saisonnière à l'aide d'un volume de stockage d'eau.

L'immeuble présente un hall commun. Un noyau central comprend 1 escalier et 2 ascenseurs. Dans une configuration de base le projet offre :

- 2 niveaux de bureaux : 740 m<sup>2</sup> avec accès séparé
- 13 niveaux de 4 à 5 logements (66) : 4 360 m<sup>2</sup> (10T1, 18T2, 21T3, 14T4, 3T5)
- une hauteur entre dalles entre 2,80 et 3,00 m
- des espaces tampons accessibles pour les habitants
- sans stationnement automobile (centre ville, transports en commun) mais envisageable.

La performance obtenue est une consommation optimisée bien en dessous du niveau BBC (65 kWhep/m<sup>2</sup>/an) pour : le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la ventilation et l'éclairage. En énergie finale, elle est comprise entre 10 et 29 kWh/m<sup>2</sup>/an, en énergie primaire entre 19 et 39 kWhep/m<sup>2</sup>/an.

Le projet est centré sur le dimensionnement optimum des procédés passifs pour la ventilation, le confort thermique (été et hiver) et l'eau chaude sanitaire à l'échelle d'un grand bâtiment collectif. Il s'agit respectivement de la ventilation hygroréglable assistée, du stockage inter saisonnier et de la surventilation naturelle par un système de cheminées.

### Points forts

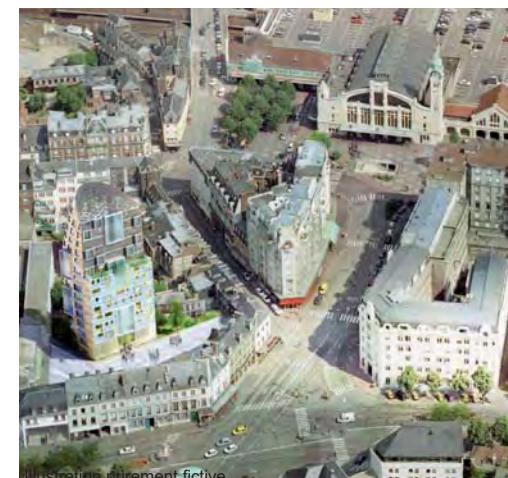
Le projet s'appuie sur une forme très caractéristique, des études de dimensionnement et d'estimation des consommations très poussées.

La réflexion très large permet d'aborder un grand nombre de questions qui rendent très concret le concept :

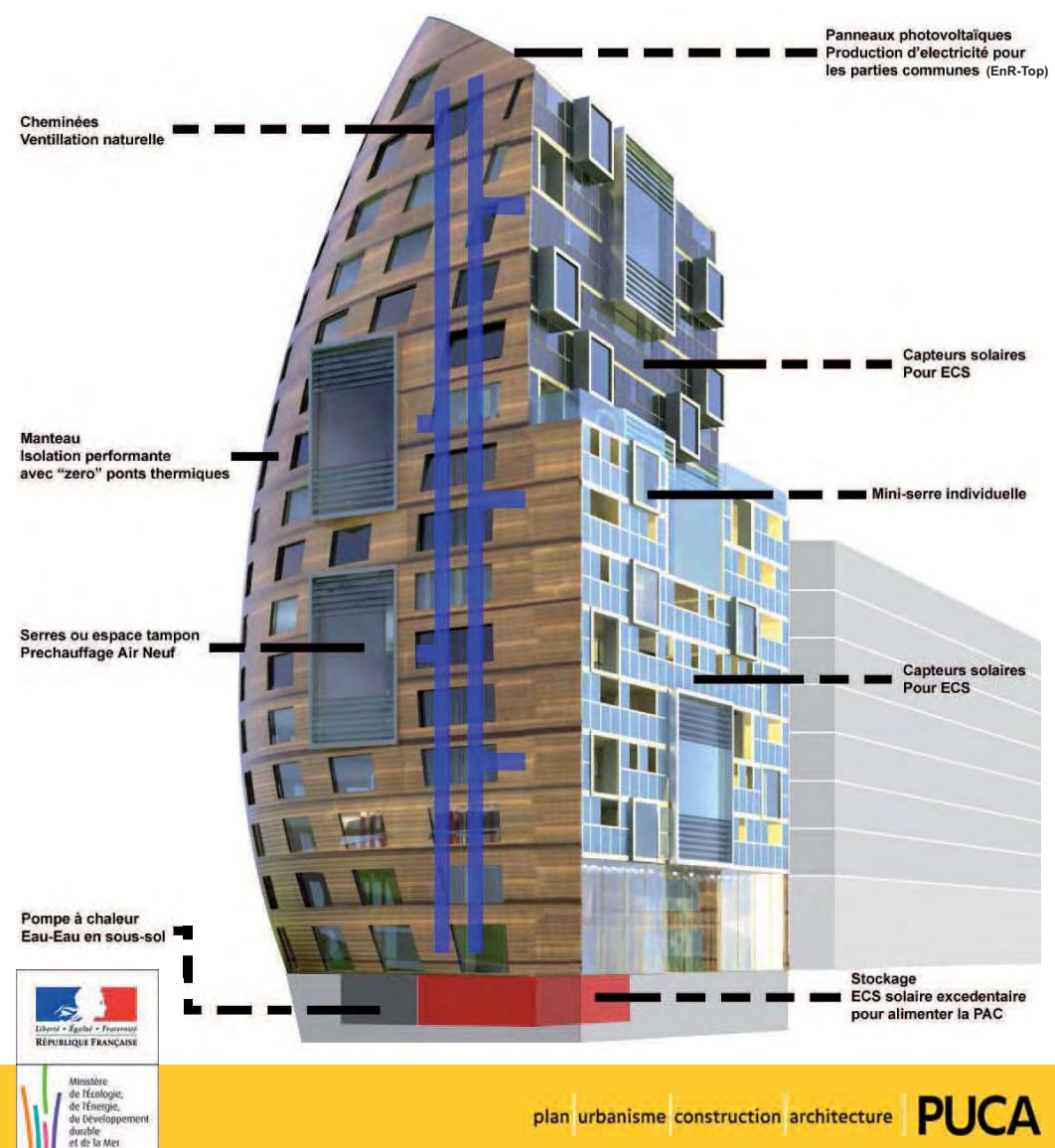
- la qualité d'usage
- la thermique (hiver et été)
- l'hygiène
- la sécurité incendie
- la structure.

Les options urbaines allient intelligence du contexte et innovation. Le socle à l'échelle de la ville s'adapte aux contraintes locales et offre une diversité de programmes. La tour de logements s'oriente systématiquement vers le sud pour optimiser les équipements passifs ou produisant de l'énergie renouvelable.

Mixité sociale et diversification fonctionnelle sont au cœur du concept pour s'intégrer dans la ville durable. L'adaptabilité programmatique en changeant l'enveloppe ou le cloisonnement est intégrée en conception.



Minitour à très haute qualité environnementale et très basse consommation pour reconcilier le citoyen et l'habitat collectif (Tikopia)



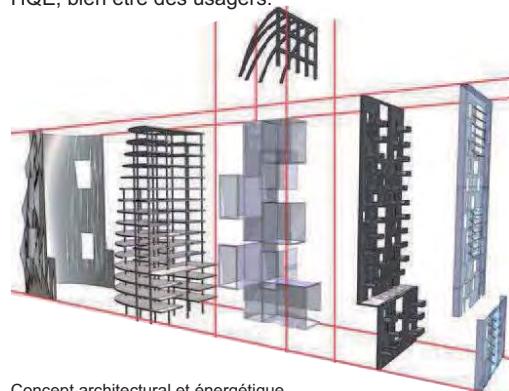
## EQUIPE &amp; DEMARCHE DE CONCEPTION



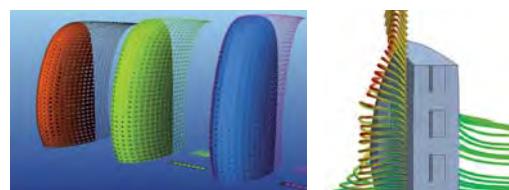
## Une équipe concourante

Le concept habitat est l'œuvre d'une équipe à la culture diversifiée et aux compétences complémentaires ayant pour objectif commun le Développement Durable :

- **Architecture Studio**, concept général, graphisme, développement formel
- **QUILLE**, structure, thermique, économie
- **ALTO Ingénierie**, simulations, calculs thermiques
- **ECO CITÉS**, optimisation bioclimatique, énergie HQE, bien être des usagers.



Concept architectural et énergétique



Les expériences communes ont forgé un esprit d'équipe solide. Les compétences acquises sur le terrain ont permis de tester les techniques utilisées pour le projet. L'équipe a su gérer l'évolution d'un concept innovant. Les outils utilisés par l'équipe sont les logiciels Virtual environment, Rhinoceros, Paracloud, Ecotect, Transol.

## Enjeux de demain : hauteur et densité

Cette forme d'habitat dense et en hauteur, permet de réduire les consommations d'énergie en fonctionnement et en matériaux à la construction pour minimiser l'impact sur l'environnement.

- **Sa compacité** minimise les échanges thermiques.
- **'Le manteau'**, enveloppe à isolation hyper-performante, apporte un confort climatique et visuel.
- **'Le mur climatique'** en façade sud est équipé de 'serres' (apport passif d'énergie solaire) et de capteurs solaires (production d'énergie renouvelable).
- **'L'arbre de ventilation'** avec ses volumes 'tampons' préchauffe l'air neuf entrant dans les logements.
- **La toiture 'EnR-top'** est conçue pour accueillir des capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques, des équipements de ventilation, PAC...

## Ville, mixité sociale, transports

Dans une logique de développement durable les déplacements sont réduits tout en stimulant l'économie locale et le lien social. Le bâtiment s'adapte à la ville existante à une double échelle : celle du socle en relation aux gabarits urbains accueillant commerces et bureaux, et celle de la tour de logements qui déploie sa façade énergétique orientée plein sud pour être plus performante.

A coté de la polyvalence des fonctions du socle, le concept propose une mixité sociale complète. La variété des typologies s'intègre dans la conception générale.

Construire en hauteur permet de libérer de l'espace au sol, de respecter les bâtiments environnants, d'éviter des vis-à-vis, de créer un espace extérieur convivial (place ou jardin) au centre du quartier.

Le projet trouvera naturellement sa place près des axes de transport en commun, des équipements scolaires, des services et des commerces.

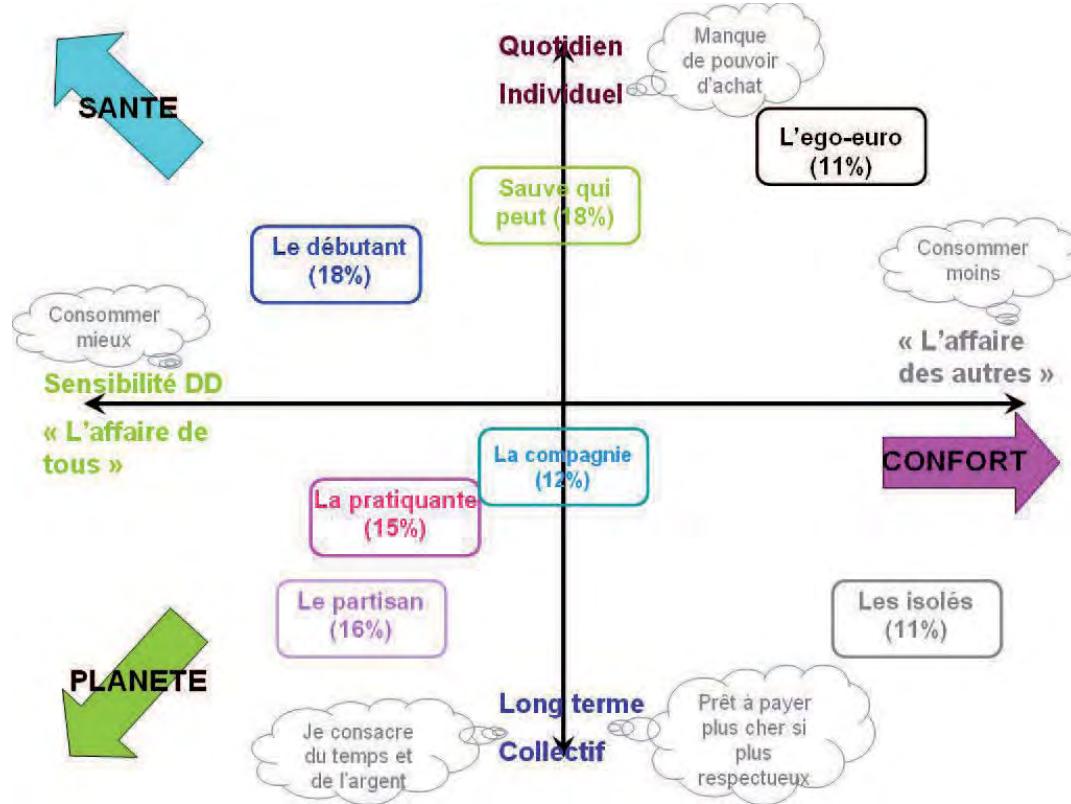
Dans un îlot ou un quartier, le projet peut être répertorié comme bâtiment à énergie positive et participer aux objectifs globaux du Grenelle de l'environnement.

## PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION ET DE DÉVELOPPEMENT

## Adaptabilité et évolution

Le bâtiment est conçu autour de quelques concepts thermiques simples. En dehors de ces principes, la conception générale est libre et ne doit aucunement relever du modèle. Le projet est **adaptable au milieu urbain** (ZAC ou tissu ancien, orientation).

**L'adaptabilité aux évolutions futures** en termes de programmation, de normes et de technologies, d'exigences qualitatives, est portée par le projet du fait de sa conception même : structure poteaux-dalles permettant toute transformation du cloisonnement, façade entièrement démontable sans changer la structure.



## USAGE ET QUALITÉS ENVIRONNEMENTALES

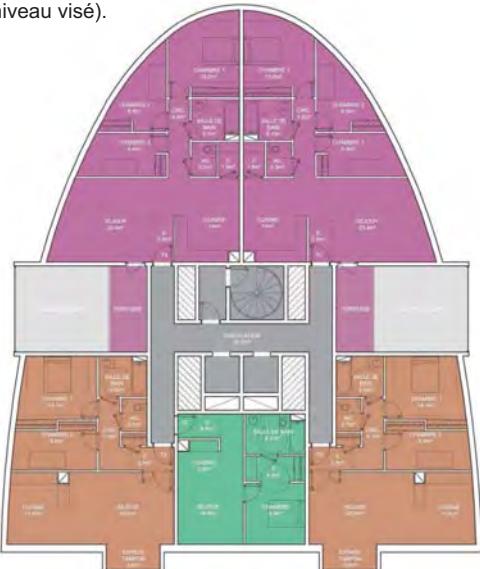


## Performance thermique et technologie

Le projet constitue un système de type '3 en 1' qui intègre le chauffage, la ventilation hygiénique et le confort thermique d'été (sur-ventilation). Ce système, plus performant et plus économique en énergie qu'une ventilation double flux, est aussi plus simple à mettre en place : il permet la suppression du chauffage (radiateurs) à l'intérieur des logements, les gaines verticales (cheminées) sont invisibles pour les habitants.

L'usage est simple par commande de thermostat. Les autres systèmes ne posent aucun problème d'usage car ils sont extérieurs au logement (sous-sol, EnR-Top, façade).

L'approche énergie du concept habitat est à la fois 'naturelle' (système principalement passif permettant d'atteindre le niveau BBC) et 'technique' (solutions thermiques simples augmentant la performance jusqu'au niveau visé).

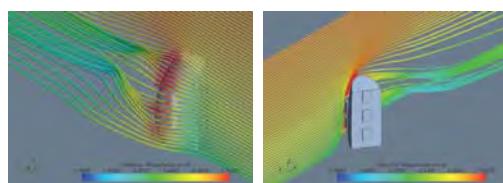


Serre plantée, lieu de détente accessible aux habitants

## Serres et volumes tampons

Les serres individuelles et les volumes tampons contribuent de manière perceptible à la performance thermique. Ils permettent également d'apporter une quantité de lumière naturelle conséquente aux pièces situées au cœur du bâtiment. Accessibles aux habitants et plantées, les serres deviennent des lieux de détente et de convivialité et confèrent au projet l'ambiance de 'village vertical'.

La végétation dans les espaces communs peut jouer un rôle important dans l'amélioration de la qualité de l'air (phyto-épuration, plantes dépolluantes).



## Vents

## VILLE ET APPROCHE ARCHITECTURALE



## Etudes des ombres portées et de l'ensolleillement

## Limiter les consommations

- Optimisation du solaire passif par l'orientation et par la répartition des vitrages (surface vitrée importante au sud et faible au nord) et par les performances élevées de l'enveloppe.
  - Optimisation des déperditions liées à l'air hygiénique par le préchauffage dans l'espace tampon.
  - Limitation des consommations de ventilation par un réseau aéraulique basse pression et une ventilation hygiénique semi-naturelle.
  - Système 'solaire thermique' avec stockage inter-saisonnier pour satisfaire les besoins d'eau chaude sanitaire et de chauffage.
  - Utilisation d'éclairage naturel permettant de limiter l'éclairage artificiel.

## Enveloppe

L'enveloppe est de type manteau en bardage de bois rétiifié sur ossature en bois et béton (poteaux) fixée aux planchers. L'ossature principale est constituée de poteaux en béton qui présentent la courbure de la façade et sur lesquels s'appuient les planchers. La peau extérieure en planches de bois est fixée sur une ossature secondaire. L'étanchéité à l'air est assurée par une membrane imperméable à l'air et perméable à l'humidité. L'attention doit être attirée sur la nécessité de procéder à la définition de détails architecturaux spécifiques pour faciliter l'exécution. La qualité de l'enveloppe est l'une des clés de la performance thermique au même titre que l'efficacité des systèmes de chauffage ou de ventilation.



## Mini-tour

La forme compacte, dense et en hauteur permet un meilleur rendement 'enveloppe / surface chauffée' ce qui contribue à limiter les déperditions thermiques par  $m^2$  de surface chauffée. La forme arrondie permet de limiter la pression du vent sur la façade et les déperditions thermiques par perméabilité à l'air.



## Insertion urbaine

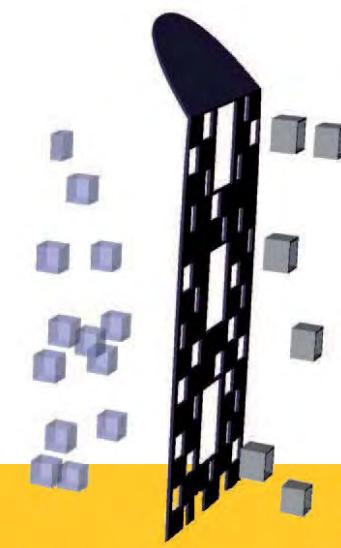
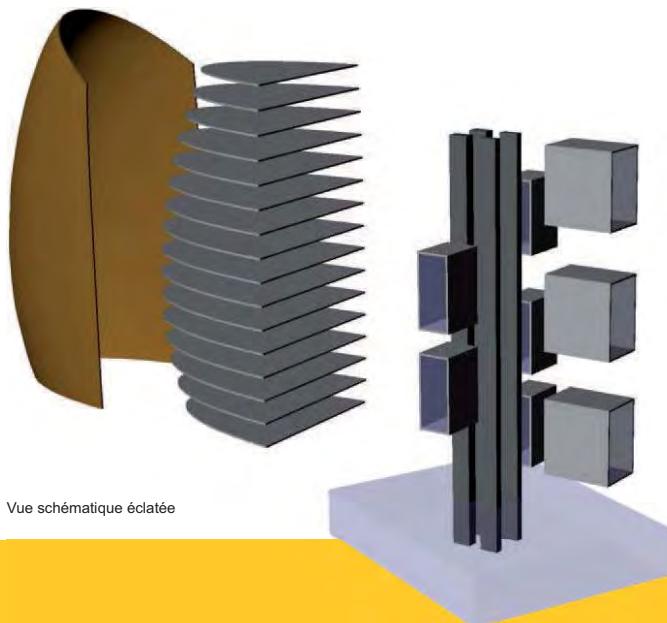
L'étude et des simulations ont révélé l'implantation optimale. En orientant la façade plane au sud, le bâtiment bénéficie à la fois d'apports solaires passifs (inertie du mur béton, fenêtres bien dimensionnées) et aussi cette façade peut servir de support optimal de systèmes de production d'énergie solaire, thermique ou photovoltaïque. La forme courbe et affinée en hauteur permet de réduire l'impact sur le quartier immédiat en diminuant l'ombre portée sur les bâtiments du voisinage.

## FONCTIONNEMENT TECHNIQUE DU BÂTIMENT

## Fonctionnement thermique

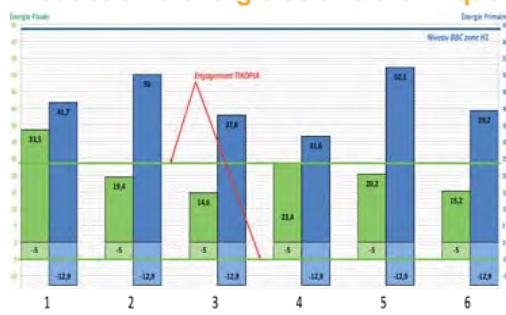
La stratégie est d'assurer à la fois le confort thermique d'été, la limitation extrême des déperditions (parois et renouvellement d'air) et un taux de couverture élevé en énergie renouvelable :

- arbre de ventilation comprenant volumes tampons (serres permettant un préchauffage de l'air neuf) et gaines verticales de ventilation (cheminées), assurant une ventilation naturelle assistée
- mur climatique et EnR-Top captant l'énergie solaire (capteurs thermiques avec tubes sous vide)
- stockage inter-saisonnier - citerne d'eau pour garder la chaleur (en sous-sol ou sur le sommet de la mini-tour) qui est utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire et de complément de chauffage
- pompe à chaleur haute température air/eau installée dans l'EnR-Top ou en sous-sol
- optimisation énergétique des surfaces vitrées
- production photovoltaïque complémentaire pouvant compenser des consommations électriques communes.



## PERFORMANCES ÉNERGETIQUES

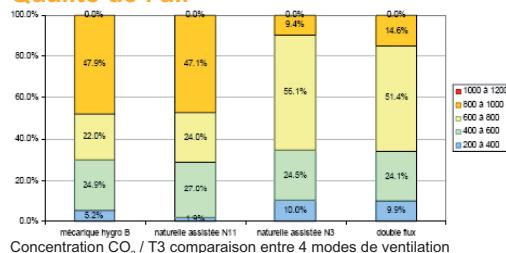
## Production d'énergie solaire thermique



Six solutions techniques d'énergies renouvelables :

- 1 : 4m<sup>2</sup> capt/log + 100m<sup>3</sup> stock + chaudière condensation
- 2 : 4m<sup>2</sup> capt/log + 100m<sup>3</sup> stock + PAC HT air/eau
- 3 : 4m<sup>2</sup> capt/log + 100m<sup>3</sup> stock + PAC HT géothermique
- 4 : 4m<sup>2</sup> capt/log + 100m<sup>3</sup> stock + PAC HT gaz
- 5 : 5m<sup>2</sup> capt/log + 150m<sup>3</sup> stock + PAC HT sur stock + complé elec
- 6 : 8m<sup>2</sup> capt/log + 500m<sup>3</sup> stock + PAC HT sur stock + complé elec

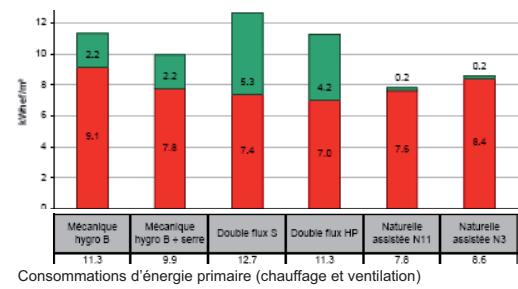
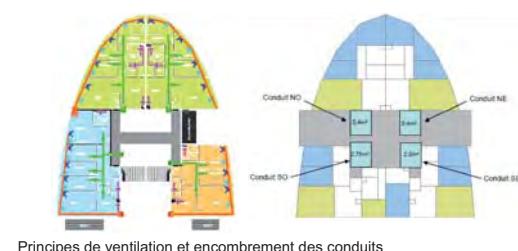
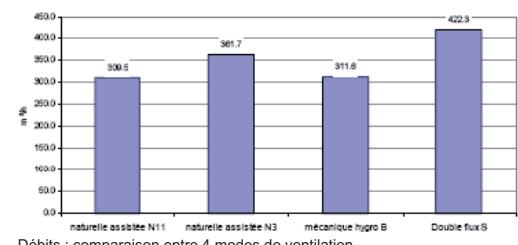
## Qualité de l'air

Emissions CO<sub>2</sub>

## Chauffage - ventilation

Le projet étudie 6 scénarios de dispositifs thermiques solaires (chauffage et ECS) et 4 modes de ventilation avec un objectif de consommation de 15kWh ef/m<sup>2</sup>/an. Ainsi, l'installation optimale serait équipée de :

- 256m<sup>2</sup> de capteurs (tubes sous vide), 4m<sup>2</sup>/logement
- 75 à 100 m<sup>3</sup> de stockage, 0,3 m<sup>3</sup>/logement
- pompe à chaleur
- ventilation naturelle assistée.





### Fonctionnement général

Le concept IMPACTE est un bâtiment compact de 7 niveaux. Le système constructif est à structure poteaux-poutres ou poteaux-dalles.

Un plateau profond accueille des bureaux au nord et des logements au sud, sans liaison fonctionnelle entre les deux. Les transferts calorifiques entre les fonctions sont valorisés. Le concept IMPACTE est évolutif dans le temps et dans ses fonctions.

Un socle commun contient des activités, des commerces en rez-de-chaussée, et des parkings au sous-sol. Une 'résille', façade captatrice au sud (productrice - panneaux photovoltaïques) est dynamique, occultable, variable et habitable.

Les formes et les surfaces des logements favorisent la mixité par des typologies variées de logements et par des pièces en plus aux affectations variées (studio, bureau d'appoint). Avec la typologie en duplex et les terrasses ou loggias dans la 'résille', le logement IMPACTE se rapproche de la maison individuelle.

La compacité, le stockage journalier et inter-saisonnier d'énergie rendent IMPACTE rentable et économique en énergie : 40 kWh/an/m<sup>2</sup>, soit une économie de 80% en passif. En ajoutant un équipement de production d'énergie photovoltaïque, l'économie passe à 90%, soit 20 kWh/an/m<sup>2</sup>. En terme d'économie et d'émissions de Gaz à Effet de Serre, IMPACTE se situe en classe A.

Le bâtiment IMPACTE est évolutif dans le temps et dans ses fonctions. Sa compacité permet de réduire de près de 60% les consommations de chauffage et/ou de 25% la consommation des cinq usages conventionnels.

### Points forts

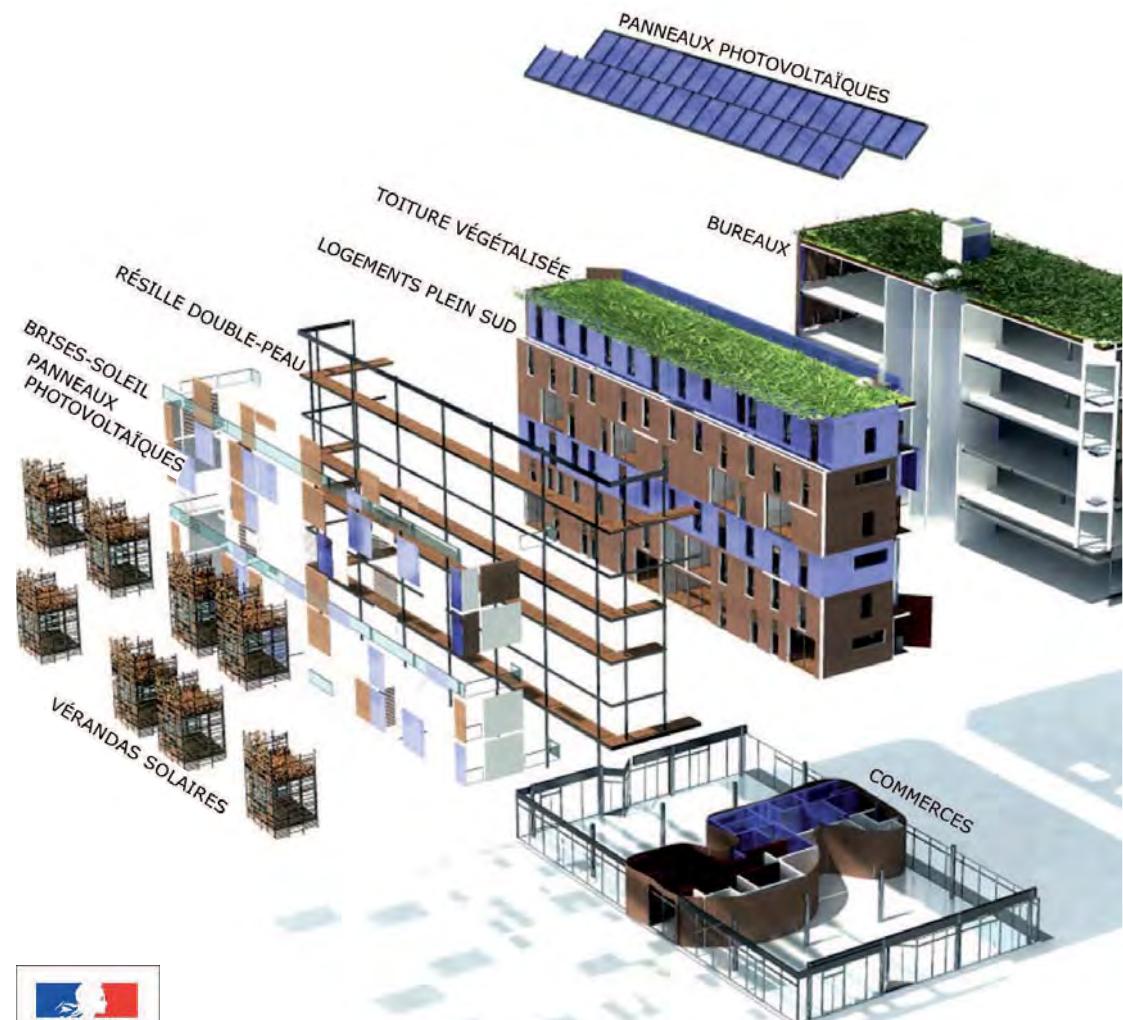
Le projet s'appuie sur des strates verticales qui permettent de capter les énergies renouvelables et d'opérer des transferts calorifiques suivant l'usage et la fonction dans le bâtiment.

Les points forts du projet sont :

- bâtiment à haute qualité environnementale et à très basse consommation
- compacité et densité
- projet adaptable en différentes situations urbaines
- projet favorisant une mixité fonctionnelle (logements, bureaux et commerces)
- projet favorisant une mixité sociale et intergénérationnelle (typologies variées de logements)
- typologie de logement renouvelée (duplex et vérandas) se rapprochant de la maison individuelle
- bâtiment adaptable et évolutif (flexibilité et transformabilité des logements)
- réhabilitation facilitée par l'indépendance structurelle entre enveloppe et gros œuvre
- accessibilité PMR intégrée à tous les programmes.



### Innovation Maîtrisée Pour l'Architecture Climatique, la Thermique & l'Environnement **IMPACTE**



## EQUIPE & DEMARCHE DE CONCEPTION

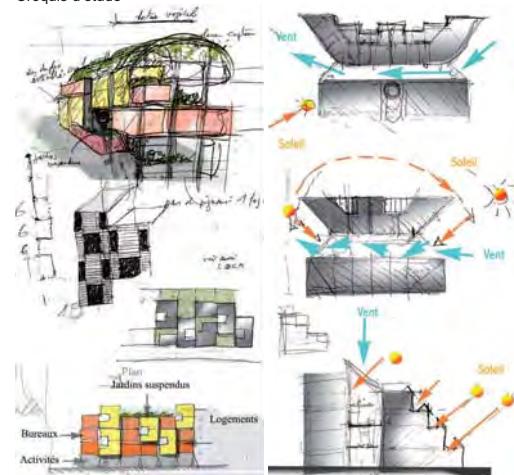
### Une équipe concourante

L'équipe est composée de :

- François PÉLEGRIN, architecte dplg, urbaniste DUP
- Elisabeth PELEGRIN-GENEL, architecte dplg, psychologue du travail
- André POUGET, POUGET consultants thermiciens
- BET CETBA Ingénierie
- Philippe BOURGUIGNON, économiste
- Gérard FLEURY, Antoine THUIILLIER, TBC générateur d'innovation.

IMPACTE est l'œuvre d'une équipe pluridisciplinaire aux compétences complémentaires. L'équipe a démarré cette recherche par des séminaires de créativité. Ils ont permis de mettre en commun des idées, des concepts et des innovations. Ils ont donné une dynamique au groupe et ont nourri en continuité la réflexion. L'équipe a bénéficié du contenu des séminaires de créativité dans un mouvement permanent d'aller et retour. L'approche Développement Durable a servi de guide.

Croquis d'étude



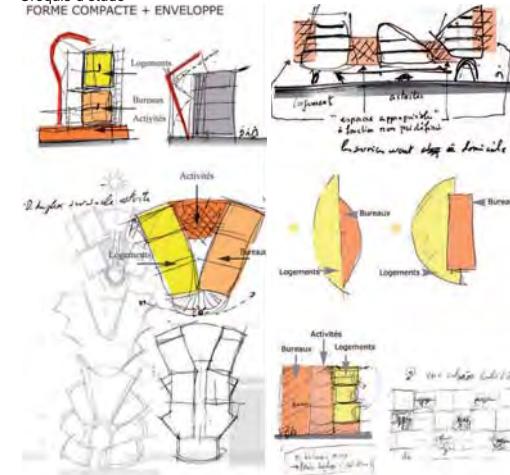
### Enjeux de demain, compacité, densité

Un consensus se dégage pour limiter l'étalement urbain et promouvoir une densité acceptable et agréable. La compacité du bâtiment et sa profondeur sont modulés en fonction du contexte urbain pour favoriser la continuité urbaine, la mixité des fonctions en privilégiant la lumière naturelle. IMPACTE répond aux attentes des habitants par une diversité de l'offre de logements.

### Ville, mixité, transports

La mixité des activités, commerces-bureaux-logements, est à la base du concept IMPACTE. Les différentes typologies de logements prennent en compte la mixité et l'évolution sociale : familles recomposées ou monoparentales, vieillissement de la population, évolution du travail. Inscrite dans la continuité urbaine, l'opposition - bureaux au nord / logements au sud - offre une densité suffisante pour favoriser l'usage et le développement de transports en commun.

Croquis d'étude



## PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION ET DE DÉVELOPPEMENT

### Adaptabilité et évolution

Le concept IMPACTE est adaptable en différentes situations urbaines. L'épaisseur, la hauteur, la largeur et la disposition fonctionnelle peuvent être modifiées. Par sa structure souple et peu contraignante, un bâtiment peut être modifié pour répondre aux attentes des habitants. La flexibilité des espaces pour les changements d'usage dans le temps : des chambres d'enfants se transforment en chambres plus

autonomes pour des adolescents ou de jeunes adultes. L'accueil d'une tierce personne est possible (personne âgée dont il faut prendre soin ou étudiants en charge du baby-sitting).

Les plateaux libres sont adaptés à la fonction bureaux. La dissociation structurelle de la façade-résille par rapport au gros œuvre permet l'évolution : remplacer ou réhabiliter l'enveloppe tous les 10 à 30 ans.



## USAGE ET QUALITÉS ENVIRONNEMENTALES



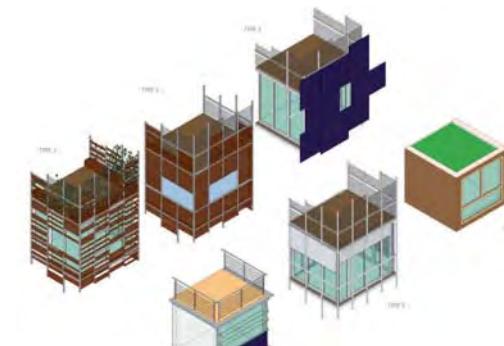
Le parti thermique du projet IMPACTE



### Usage, serres et espaces tampons

Serres, espaces tampons, terrasses, 'vêrandas solaires' accrochés dans la 'résille' sont aussi des espaces habitables. Les résidents utilisent ces espaces en fonction de l'heure de la journée et de la saison. Il s'agit bien de volumes chauffés exclusivement de façon passive, sans énergie conventionnelle autre que le soleil. L'habitant 'transhume' facilement de son appartement à sa véranda selon la course du soleil et la saison au gré de ses activités. En mi-saison, il est des moments où la séparation entre volume chauffé et véranda disparaît totalement pour dégager un grand volume ouvert.

En période estivale, la peau extérieure de la véranda



Les différents types de boites

s'oriente pour éviter l'effet de serre et les planchers forment une casquette évitant le soleil en direct et assurant la protection efficace des pièces adjacentes.

Les typologies en duplex favorisent la ventilation naturelle et le rafraîchissement nocturne.

La lumière naturelle est préférée dans tous les espaces intérieurs à l'exception des paliers d'escalier lorsque l'immeuble est mitoyen, auquel cas des dispositifs de conduits de lumière naturelle sont envisagés.

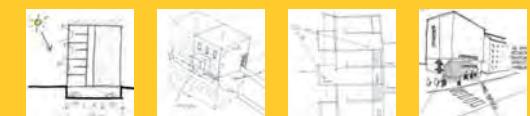
Les bureaux dont les besoins sont différents et moins en captage solaire sont utilisés comme des espaces tampons régulateurs de l'équilibre thermique.

Vues intérieures vers les boites - vérandas solaires



Vue extérieure de l'entrée d'immeuble et des boites

## VILLE ET APPROCHE ARCHITECTURALE



Croquis d'étude de l'ensoleillement

### Mitoyenneté et continuité urbaine

Dans le cadre de l'insertion dans le paysage urbain, la mitoyenneté des pignons avec des bâtiments chauffés est intéressante énergétiquement : réductions des consommations de chauffage jusqu'à 47%.

Un soin est apporté au 'socle', du rez-de-chaussée aux entresols, pour enrichir les activités de la rue et du quartier. Ses services de proximité et ses commerces répondent à un objectif de mixité fonctionnelle.

### Enveloppe

Le concept IMPACTE intègre une résille multicouches qui permet d'y accrocher les éléments nécessaires à la production électrique mais aussi à d'autres fonctions comme par exemple : écrans acoustiques, pare soleils, protections garde-corps, etc. La façade-résille constitue la couche de séparation et de filtration entre l'extérieur et l'intérieur. Ces fonctions de protection sont optimisées en fonction des autres exigences : lumière naturelle à l'intérieur, ventilation, étanchéité à l'air et à l'eau, relations visuelles avec l'extérieur, isolation thermique et acoustique, captation solaire.

Les 'peaux' successives de l'immeuble s'adaptent pour réduire les déperditions de chaleur en saison froide, pour garantir le confort en période estivale et pour capter l'énergie solaire de façon passive (architecture bio-climatique, gains directs) ou active (capteurs thermiques (ECS) et photovoltaïques (production d'électricité)).

Vue extérieure de la façade - résille



### Compacté

|             | Logements           | Bureaux             | Commerce            | Projet              | Economie            |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Longueur    | 25.5 m              | 25.5 m              | 25.5 m              | 25.5 m              |                     |
| Largeur     | 7.0 m               | 9.0 m               | 16.0 m              | 16.0 m              |                     |
| Hauteur     | 16.5 m              | 16.5 m              | 3.0 m               | 19.5 m              |                     |
| S "utile"   | 1071 m <sup>2</sup> | 1377 m <sup>2</sup> | 408 m <sup>2</sup>  | 2856 m <sup>2</sup> |                     |
| Vh          | 2945 m <sup>3</sup> | 3787 m <sup>3</sup> | 1224 m <sup>3</sup> | 7956 m <sup>3</sup> |                     |
| Perimètre   | 65 ml               | 69 ml               | 83 ml               | 83 ml               |                     |
| S façade    | 1073 m <sup>2</sup> | 1139 m <sup>2</sup> | 249 m <sup>2</sup>  | 1619 m <sup>2</sup> | 842 m <sup>2</sup>  |
| S plancher  | 179 m <sup>2</sup>  | 230 m <sup>2</sup>  | 408 m <sup>2</sup>  | 408 m <sup>2</sup>  | 408 m <sup>2</sup>  |
| S toiture   | 179 m <sup>2</sup>  | 230 m <sup>2</sup>  | 408 m <sup>2</sup>  | 408 m <sup>2</sup>  | 408 m <sup>2</sup>  |
| S ext.      | 1430 m <sup>2</sup> | 1598 m <sup>2</sup> | 1065 m <sup>2</sup> | 2435 m <sup>2</sup> | 1658 m <sup>2</sup> |
| Coef. forme | 0.49                | 0.42                | 0.87                | <b>0.31</b>         |                     |



Plan d'un étage, typologie de logements 'simplex'.

### Insertion urbaine

Au-delà de la recherche d'une certaine densité, l'équipe a exploré l'articulation entre différentes échelles, l'idée de créer des parcours habitables, d'emboîtement des espaces de plus en plus petits, car on n'habite pas seulement son logement, mais aussi un quartier.

Insertion d'un bâtiment IMPACTE dans la ville



FONCTIONNEMENT TECHNIQUE DU BÂTIMENT

Fonctionnement thermique

Du point de vue énergétique, le concept IMPACTE se fonde sur des principes physiques de base pour assurer des ambiances confortables avec un bilan énergétique optimisé. L'objectif en terme de performance est pragmatique, il vise des bâtiments à énergie positive via une façade 'intelligente' : sur l'année, le bâtiment peut produire autant d'énergie qu'il en consomme.

- Compacité et coefficient de forme : un bâtiment compact a moins de développé de façades, il est donc moins déperditif et très économique en énergie. Il optimise économiquement la structure et a un très faible impact environnemental puisqu'il occupe peu de terrain et consomme moins de matière. Le coût de l'enveloppe dépend des finitions et de l'adaptation au contexte.

- Apports thermiques dus à la mixité des usages : le bâtiment multi-fonctions permet une optimisation des échanges thermiques car les besoins sont différents dans le tertiaire, le commerce ou l'habitat. Les transferts thermiques permettent de réaliser des économies d'investissement et d'exploitation.

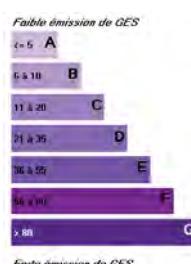
- Capteurs habitables : les 'boîtes' permettent de capter une énergie gratuite maximum in situ via le rayonnement solaire. Ces dispositifs capteurs sont aussi des espaces habitables, des 'vérandas solaires' utilisables en fonction de l'heure de la journée ou de la saison.

- Façade-résille au sud : couche de séparation et de filtration entre l'extérieur et l'intérieur, entre la nature et les locaux habitables.

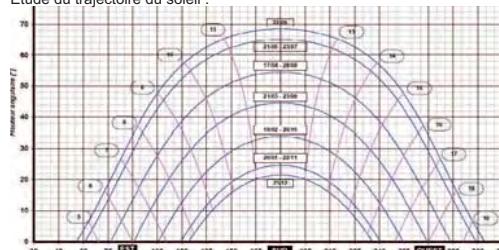
Emissions CO<sub>2</sub>

En termes d'émissions de Gaz à Effet de Serre, la construction d'un bâtiment IMPACTE 40 se situe en classe A (très faibles émissions).

Emissions de Gaz à Effet de Serre



Etude du trajectoire du soleil :



Composition de l'enveloppe :

| Isolation de l'enveloppe | Epaisseur - Nature                      | Observation                   | R    | U    |
|--------------------------|---|-------------------------------|------|------|
| Mur Extérieur (1)        | 15 cm de laine de verre                 | Rempillage de l'ossature      | 4,70 | 0,11 |
| ossature bois            | 10 cm de laine de bois                  | Complément intérieur          | 2,35 |      |
| Mur Extérieur (2)        | Voiles béton                            | Isolant thermique             | /    | 0,15 |
| isolé par l'extérieur    | 20 cm de polystyrène                    | Isolant extérieur sous enduit | 6,25 |      |
| Murs Intérieurs          | 10 cm de polystyrène                    | /                             | 3,10 | 0,29 |
| "Locaux Non Chauffés"    | 10 cm de polyuréthane                   | Isolant sous chape            | 4,35 | 0,13 |
| Plancher bas sur parking | 15 cm de fibrastyrene                   | Rapporté en sous-face         | 4,45 |      |
| Terrasses                | 16 cm de polyuréthane                   | /                             | 6,80 | 0,15 |
| Menuiseries extérieures  | PVC triple vitrage                      | Facade sud et nord            | /    | 0,92 |
|                          | ALU triple vitrage                      | Facade ouest et commerce      | /    | 1,40 |
| Traitement des ponts     | Osature bois désolidarisée des porteurs |                               |      |      |
|                          | Balcons désolidarisés de la structure   |                               |      |      |
| Permeabilité à l'air     | 14 = 1 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> | Valeur Effinergie             | /    | /    |

Besoins annuels d'énergie :



PERFORMANCES ÉNERGETIQUES

Production d'énergie thermodynamique

Des calories sont récupérées sur l'extraction de la ventilation simple flux des logements et sur les descentes d'eaux usées. Les systèmes thermodynamiques par pompes à chaleur assurent une partie de la production d'eau chaude sanitaire.

On considère que ce système permet de diviser par 3 les consommations d'ECS par rapport à un système de production 'ordinaire' par effet joule direct.

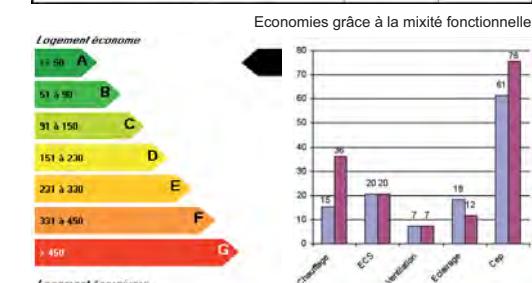
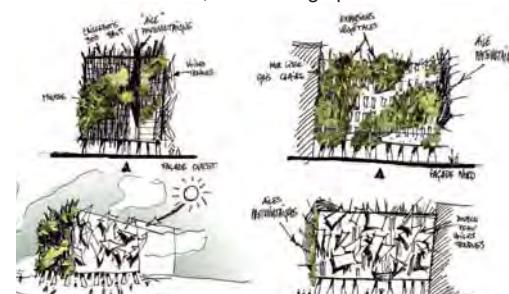
Chauffage - ventilation

| Poste            | Matériel  |
|------------------|---|
| Chauffage        | Pompe à chaleur géothermique sur parking                    |
|                  | Plancher chauffant basse température                        |
| Rafraîchissement | Freecooling sur parking                                     |
|                  | Récupération frigories après production d'ECS               |
| Production d'ECS | Pompe à chaleur sur air extrait                             |
|                  | Pompe à chaleur sur les eaux usées                          |
| Eclairage        | LED, P < 8 W/m <sup>2</sup>                                 |
|                  | Canons à lumière pour éclairage naturel en tout point       |
| Ventilation      | Logement : VMC simple flux Hydro b microwatt                |
|                  | Tertiaire : VMC double flux avec échangeur hôte performance |

Un système thermodynamique fonctionne sur la récupération des calories de l'air du garage (tempéré tout au long de l'année) et des capteurs géothermiques intégrés aux fondations : pieux ou radier. La chaleur sera diffusée par un plancher chauffant basse température à tous les niveaux.

La ventilation est à moteurs basse consommation :

- logements : simple flux hygroréglable de type 'b'
- bureaux : double flux avec récupération d'énergie, régulée en fonction de l'occupation.





### Fonctionnement général

EFFIBAT est un concept de bâtiment à performances BBC et à très bonnes performances économiques (1400 à 1600 € HT/m<sup>2</sup>). Le concept est destiné aux centres-villes et aux zones suburbaines. Un bâtiment EFFIBAT est compact, épais, à typologie spécifique à patios, et comporte 1 à 2 niveaux de parkings souterrains, un rez-de-chaussée de commerces ou activités de proximité, un étage de bureaux et de trois à six étages de logements.

Le système constructif est de type 'poteaux-dalles' avec contreventement latéral par les cages d'escalier. Une trame de poteaux de 3 m x 6 m porte de grands plateaux libres sans poutre et permet des déclinaisons variées des programmes par le jeu des cloisons. Cette structure peut contenir des logements de taille différente (T1 à T5 et duplex T4 à T6), des plateaux libres ou cloisonnés de bureaux et de commerces ainsi que des places ou 'box' de parkings.

L'enveloppe d'un bâtiment EFFIBAT a une isolation par l'extérieur très performante, sans ponts thermiques. Des équipements performants (ventilation naturelle et à échangeurs double flux, éclairage basse consommation, équipements sanitaires à faible débit) réduisent les besoins énergétiques. Une grande partie est apportée par panneaux solaires thermiques et photovoltaïques, pompes à chaleur, chaudières à gaz et à condensation.

EFFIBAT répond aux nouveaux modes de vie (cuisine technique et espace multimédia dans les logements), et aux enjeux de demain - économie, écologie, densité. Le concept favorise la mixité fonctionnelle, sociale et intergénérationnelle.

### Points forts

- Densité et continuité urbaine.
- Conception générique adaptable à différents contextes urbains et suburbains.
- Mixité des activités (habitat, tertiaire, commerces).
- Mixité sociale et intergénérationnelle.
- Performances BBC, haut niveau de performance énergétique (50 kWh/m<sup>2</sup>/an).
- Coûts d'exploitation réduits par les faibles consommations énergétiques.
- Structure poteaux-dalles permettant de nombreuses configurations ainsi que des transformations futures.
- Faible 'trace carbone' permettant une notable diminution des impacts environnementaux (-50% RT2005)
- Coût de construction 1400 à 1600 € HT/m<sup>2</sup>, inférieur au prix de construction en RT2005.



Déclinaison du concept EFFIBAT® pour la gamme des produits MODUL'HAB, Bureau 112 architectes

**EFFIBAT®**  
VERS UN BÂTIMENT EFFICIENT

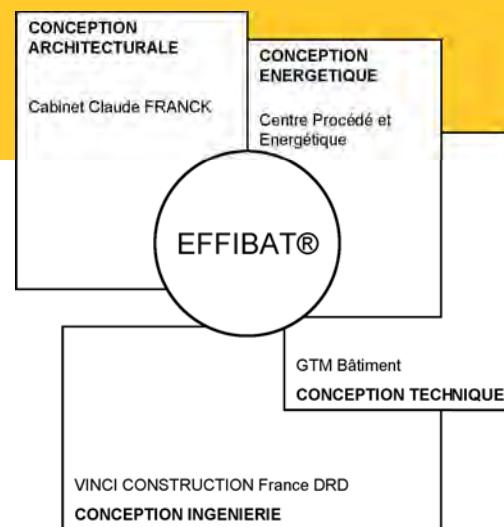
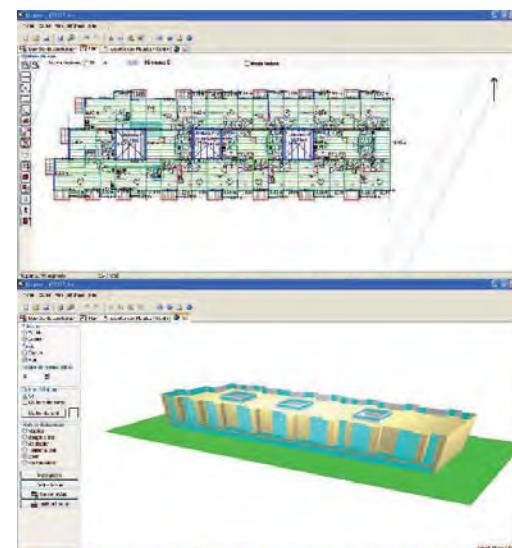


#### EQUIPE & DEMARCHE DE CONCEPTION

##### Convergence Reflexion Pluridisciplinaire

EFFIBAT® est l'œuvre d'une équipe pluridisciplinaire aux compétences complémentaires.

- Conception architecturale : Claude FRANCK
  - Energétique : Centre Procédé et Energétique
  - Technique : GTM Bâtiment
  - Ingénierie : VINCI CONSTRUCTION France DRD
- EFFIBAT constitue l'aboutissement de plusieurs démarches entreprises depuis une quinzaine d'années par les membres de l'équipe :
- méthodologie de conception générique déclinable dans le contexte propre à chaque opération,
  - procédé constructif 'Habitat Colonne' permettant un plan libre sur la base de plateaux à points ponctuels,
  - méthode de simulation dynamique pour aborder les évaluations énergétiques,
  - optimisation du processus de conception en privilégiant une capacité réflexive sur l'acte architectural.



##### Efficiency

EFFIBAT is associated with the idea of efficiency, the contribution of value for a minimization of impacts.

##### Efficiency = Values / Impacts

Efficiency is the result of four principles.

- Mixity of activities (commerce, tertiary, residential) to densify the island and combat urban sprawl.
- Compactness to respond to a high level of energy performance (50 kWh/m²/annum) and optimization of the facade ratio for an economic project.
- Adaptation to different urban contexts following the same technical solutions (series effect).
- Efficacy in energy ensuring a guarantee of operating costs for the inhabitant according to its uses. It is about offering enriched and varied living conditions at the neighborhood level (diversity of activities) but also improved comfort (elimination of cold walls, nocturnal ventilation in summer). The operating charges (energy economy) constitute a priority objective.

At the economic plan, the objective is to benefit from a series effect to reduce technical costs (material economy) while optimizing performance (ratio surface outside / useful surface) to make the product competitive and of quality.

#### SYSTÈME CONSTRUCTIF, STRUCTURE, ENVELOPPE

##### Structure

The structure ©HABITAT COLONNE is defined as the superposition of free floors supported by a regular grid of beams (6m x 3m). Transverse and longitudinal stability is ensured by the cage of stairs and by stability panels. This technical choice like that of the thickness allows a real superposition of activities without complex constraints: commerce, offices, dwellings, parking.



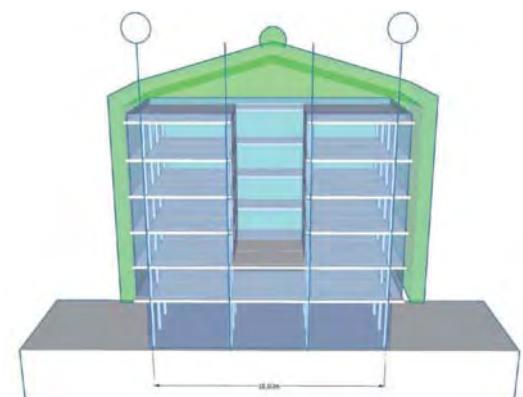
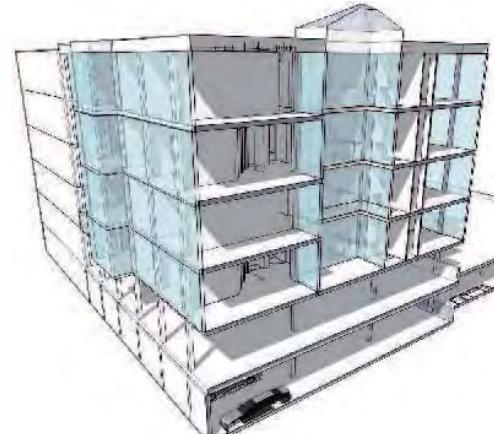
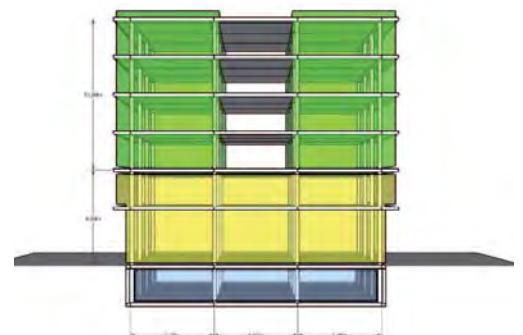
##### Envelope

The envelope is an industrialized covering associating:

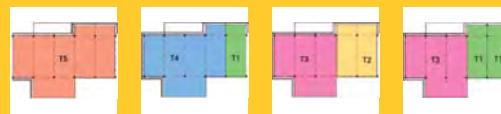
- exterior components ensuring a continuity of thermal insulation, eliminating linear bridges,
- a double interior calibré according to the context, allowing a completion of interior partitions.

A large choice of mineral or vegetal origin materials is possible on the exterior face.

Thanks to the compactness of the building it is possible to define a global envelope of the building in complete continuity which guarantees a high level of performance.



**NOUVEAUX STYLES DE VIE  
CONCEPTION INNOVANTE**



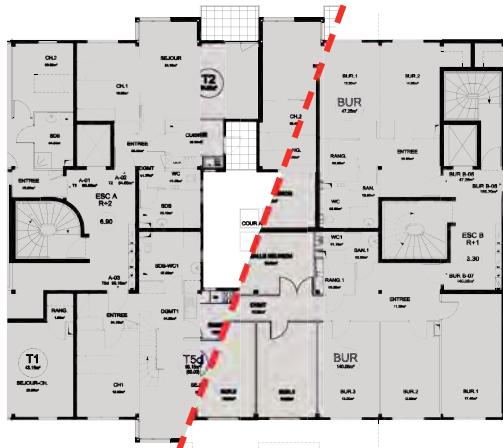
Typologie modulable des logements : T5, T4+T1, T3+T2 ou T3+T1+T1

**Nouveaux styles de vie**

L'intégration dans les logements de nouvelles fonctions prend en compte les nouveaux styles de vie et les avancées technologiques :

- 'cuisine technique' : local annexe de la cuisine dédié à l'électroménager et à la technique (machines à laver et à sécher le linge, congélateur, ballon ECS)
- 'espace média' : accueillant l'ordinateur, le boîtier ADSL, la chaîne Hi-Fi, le chargeur de piles, etc.,
- espace du logement facile à transformer : surfaces modifiables, possibilité d'aménager ou de meubler différemment les pièces plutôt que de re-cloisonner. Le cloisonnement est d'autant plus libre avec EFFIBAT que la structure est ponctuelle et peu encombrante.
- Le patio est conçu pour que les vis-à-vis ne concernent que des pièces de même nature ou dans le même logement. Sa profondeur de 6 mètres est similaire à une rue de centre-ville ce qui est acceptable en terme de vis à vis et permet la ventilation traversante.

Plan de principe - logements autour du patio sur un étage de bureaux



**Mixité sociale et intergénérationnelle**

Accueillir des familles, pouvoir offrir, en ville, une 'maison avec son jardin'. EFFIBAT permet de réaliser des duplex T4 à T6, avec de grandes terrasses-jardins, dont la typologie s'apparente aux pavillons. D'autre part, les familles recomposées ou monoparentales se multiplient, ce qui favorise la demande de logements de taille moyenne : T3 correspondent au nombre de personnes du foyer, ils préservent la vie de l'adulte et celle des enfants, et coïncident avec le pouvoir d'achat des habitants.

Accueillir des retraités ou de jeunes salariés, c'est leur offrir des logements optimisés (T2, T1), bien placés en ville, proches de leurs enfants ou de leurs parents. La proximité de personnes âgées et de familles monoparentales peut fournir des synergies entre les demandes de garderie et la volonté de l'aïeule d'être encore utile, ou d'avoir quelques ressources complémentaires. La mixité générationnelle renforce le lien social.

Renouvellement typologique



**RETOUR VERS LE CENTRE-VILLE**

**Insertion urbaine**

Un immeuble EFFIBAT est adapté au retour vers le centre-ville. La tension qui existe sur le marché du foncier de centre-ville a fait grimper les prix et nécessite de densifier les opérations pour les optimiser. Pour répondre à cette problématique, EFFIBAT est un bâtiment épais, dont la particularité est d'accueillir un large patio qui assure une ventilation traversante des logements. EFFIBAT est conçu pour être un immeuble à taille variable, idéalement R+4 et plus. La structure porteuse est simple, peu présente et peut accueillir différents types de programmations : habitat, stationnement de véhicules, locaux d'activités et commerces. En milieu suburbain, le caractère résidentiel vise à diversifier l'ilot en intégrant commerces, bureaux ou services de proximité ce qui favorise emploi et usages. L'organisation des espaces, les terrasses et les duplex autorisent un traitement diversifié des façades suivant le contexte local et les matériaux choisis.

Insertion urbaine



**Densité  
Mixité fonctionnelle  
Efficacité énergétique**

**Architectures multiples**

La conception structurelle 'poteaux et poutres noyées' permet de s'affranchir facilement des structures de façades. La façade est autonome. Elle est conçue avec isolation par l'extérieur et de multiples possibilités de finitions extérieures sans impact majeur sur la conception intérieure des logements : bois, enduit, métal...

Le faible impact de la structure verticale permet une grande liberté architecturale (choix des matériaux et des compositions), une adaptabilité aux nécessités et contraintes locales (règlements, vents et pluies dominants, mémoire du lieu, covisibilités, pérennité...). Elle permet aussi d'envisager assez simplement de futures restructurations de l'immeuble ou des évolutions.

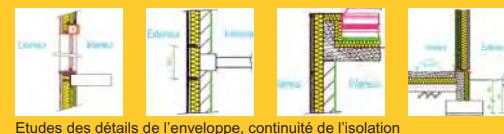
La standardisation des dimensions de la trame rend intégrables de nombreuses fonctions.

La liberté en façade permet de multiples approches techniques : de la mise en œuvre foraine au préfabriqué en atelier, voire des options industrialisées.

Insertion suburbaine



**Compacité  
Activités de proximité  
Efficacité énergétique**



## PERFORMANCES BBC

### Principales caractéristiques techniques

- Façades manteau : 16 cm d'isolant + plaque BA 13 intérieure.
- Plancher bas : 20 cm béton + 10 cm de polystyrène expansé en sous face du plancher.
- Toiture terrasse : 20 cm béton + 10 cm de polyuréthane en isolation sur la dalle.
- Cloisons légères entre les atriums et les logements : 10 cm de laine de verre entre deux BA 13.
- Double vitrage basse émissivité et lame d'argon (Ubaie = 1,3 W/m<sup>2</sup>/K), menuiserie PVC.
- Etanchéité à l'air réduisant les infiltrations à 0,1 volume par heure (0,6 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> sous 4 Pa).
- Ponts thermiques égaux à 160 W/K par niveau (isolation par l'extérieur, isolation des murs et refends sur une hauteur d'un mètre en dessous du sol, acrotères isolés, fenêtres dans le plan de l'isolant).
- Chauffage à air (génération par PAC, chaudière gaz condensation, chaudière bois ou chauffage urbain).
- Modules photovoltaïques en toiture selon la surface disponible en intégration et l'exposition au soleil.
- Eclairage à basse consommation électrique : bureaux (10 kWh/m<sup>2</sup>/an, soit 26 kWh ep/m<sup>2</sup>/an), et logements (3 kWh/m<sup>2</sup>/an soit 8 kWh ep/m<sup>2</sup>/an).
- Eau chaude sanitaire : des équipements sanitaires à faible débit permettent de réduire la consommation d'eau chaude de 30%, et un système solaire thermique (0,5 m<sup>2</sup> de capteurs et 50 litres de stockage par personne) fournit 50% de l'énergie nécessaire. La consommation est alors de 11 kWh/m<sup>2</sup>/an dans les logements et 2 kWh/m<sup>2</sup>/an dans les bureaux.
- Ventilation double flux avec échangeur d'efficacité 70% (sauf dans les commerces). En considérant le renouvellement d'air hygiénique et les infiltrations d'air, la consommation d'énergie est 3 kWh ep/m<sup>2</sup>/an dans les bureaux et 6 kWh ep/m<sup>2</sup>/an dans les logements.
- Sont nécessaires une pompe pour distribuer la chaleur produite par une PAC et une chaudière ou une sous-station de chauffage urbain pour alimenter les batteries chaudes d'un chauffage à air, induisant une consommation supposée de l'ordre de 4 kWh ep/m<sup>2</sup>/an.

### Performances économiques

Le coût de EFFIBAT en BBC (1400 à 1600 € HT/m<sup>2</sup> HA+utile), est inférieur au prix de construction en RT2005 et il peut être réduit avec un effet de volume.

- Eléments de surcoût : sur-isolation, équipements solaires, création du patio intérieur.
- Eléments d'économie : productivité du procédé HABITAT COLONNE, compacité du bâtiment, mutualisation des infrastructures.

Le coût d'exploitation est fortement marqué par les gains de consommations énergétiques.

| Besoins de chauffage annuels en kWh/m <sup>2</sup> | Façades orientées nord et sud |      |      | Façades orientées est et ouest |      |      |
|--|-------------------------------|------|------|--------------------------------|------|------|
|  | moy.                          | max. | min. | moy.                           | max. | min. |
| Logements des étages courants                      | 13                            | 19   | 1    | 14,5                           | 22   | 1    |
| Logements sous les toits                           | 16                            | 19   | 7    | 18                             | 26   | 8    |
| Bureaux  | 3,5                           | 6    | 1    | 4,5                            | 6    | 1    |
| Commerces  |                               | 9    |      |                                | 13   |      |
| Total  |                               | 11   |      |                                | 13   |      |

#### Tableaux de calculs thermiques

| Prise                  | Coût à projeter | Surfaces HT | Échangeur double flux |
|------------------------|-----------------|-------------|-----------------------|
| Façade extérieure (A1) | 0,95            | 160,00      | 0,28                  |
| Façade intérieure (A2) | 0,95            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A3)   | 0,27            | 160,00      | 0,18                  |
| Autres surfaces (A4)   | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A5)   | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A6)   | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A7)   | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A8)   | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A9)   | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A10)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A11)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A12)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A13)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A14)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A15)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A16)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A17)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A18)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A19)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A20)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A21)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A22)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A23)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A24)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A25)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A26)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A27)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A28)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A29)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A30)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A31)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A32)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A33)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A34)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A35)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A36)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A37)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A38)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A39)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A40)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A41)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A42)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A43)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A44)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A45)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A46)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A47)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A48)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A49)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A50)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A51)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A52)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A53)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A54)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A55)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A56)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A57)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A58)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A59)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A60)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A61)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A62)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A63)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A64)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A65)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A66)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A67)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A68)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A69)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A70)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A71)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A72)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A73)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A74)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A75)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A76)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A77)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A78)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A79)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A80)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A81)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A82)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A83)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A84)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A85)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A86)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A87)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A88)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A89)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A90)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A91)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A92)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A93)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A94)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A95)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A96)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A97)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A98)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A99)  | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A100) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A101) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A102) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A103) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A104) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A105) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A106) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A107) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A108) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A109) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A110) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A111) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A112) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A113) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A114) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A115) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A116) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A117) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A118) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A119) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A120) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A121) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A122) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A123) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A124) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A125) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A126) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A127) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A128) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A129) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A130) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A131) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A132) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A133) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A134) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A135) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A136) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A137) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A138) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A139) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A140) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A141) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A142) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A143) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A144) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A145) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A146) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A147) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A148) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A149) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A150) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A151) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A152) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A153) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A154) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A155) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A156) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A157) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A158) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A159) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A160) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A161) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A162) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A163) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A164) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A165) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A166) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A167) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A168) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A169) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A170) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A171) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A172) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A173) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A174) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A175) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A176) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A177) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A178) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A179) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A180) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A181) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A182) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A183) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A184) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A185) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A186) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A187) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A188) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A189) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A190) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A191) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A192) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A193) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A194) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A195) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A196) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A197) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A198) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A199) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A200) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A201) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A202) | 0,27            | 0,00        | 0,08                  |
| Autres surfaces (A203) | 0,27            | 0,00        | 0,0                   |



### Fonctionnement général

Le bâtiment-concept décline le scénario d'un habitat pluriel associant dans un objectif de mixité et de densité relative, des dispositifs de transferts de calories et de rayonnement des parois et enveloppes à éléments modulaires dérivés de la terre cuite et de la terre compressée. Le projet se présente comme une nappe de logements individuels denses entre lesquels s'insèrent des volumes dédiés à l'activité, au tertiaire ou à 'la pièce en plus' prolongeant l'habitat. Cette combinatoire de volumes chauffés de manière différentielle est associée à la composition de l'enveloppe en briques monolithes de hauteur d'étage et à celle des cloisons en terre crue compressée qui participent à la performance thermique et énergétique de l'ensemble. La cible de performance énergétique visée est de type Effinergie pour un niveau de densité équivalent à 100 logements à l'hectare.

La maison comme ensemble est décomposée en 'pièces et éléments' qui constituent le 'plan neutre'. Les pièces de la maison sont ramenées à une unité : un volume, une surface, un module, un climat. Le module 5.70m x 5.70m est à la base d'un plan 'neutre', flexible, extensible à l'infini. Les mêmes pièces composent différentes typologies de maisons : maison à patio, maison en L, maison tour, maison tunnel, maison en croix.

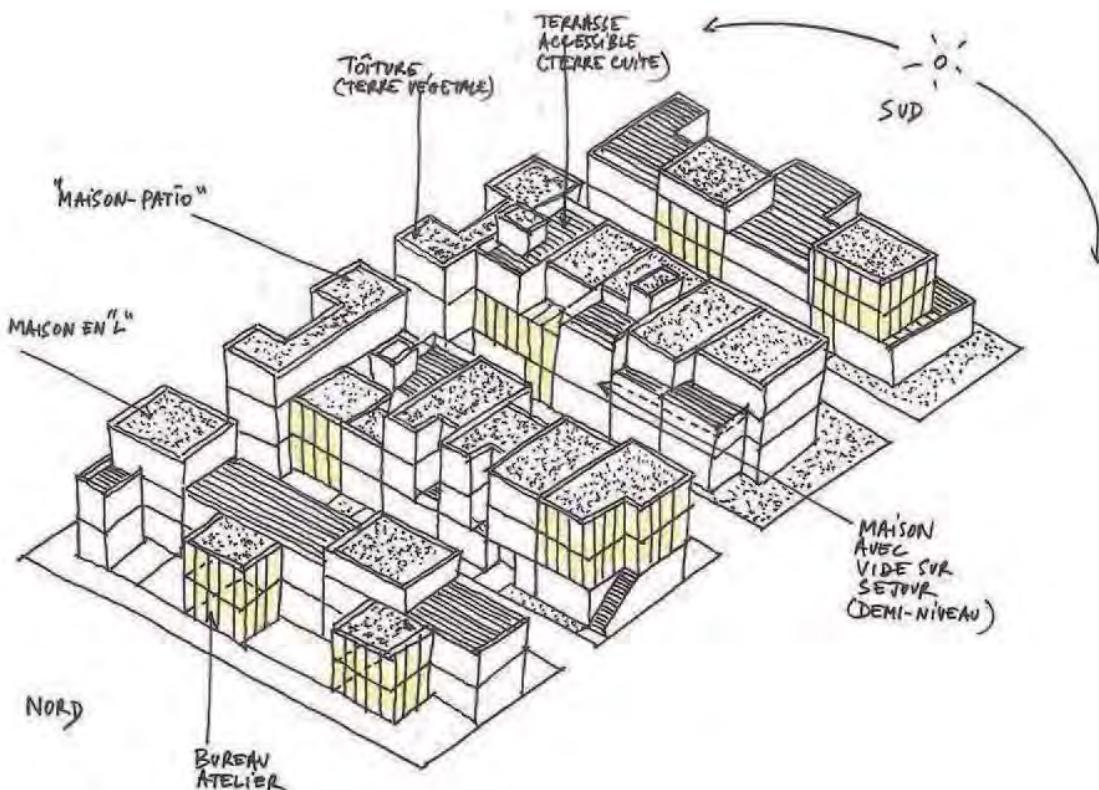
A l'échelle de l'ilot et du quartier, ce plan neutre permet une évolution (extension ou recomposition) tout en gardant des qualités thermiques qu'il est possible d'optimiser.

### Points forts

- Modularité et flexibilité tant au niveau logement qu'à l'échelle urbaine.
- Priorité donnée aux systèmes énergétiques passifs.
- La qualité intrinsèque du bâti permet de générer une économie de besoins énergétiques.
- Les principes constructifs : brique de hauteur d'étage, brique 'mono mur', briques de terre crue.
- La capacité de stockage hygrométrique de la terre permet de réduire les pics d'humidité et les débits d'extraction d'air dans le logement.
- Les capacités d'accumulation thermique des matériaux terre cuite et terre crue permettent le stockage et les transferts de chaleur entre l'habitat et les locaux d'activités occupés dans des temps successifs.



## Bâtiment-concept Habitat pluriel, terre et temporalités



## EQUIPE &amp; DEMARCHE DE CONCEPTION



## Une équipe concourante

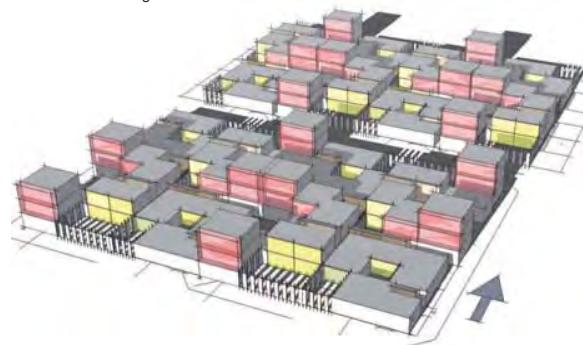
- TECTÔNE : Sabri BENDIMERAD et Pascal CHOMBART DE LAUWE
- RFR éléments : Benjamin CIMERMAN, Maxime CARRE, Pierre JAGER
- TERREAL : Isabelle DORGERET

Terre, temporalités, habitat pluriel, 'pièce en plus', maille élémentaire, plan neutre, évolutivité sont les mots clefs du concept. L'approche systémique concilie toutes les échelles de l'habitat (du domestique à l'échelle du territoire). L'efficacité énergétique dépend du confort et du ressenti des habitants. La dimension tactile et la conception passive sont les priorités de la démarche.

## Adaptabilité et évolution

A l'échelle de l'îlot et du quartier, le plan neutre permet une évolution (extension ou recomposition) tout en gardant des qualités thermiques. La récupération directe passive de l'énergie solaire associée à une bonne isolation extérieure du bâti constitue la méthode la plus efficace et la moins coûteuse pour réaliser des logements à basse consommation d'énergie. Compacité du bâti et ouverture sur l'extérieur pour capter la lumière naturelle, récupération solaire, habitabilité et densité sont optimisées pour toutes les typologies.

Assemblage urbain



## Le plan neutre, un dispositif à réactiver

Repartir de la pièce pour concevoir l'habitat de demain dense et économique en énergie est une nécessité autant qu'un résultat. Ceci suppose un cadre de production et génère une méthode d'assemblage et de déclinaison du 'plan'.

Les architectes qui ont exploré les potentialités du 'plan neutre' l'ont logiquement associé à un principe constructif modulaire. Le concept se caractérise par un travail de réassemblage du plan de la maison à partir de la 'pièce' comme matrice de l'espace domestique, maille élémentaire d'un ensemble plus vaste. Le 'plan neutre' fait partie de l'héritage moderne en tant que modèle d'investigation du logement. Il permet une grande variabilité des partitions de l'espace domestique, des recombinations multiples, une certaine latitude pour la réaffectation des usages ainsi que l'individualisation des pièces. Il a aussi pour avantage d'intégrer de fait une évolutivité limitée de la maison puisque chaque pièce du logis peut au gré d'une réorganisation à venir, se transformer en 'une pièce en plus' comme emblème de l'habitat individuel. L'évolution des modes de vie, le vieillissement de la population, la complexification de l'organisation familiale et des situations générationnelles, le rapport à la mobilité des habitants rendent nécessaire l'évolutivité de l'espace domestique.

Extensibilité de l'assemblage urbain



## TERRE &amp; RESULTATS THERMIQUES

## Simulation thermique

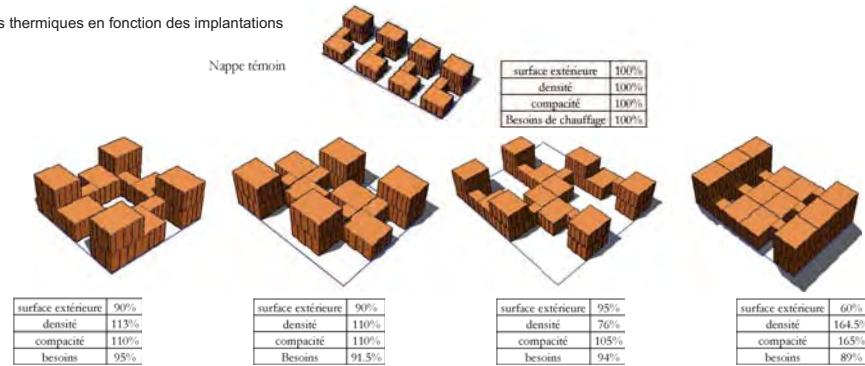
La simulation thermique à différentes échelles a permis d'évaluer la performance et d'alimenter les choix de conception :

- Echelle de la paroi : transmission de chaleur à travers une brique selon sa géométrie et la nature de ses composants, simulation des transferts hygrométriques.
- Echelle du bâtiment : simulations thermiques dynamiques de logements à plusieurs pièces, transferts thermiques par les parois entre logements et activités.
- Echelle urbaine : forme de l'îlot par rapport aux masques solaires, orientations pour l'optimisation des apports solaires, comparaison en bilan énergétique des mitoyennetés.

La simulation thermique permet de comparer et d'optimiser des options architecturales et constructives. Les termes de la comparaison sont la densité (rapport de la surface bâtie à celle de la parcelle) et la compacité (rapport de la surface habitable à celle des parois en contact avec l'extérieur, y compris toit et dallage). Les besoins énergétiques sont évalués avec un logiciel de simulation thermique dynamique Bsim.

Les résultats indiquent une variation des besoins de chauffage de 6% entre les cas extrêmes (95%-89%), une différence de surface extérieure proche de 40% pour le 4ème assemblage par rapport au témoin.

Simulations thermiques en fonction des implantations



## Qualités de la terre dans tous ses états

L'argile, abondante et naturelle, est la matière première des terres cuites et des terres crues.

La terre cuite a une grande résistance mécanique et contribue à l'inertie thermique du bâtiment. La brique à hauteur d'étage répond également au principe de construction modulaire qui permet la minimisation des ponts thermiques. La terre cuite est 100% minérale, ne contient aucun composé organique ou élément nutritif pour les moisissures, ce qui contribue à créer un environnement sain et confortable.

La terre crue, transformée par compression et stabilisation avec un liant hydraulique, est un excellent régulateur thermique. Elle est recyclable. Elle régule la température grâce à son inertie thermique et c'est également un bon isolant phonique. Sa sensation tactile douce et agréable en fait un produit de parement intéressant.

Pour s'adapter au projet architectural, l'équipe a dénombré plusieurs types de parois destinés :

- à renforcer la résistance thermique en paroi nord,
- à la captation réversible de la chaleur en paroi sud,
- à faciliter les échanges thermiques en partition.

L'analyse du matériau 'terre' a permis de développer des solutions existantes : brique de hauteur d'étage, brique 'mono mur', briques de terre crue.

## USAGE ET QUALITÉS ENVIRONNEMENTALES

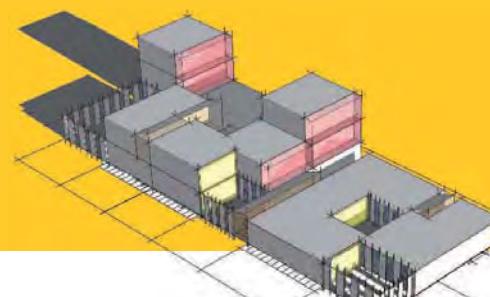
## Confort climatique adaptatif

Le 'bâtiment-concept' se donne des seuils de confort en hiver différents des pratiques habituelles : température de confort à 20°C pour les pièces de vie, salon, séjour, mais dans d'autres pièces comme les circulations, la température fluctue avec les apports solaires passifs et bénéficie du rayonnement des masses thermiques des parois. Redonner à l'habitant des sensations de variations de climat intérieur dans un 'parcours' lui permet de s'adapter à des usages différents, à des activités physiques et à des niveaux d'habillements différents. Le paradigme d'un intérieur où le corps humain perçoit des stimuli sensoriels thermiques et lumineux, sujets à variation selon le climat extérieur (température, ensoleillement, vent) donne du sens à un bâtiment environnemental et ouvre de nouvelles pistes d'économies d'énergie.

Le projet intègre des mécanismes passifs à la qualité des dispositifs architecturaux et urbains. Un habitat solaire passif est peu assujetti à des performances de détail de bâti (étanchéité à l'air, continuité de l'isolant) et à des systèmes mécaniques (rendements réels, régulation réelle en fonctionnement).

Les besoins énergétiques recherchés découlant de ces principes de conception et de cette approche du confort sont raisonnablement réduits.

Perspective intérieure vers le patio



Coupe longitudinale, îlot de 5 maisons individuelles



Plan du premier étage, îlot de 5 maisons individuelles



Plan du rez-de-chaussée, îlot de 5 maisons individuelles



Perspective intérieure vers le patio



## VILLE ET APPROCHE ARCHITECTURALE

## Insertion urbaine et densité relative

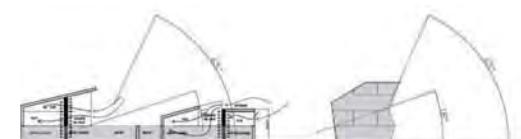
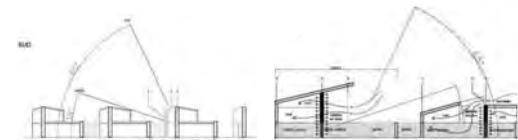
A l'échelle urbaine, le 'bâtiment-concept' est inclus dans un quartier de type lotissement suburbain, tracé suivant une trame régulière rectiligne basée sur la 'maille élémentaire', pièce ou module de l'unité de vie. Les possibilités d'assemblage sont nombreuses et complexes : superpositions, dos à dos, simples et double contigüités. Trois typologies ont été explorées :

- maison en 'tunnel' avec trame étroite (4,5m) et profonde >10m) : linéaire de façade peu important par rapport à la surface au sol et mitoyennetés répétitives,
- maison épaisse (18m) à patio, partiellement extensible à R+1 : contigüités plus ouvertes,
- plan 'neutre' basé sur une pièce de 5,4m x 5,4 conçue comme une maille élémentaire.

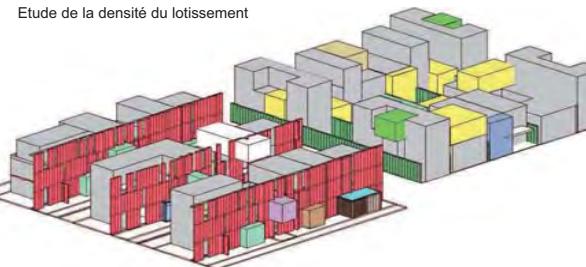
Le projet intègre une réflexion sur la densité qui permet de limiter les masques d'un bâtiment sur l'autre. L'îlot offre des orientations Sud pour chaque pièce de vie des logements. Les maisons de ville comportent de nombreuses mitoyennetés qui économisent une partie des déperditions thermiques.

Le bâtiment concept permet plusieurs typologies de maisons et différentes possibilités d'assemblage. Les densités envisagées sont de l'ordre de 100 logements/hectare ce qui correspond à la densité d'autres projets de lotissements de l'époque moderne.

Etudes de l'ensoleillement au sein de l'îlot



Etude de la densité du lotissement



Insertion urbaine et végétation en cœur d'îlot



Insertion suburbaine



## FONCTIONNEMENT TECHNIQUE DU BÂTIMENT

## Enveloppe : terre cuite

L'objectif du concept à la fois de diminuer les déperditions (résistance thermique) et d'améliorer le confort d'été (inertie thermique).

Le meilleur compromis entre thermique d'hiver et d'été est celui de la brique monolithique isolée (BMI) à laquelle on ajoute une paroi constituée de Briques de Terre Compressée (BTC). La résistance thermique est privilégiée pour les parois ne bénéficiant pas d'apports solaires. Les choix constructifs sont étudiés en termes d'énergie de fabrication des composés de parois opaques ; la terre crue est très intéressante sur ce plan.

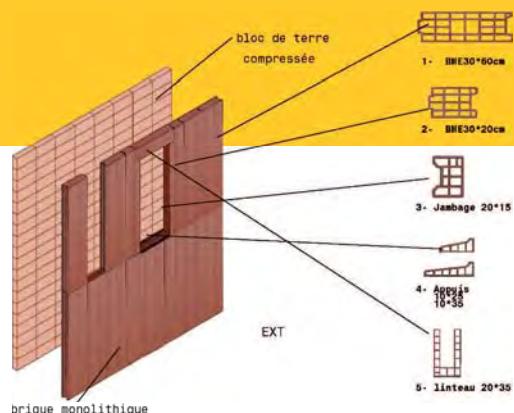
Une solution à plus long terme sera une brique 'multi-alvéolée' ou brique remplie d'un isolant moins énergivore : argile expansée, laine de bois. Cette solution nécessite une phase de développement plus longue.

En résumé, l'enveloppe envisagée est la suivante :

- Nord : BMI de hauteur d'étage, composées dans leur épaisseur d'un parement extérieur brique de terre cuite 10cm + polystyrène extrudé 5 à 10cm + brique en terre cuite 15cm + brique en terre crue 5cm.
- Sud : 3 systèmes pour la récupération des apports solaires : larges baies vitrées, murs capteurs et serres
- Toiture : isolation laine minérale 12cm.
- Mur de refend intérieur en terre cuite avec remplissage isolant + parement terre crue 5cm de chaque côté.

Composition de l'enveloppe

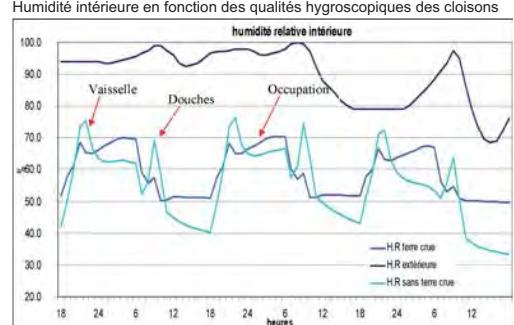
| NATURE | PERFORMANCE                                      | COMPOSITION  |
|--------|--|--|
|        | Mur (BMI)<br>$U= 0.22 \text{ W/m}^2\text{.K}$    | extérieur Terre cuite int (15cm) + isolant polystyrène (10cm) + terre cuite ext. (5cm)                           |
|        | Mur intérieur (Cloison)                          | 5 cm de terre crue   |
|        | Plancher bas<br>$U= 0.29 \text{ W/m}^2\text{.K}$ | Béton (10cm) + isolant laine de verre (10cm)<br>$\lambda = 0.032 \text{ W/m}^2\text{.K}$                         |
|        | Toiture<br>$U= 0.25 \text{ W/m}^2\text{.K}$      | Béton (10cm) + Panneau semi-rigide à dérouler en laine de verre (12 cm) $\lambda = 0.032 \text{ W/m}^2\text{.K}$ |
|        | Fenêtre<br>$U= 1.6 \text{ W/m}^2\text{.K}$       | D.V traité menuiserie bois<br>$g=0.6$ TL=75%   |



## Cloisons hygroscopiques : terre crue

Les briques comprimées en terre crue dont sont composées les cloisons et l'épaisseur intérieure de l'enveloppe sont capables d'absorber la vapeur d'eau. La paroi perméable à l'humidité permet d'évacuer la vapeur d'eau sans avoir recours à la ventilation. En associant les caractéristiques hygroscopiques de la terre crue à une ventilation hygroréglable, l'air est renouvelé où et quand il le faut, assurant confort et hygiène pour les occupants. Le système comporte des bouches d'extraction et des entrées d'air asservies à l'humidité du logement. Le système adapte en permanence les débits d'air aux besoins réels de chaque pièce.

En diminuant les pics d'humidité, on diminue les besoins de ventilation et les consommations de chauffage à cause des déperditions par renouvellement d'air.



## PERFORMANCES ÉNERGETIQUES

## Systèmes énergétiques passifs

Trois systèmes énergétiques passifs de parois climatisées permettent de récupérer les apports solaires :

- Gains directs par les vitrages.** L'énergie solaire entrant dans le local à travers la baie est absorbée par les parois et les objets intérieurs, et local a tendance à s'échauffer. L'été, une protection extérieure (store screen) couvrira la façade et coupera le rayonnement solaire.
- Mur capteur.** Le rayonnement solaire est valorisé par effet de serre, en disposant un vitrage devant un mur. L'énergie solaire est transmise par conduction à travers le mur, avec un déphasage de 8 heures qui permet de chauffer la pièce au moment où il n'y a plus de soleil. En raison des pertes du mur capteur durant la nuit, il faut mettre en œuvre un double vitrage. En été, des ouvrants haut et bas permettent à l'air de circuler et un rideau recouvre le vitrage pour éviter la surchauffe.

- Serre habitable accolée à une maçonnerie.** Les apports solaires et les déperditions à travers le vitrage sont équilibrés. En journée, le shed surélevé permet de récupérer une partie des apports en évitant les masques. Ce principe permet d'éviter de chauffer les parties communes et de leur apporter la lumière naturelle suffisante pour se passer d'éclairage artificiel pendant la journée.

Le plancher lourd (béton ou terre crue) est directe-



Etude de l'ensoleillement, ombres portées, 21 décembre

ment impacté par le rayonnement qui traverse le vitrage. On évitera donc tout revêtement (moquette, faux plancher...) empêchant cette récupération. Les pièces à vivre sont donc chauffées pendant la journée grâce aux apports solaires directs puis enfin de journée, grâce à l'inertie de la dalle.

Les simulations sur l'implantation et sur l'ensoleillement permettent de choisir une exposition aux rayonnements solaires sans subir d'ombrage du bâtiment voisin, même pendant l'hiver. Une architecture adaptée permet de limiter les besoins d'éclairage et de chauffage, tout en limitant les apports d'été.

## Systèmes énergétiques actifs

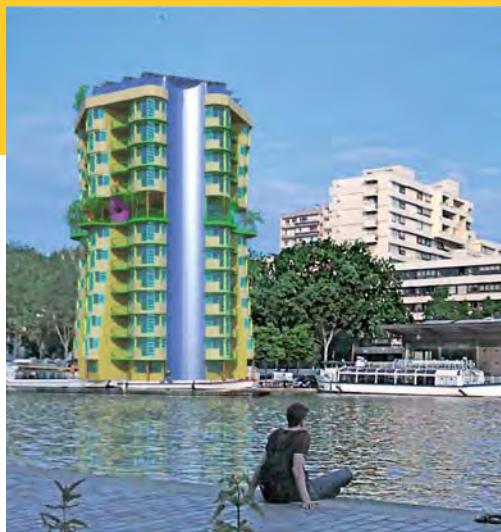
- Ventilation** : simple flux hygroréglable, entrée d'air neuf par l'espace en plus. Le choix et le réglage des bouches hygroréglables pourra être affiné afin d'optimiser les débits en fonction des propriétés de la terre crue vérifiées in situ (potentiel étalonnage des débits).
- Chauffage** : production à préciser, à priori distribution hydraulique et émission par rayonnement. Le mode de production peut être modifiable en fonction du contexte d'approvisionnement énergétique (bois, solaire actif, gaz, électricité...).

Systèmes énergétiques passifs : larges baies, murs capteurs et serres



Estimation des besoins énergétiques

|              | Energie finale (kWh/m².an) | Energie primaire (kWhep/m².an) |
|--------------|----------------------------|--------------------------------|
| Chaudage     | 18 kWhel/m².an             | 18 kWhep/m².an                 |
| Auxiliaire   | 0,5 kWhel/m².an            | 1,3 kWhep/m².an                |
| Éclairage    | 4 kWhel/m².an              | 10 kWhep/m².an                 |
| <b>TOTAL</b> | <b>22,5 kWhel/m².an</b>    | <b>29,3 kWhep/m².an</b>        |



Les formes de la nature ont inspiré l'architecture de cet édifice

### Une équipe concourante

- Arthic - Architecture (contact : [arthic@batimax.fr](mailto:arthic@batimax.fr))
- Lignatec-KLH - Industrie du Bois
- Costic - BET Thermique
- Steuerwald - BET Structure
- Écobanques - Économiste
- CNDB - Partenaire

### CONCEPT : Autonomie solidaire

Le concept post-copernicien d'autonomie solidaire, mis en œuvre dans cette architecture décrit une situation individuelle dans un espace-temps partagé. Ce modèle révoque celui de la croissance et du centralisme. Il est plutôt fluide et saisonnier, local et interactif. Tout écosystème est autonome et solidaire.

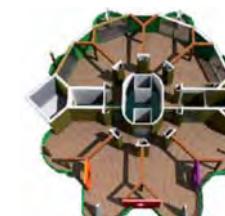
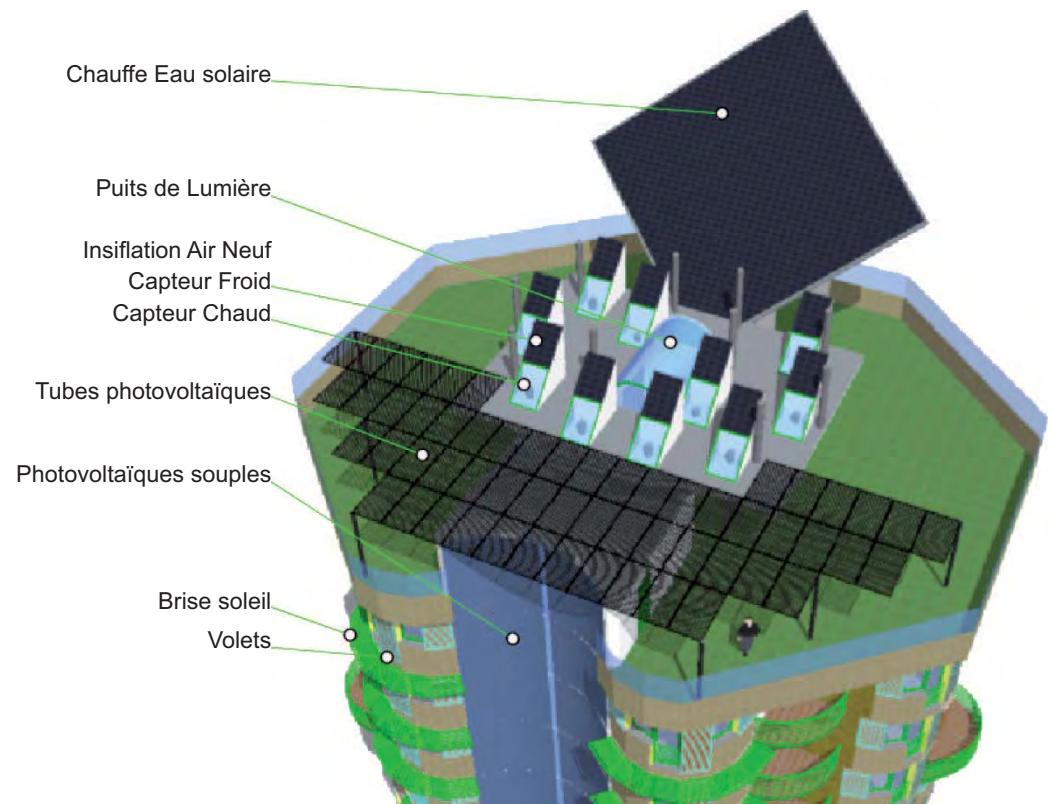
### Points forts

- Architecture de forme compacte.
- Très haute isolation thermique.
- Chauffage et climatisation par échangeur thermodynamique individuel.
- ECS solaire + chaudière d'appoint (gaz).
- Production d'électricité photovoltaïque.
- Bilan carbone : l'immeuble stocke 1100 t de CO<sub>2</sub> !



# ECOLOCATIF en BOIS

## Autonomie solidaire



## EQUIPE & DEMARCHE DE CONCEPTION

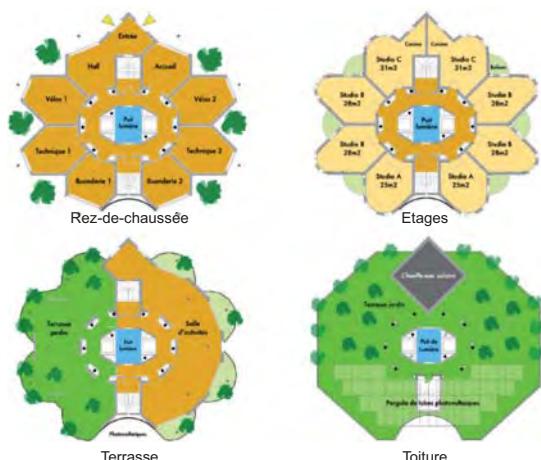
## Insertion urbaine

L'architecture organique et les technologies durables qui ont été expérimentées peuvent s'appliquer à différentes situations. Les fondations sont fonction du lieu, la puissance du chauffage et du rafraîchissement est modulable. Cet immeuble isolé se place sur un terrain dégagé, mais peut prendre une autre forme pour s'insérer, avec les mêmes dispositifs, dans un tissu urbain.

## Habiter autrement

Dans cet immeuble, les locataires logent dans des studios de 25 à 31m<sup>2</sup>. Ils partagent buanderie, garage à vélos, terrasse, salle d'activités et toiture jardin.

La colocation est pratiquée dans les villes par des étudiants, des célibataires, des jeunes et des personnes âgées. L'habitation est vécue de façon personnelle et partagée. On se retrouve l'été sous la pergola du jardin en toiture, un ping-pong sur la terrasse, une expo dans la salle d'activités, quelques fêtes aussi. Au centre, un puits de lumière réunit visuellement les étages en éclairant les couloirs. On y transite par des ascenseurs vitrés.



## Construire en bois

Cet édifice en bois est une construction sèche, non maçonnée. Les murs et les dalles sont en bois massif lamellé collé. Les façades courbes sont préfabriquées en ossature bois, et posées entières sur le chantier. Ce processus de construction est rapide du fait de la meilleure précision, il ne nécessite pas de temps de séchage et assemble des parties entières (murs, dalles, façades). Les balcons sont en acier galvanisé. L'immeuble en bois fait 12 niveaux. Cette hauteur est possible grâce à de nouveaux procédés et matériaux de construction : les murs et dalles en bois massif lamellé-collé ont des propriétés structurelles capables de cette performance. Un édifice de cette technologie résiste à un tremblement de terre de magnitude 7 (Kobé). Les chantiers en bois sont plus courts, la préfabrication peut se faire par des machines à commandes numériques, ceci implique une économie du coût de construction. La filière bois - construction, réseau interactif d'entreprises décentralisées, dispose d'un niveau de formation et de communication élevé, de technologies récentes et répond aux critères de l'économie durable.

## Enveloppe et consommation

| Enveloppe |  |
|-----------|--|
| Structure | Bois et murs massifs en lamené collé bois ( conductivité = 0.1 W/m <sup>2</sup> K <sup>1</sup> ) |
| Isolation | Laine de roche (épaisseur sur mur 14 cm)   |
| Fenêtre   | Double vitrage isolant (U=0.13 W/m <sup>2</sup> K <sup>1</sup> )                                 |
| Bilan     | Kevelope très isolante à inertie très légère   |

| Consommation   |                   |  |
|----------------|-------------------|--|
| Chaudage       | Basins            | 335 kWh/an soit environ 12 kWh/m <sup>2</sup> an)  |
|                | Consommation      | 83 kWh/an soit environ 10 kWh (énergie électrique) |
| ECS            | Basins            | 860 kWh/an   |
|                | Consommation      | 1 220 kWh/an                                       |
| Photovoltaïque | Surface installée | 350 m <sup>2</sup>                                 |
|                | Production        | 35 000 kWh/an                                      |

## FONCTIONNEMENT TECHNIQUE DU BÂTIMENT

## Energie à 0,00 euros

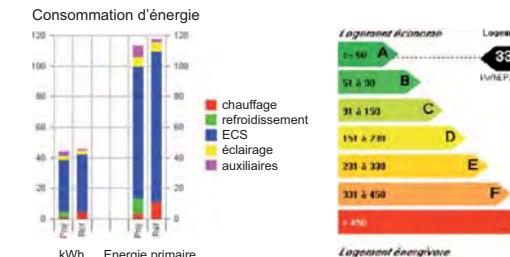
Ce bâtiment dépense autant d'énergie qu'il en produit. Sa forme est compacte. L'isolation thermique est très élevée, et les parois en bois ont peu d'inertie. L'immeuble conserve la température et nécessite très peu de consommation. L'énergie solaire est captée et utilisée. L'eau de pluie est collectée pour les terrasses-jardins.

## Energie solaire thermique : ECS

Le chauffage de l'eau sanitaire est fourni principalement par un chauffe-eau solaire collectif en toiture. Il est complété par une chaudière au gaz en appont.

## Electricité solaire photovoltaïque

Pour alimenter l'immeuble en électricité, deux types de capteurs photovoltaïques ont été sélectionnés. Des capteurs souples NANOSOLAR s'adaptent à la forme des façades, fabriqués en rouleau continu avec des nanoparticules. Des tubes SOLYNDRa espacés, posés à plat en pergola au-dessus de la partie sud de la toiture jardin, offrent un maximum d'orientation et peu de prise au vent. Surface totale des photovoltaïques : 356 m<sup>2</sup>. La production électrique est vendue au réseau (pas de stockage). Selon le prix de rachat de l'électricité produite qui peut varier de 30 c€/kWh à 55 c€/kWh, les gains économiques par le photovoltaïque vont, à l'échelle d'un studio, de 87 à 111 €/an. Le temps de retour sur investissement PV varie entre 12 et 16 ans.



## Chauffage - ventilation

Un faible apport thermique est suffisant pour cet habitat hyper isolé, et le débit d'air chaud ou frais nécessaire est sensiblement égal à celui du renouvellement de l'air neuf, la chaleur ou la fraîcheur est distribuée individuellement dans les conduites de l'air neuf. Un dispositif à double flux (type Températion-ALDES) renouvelle l'air de chaque logement tout en le chauffant ou en le rafraîchissant, et récupère les calories de l'air extrait pour réchauffer l'air neuf. Ce système restitue trois fois plus d'énergie utile que d'énergie consommée. L'installation est simple et la maintenance aisée. La régulation est individuelle.

## Coûts du bâtiment

Le bâtiment Ecolocatif en bois a une surface hors œuvre nette de 3500 m<sup>2</sup> distribuée comme suit :

- 12 étages : hauteur 35 m
- 30 studios de 25 à 31 m<sup>2</sup>
- rez-de-chaussée 310 m<sup>2</sup>
- terrasse jardin 170 m<sup>2</sup>
- salle d'activités 140 m<sup>2</sup>
- toiture jardin 470 m<sup>2</sup>
- SHON = 3500 m<sup>2</sup>.

Le coût total du bâtiment s'élève à 5 702 918 € HT soit 1630 € HT / m<sup>2</sup>.

|                       | Montant HT           |
|-----------------------|----------------------|
| STRUCTURE BOIS        | 1 654 942 €          |
| MAÇONNERIE            | 250 218 €            |
| ÉTANCHEITÉ COUVERTURE | 73 405 €             |
| PLATRERIE, ISOLATION  | 649 085 €            |
| MENUISERIE EXTERIEURE | 664 445 €            |
| MENUISERIE INTERIEURE | 288 805 €            |
| ÉLECTRICITÉ           | 470 927 €            |
| PLOMBERIE             | 454 152 €            |
| GÉNIE CLIMATIQUE      | 216 809 €            |
| ASCENSEURS            | 97 042 €             |
| SOLS SOUPLES          | 179 392 €            |
| BARDAGE               | 527 007 €            |
| PEINTURE              | 176 683 €            |
| <b>Total HT :</b>     | <b>702 917 €</b>     |
| Prix m2 HT            | 1 630 €              |
| SHON                  | 3 500 m <sup>2</sup> |

| Bilan économique   |                                  |  |             |
|--|----------------------------------|--|-------------|
| ● Bilan énergétique de l'immeuble  | kWh/m <sup>2</sup> .an           |  | Label       |
| 1 – Avec climatisation   | 43                               |  | BBC Effiner |
| 2 – Climatisation naturelle  | 33                               |  | BBC Effiner |
| ● Bilan économique par studio  | eur/m <sup>2</sup> /an           |  |             |
| 1 – Avec climatisation   | 17€                              |  |             |
| 2 – Climatisation naturelle  | 0€                               |  |             |
| * Calcul réalisé sur la base d'une vente de l'électricité au réseau EDF. |                                  |  |             |
| ● Photovoltaïques : Production électrique                                | 35 000 kWh/an                    |  |             |
| ● Bilan carbone : <i>Cet immeuble stocke</i>                             | 1100 tonnes de CO <sub>2</sub> ! |  |             |



Point de vue sur la ville : 'Lost in translation' de Sophia Coppola, 2004

## Fonctionnement général

Le 'building concept' n'est ni un objet technique, ni la recherche d'un niveau de performance donné, mais une problématique d'interaction entre une manière d'habiter contemporaine et un enjeu d'efficience énergétique. La neutralisation du paramètre de la paroi froide à priori affecté à la façade nord, remet en cause la manière conventionnelle de penser la cellule logement, l'affection et la réversibilité de l'immeuble comme la manière de faire la ville, dans la pluralité de ses situations. Le projet consiste en un bâtiment à 3 à 7 niveaux orienté nord-sud entre deux murs mitoyens. Le rez-de-chaussée abrite des commerces ou des services, les étages accueillent des logements ou des bureaux. Le plan est libre, il permet différentes configurations intérieures et une adaptabilité fonctionnelle pour le futur. Le concept associe une structure en béton armé pour la trame centrale de circulations, gaines et pièces humides, et un complexe innovant en bois-béton pour les dalles constituant des plateaux libres.

Des espaces tampons ('lames d'air') protègent les appartements en façade nord. Des 'jardins d'hiver' répartis sur toute la façade sud sont des pièces de vie en été et en mi-saison, elles participent à la thermique en hiver. Les façades sont entièrement vitrées au Nord et les pièces peuvent être traversantes. La proposition reconSIDÈRE les paramètres de confort.

Elle n'utilise pas le cadre et les composants proposés par la réglementation thermique actuelle pour atteindre le niveau attendu (BBC). Les objectifs passent d'abord par une évaluation de l'ordre du confort (thermique, lumière, espace, adaptabilité...). Une gestion dynamique de la thermique est mise en place et les équipements technologiques sont utilisés le moins possible.

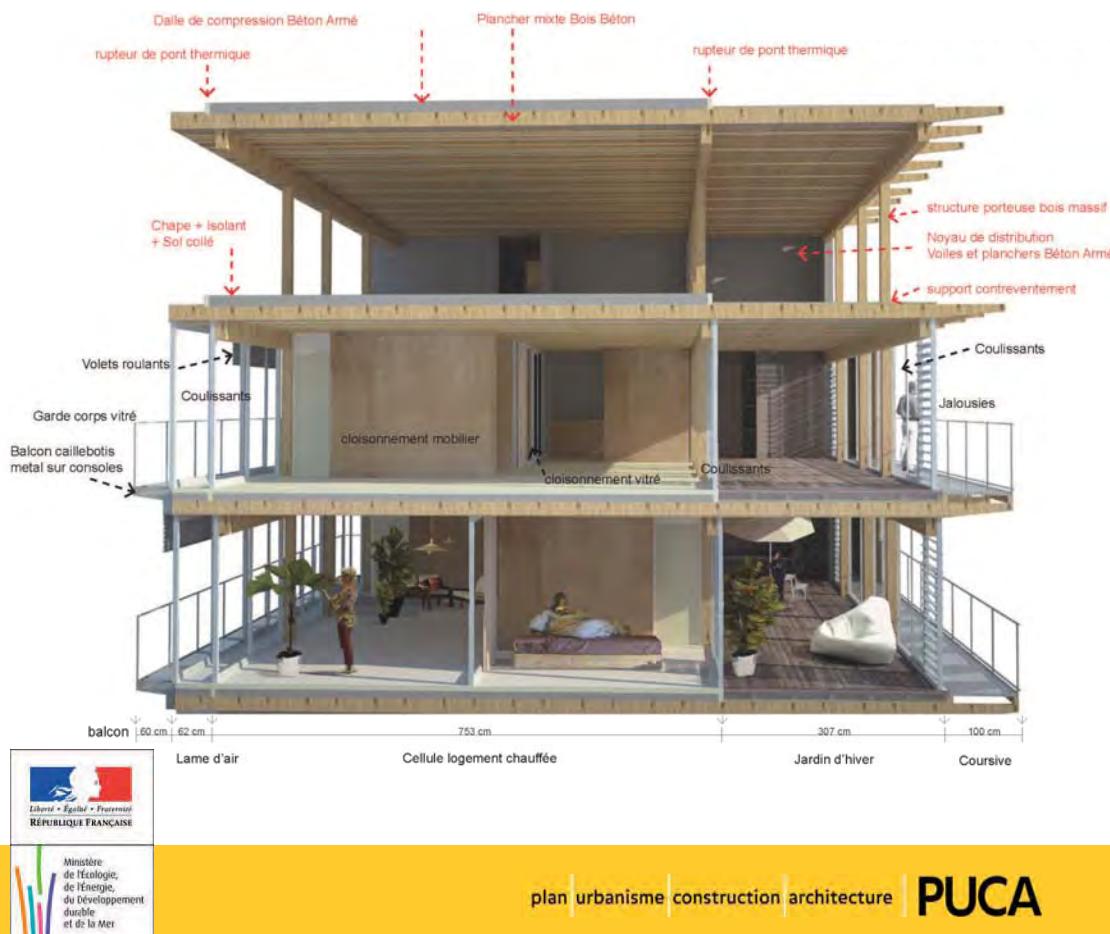
## Points forts

- Mots clefs : adaptabilité aux conditions urbaines, neutralisation de la paroi froide à priori nord, confort d'usage, circulation de l'air NS, confort d'hiver et confort d'été et performances énergétiques, durabilité = évolutivité, durabilité = modularité et concept bois-béton.
- Problématique d'efficience énergétique partant du confort de l'utilisateur : espace flexible, adaptabilité dans le temps, thermique et lumière.
- Concept multipliant la possibilité d'insertion urbaine.
- Structure béton-bois innovante et performante : plancher poutres bois en support d'une dalle de compression, isolant et chape béton.
- Approche de la performance énergétique basée sur un principe de transfert des calories N/S.
- Accent mis sur la réversibilité des fonctions dans le temps, la mixité des activités et des typologies.
- La durabilité a pour objectif le confort des utilisateurs, ainsi l'appropriation des plateaux traversant vise un 'espace idéal' pour chacun : dispositifs mobiles par une combinaison de meubles-cloisons et de parois coulissantes vitrées ouvrant largement sur l'extérieur.



# Optimisation de la façade Nord

Recherche urbaine et technique sur l'immeuble de logement collectif durable : reconsideration des paramètres de confort



EQUIPE  
DEMARCHE DE CONCEPTION

## Equipe

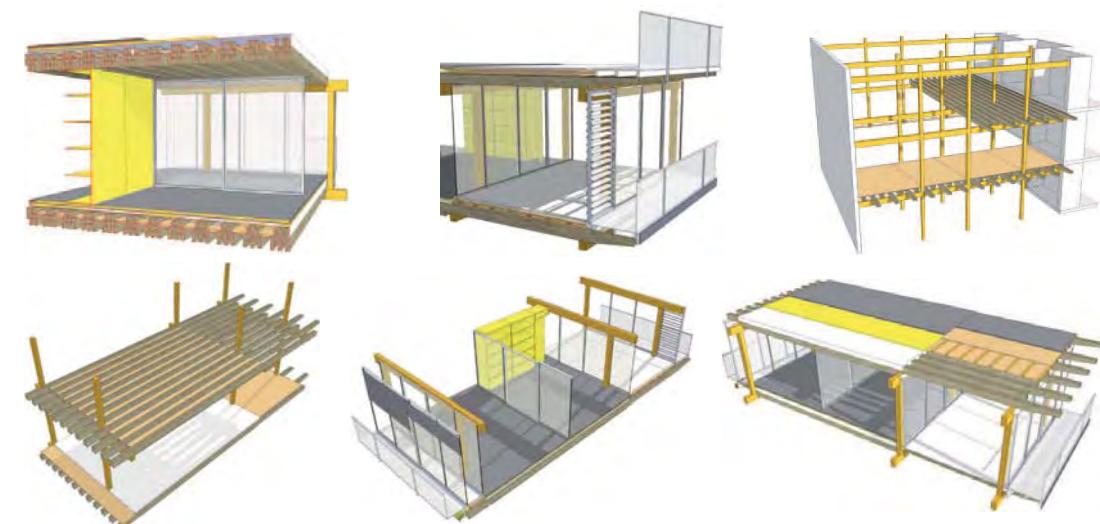
Le projet est l'œuvre d'une équipe concourante de compétences complémentaires.

- AlterSmith architectes
- Cardonnel Ingénierie
- Batiserf
- R&D St Gobain Glass
- R&D Technal

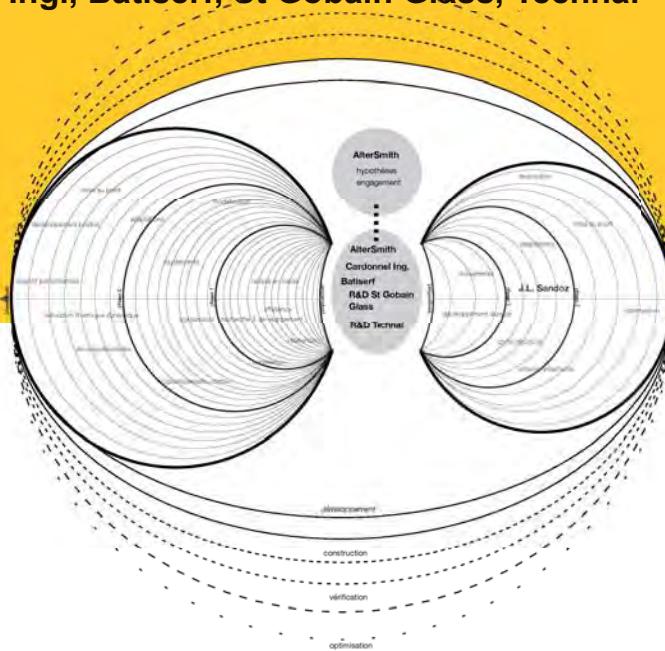
## Structure

Le noyau regroupant la circulation verticale, les murs mitoyens Est et Ouest, les pièces d'eau et les rangements est construit en voiles et planchers béton de 20 cm d'épaisseur supportant des surcharges jusqu'à 1000 kg/m<sup>2</sup> (stockage). Le plancher bois-béton, complexe mis au point par la société CBS-CBT, se compo-

se de lames de bois massif de 21x6 cm assemblées en quinconce. Cinq lames de bois fabriquent des poutres, assemblées entre elles par des panneaux de CTBH de 30 mm recevant une dalle de compression, une couche d'isolant et une chape béton. Ce dispositif permet d'accepter les surcharges d'exploitation.



Perspectives éclatées du système constructif : planchers en complexe bois-béton sur système poteaux-poutres en bois



## PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION ET DE DÉVELOPPEMENT

## Adaptabilité et évolution

La durabilité d'un immeuble réside dans son niveau d'appropriation et dans sa faculté d'adéquation avec différentes formes d'habiter. La modularité est une façon de proposer à chacun son 'espace idéal', elle offre une adaptabilité d'occupation suivant les saisons, une manière de puiser toutes les ressources du logement tout au long de l'année. Le projet s'appuie sur deux dispositifs mobiles, une combinaison de meubles/cloisons segmentant transversalement le logement et une file de coulissants vitrés longitudinaux séparant la surface du logement en deux, tout en préservant des vues traversantes. Les pièces humides sont fixes et concentrées autour du noyau de circulation verticale. Les espaces de rangements sont de natures différenciées.

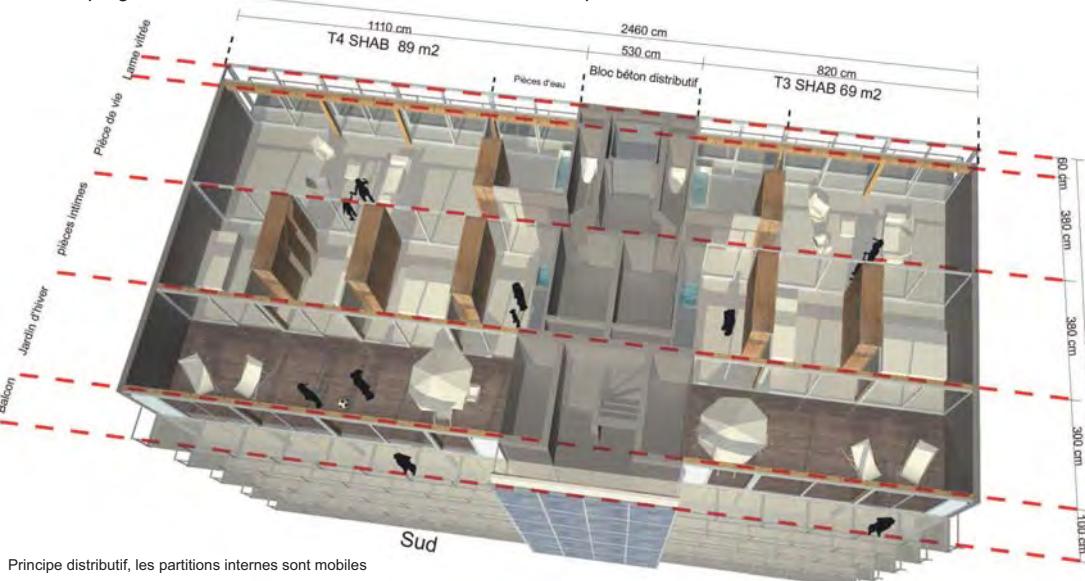
Au-delà de la modularité offrant une variété de typologies de logements, le projet intègre l'évolutivité vers d'autres programmes comme le tertiaire.

## Durabilité = évolutivité

- circulations verticales centrales
- gaines palières dimensionnées pour permettre l'évolution des réseaux (notamment courants faibles)
- plateau pouvant accueillir tout type d'agencement, la file de coulissants offrant une division acoustique N/S
- distribution des courants forts et faibles par caniveau encastré permettant évolutivité et maintenance aisée
- cellier basculant en archivage
- sanitaires handicapables
- optimisation de la surface utile en ajoutant un double-vitrage sur la paroi sud : intégration du jardin d'hiver dans la zone chauffée

## Durabilité = modularité

Pas de restructuration mais transformation voire ajustement. Les caractéristiques inhérentes aux bureaux sont présentes.



Principe distributif, les partitions internes sont mobiles

## USAGE ET QUALITÉS ENVIRONNEMENTALES

## Cellule de logement

La partition du logement répond à des fonctionnalités liés aux modes de vie et à des paramètres de confort. Classiquement la gestion du confort est statique, les pièces de nuit sont placées au nord et fermées pour éviter les déperditions, les pièces de vie sont implantées au soleil et les vues sont privilégiées. Reconsidérer les paramètres de confort en utilisant une gestion dynamique impose d'inventer de nouveaux dispositifs thermiques. L'absence de lumière au nord peut être compensée par une grande surface vitrée (mur rideau nord) sur la ville à condition de neutraliser l'effet de froid. On peut y adosser toutes les pièces de vie. Le jardin d'hiver au sud, un espace tampon non chauffé, est le vecteur et une réserve de calories destinés à la gestion thermique de logement. Il sert de réserve pré-chauffée pour les entrées d'air neuf à diffuser dans le logement. Dès que la température est acceptable en mi-saison, c'est un espace de vie, une terrasse, un salon d'été, un jardin.

Ainsi, on peut envisager un assouplissement de la détermination des fonctions par des partitions ponctuelles et des temporalités d'utilisation variables. La configuration du logement peut être adaptée et reconfigurée à souhait, selon des temporalités diverses. Les cloisonnements sont mobiles, la structure permet de les positionner indifféremment dans la bande nord ou sud. Le dispositif dessine une nouvelle carte du logement où le positionnement de chaque pièce n'est plus assujetti à des contraintes mais à des choix de vie.

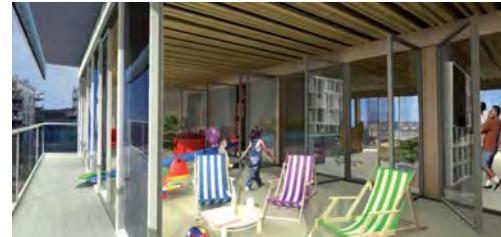
Exemple de plan d'étage - les partitions internes sont mobiles



## Bâtiment

Deux logements constituent un plateau de part et d'autre d'un noyau fixe intégrant escalier et ascenseur. Pour autoriser la modularité, les pièces d'eau sont accolées à ce noyau contribuant au contreventement de l'ensemble de la construction. La présente recherche est basée sur un empilement de trois niveaux de logements sur un rez-de-chaussée disponible pour un programme de commerce ou d'activité tertiaire. La couverture est surmontée de serres offrant un espace de jardin commun aux occupants de l'immeuble. Ces espaces sont considérés comme fermés et non chauffés pour la simulation thermique dynamique. Le schéma des logements permet de pouvoir installer un programme de bureaux dans ce dispositif. Des adaptations mineures, essentiellement en terme de ventilation seront à prévoir. Les surcharges admissibles sont adaptées aussi bien pour la partie bureaux que pour l'archivage à proximité du noyau. Les façades est et ouest sont des murs aveugles ce qui permet l'implantation en mitoyenneté dans un tissu urbain existant ainsi que la juxtaposition de plusieurs bâtiments-concept.

Vue vers le jardin d'hiver, lieu de vie en été et en mi-saison



## VILLE ET APPROCHE ARCHITECTURALE



Adaptabilité aux situations urbaines : Densité - Périphérie - Paysage

## Habiter dans la matière de la ville

La condition urbaine s'articule sur les trois notions de densité, de mixité et de d'intensité. Ouvrir sur la ville, c'est l'accepter et accepter d'en faire partie. Ouvrir du sol au plafond, c'est permettre d'embrasser d'un seul mouvement de tête le ciel et le sol, le vertige et le rêve. Ouvrir un espace traversant de part en part, c'est permettre d'estimer les distances entre soi et la ville, de percevoir des profondeurs de champ, des distances. C'est aussi proposer de glisser de la notion de hiérarchie d'espaces préalablement partitionnés (lumineux-sombres, chaud-froid, intime-public...) à la possibilité d'appropriations temporaires, plus libres, plus flexibles, plus créatives. Plus que la question du confort, une nouvelle manière d'habiter devient possible.

## Orientation et masque urbain

Les simulations de contraintes d'implantation, d'orientation et de masque urbain ont montré les limites de fonctionnement du système. Le gain du transfert Sud/Nord augmente dans les régions plus ensoleillées. Le concept fonctionne correctement pour une implantation en zone dégagée ou avec des masques ne dépassant pas 20° sur l'horizon. Pour des masques plus importants, le gain du transfert décroît. L'orientation différente du plein sud à  $\pm 30^\circ$  peut augmenter les besoins de chauffage jusqu'à 5%. L'implantation en zone urbaine dense s'estime et peut être compensée par l'apport de bâtiments en positon plus favorisée dans le quartier.

Implantation en zone paysagère, avec horizon sud dégagé pour éviter les 'masques' d'ombre sur la façade active



## Fabriquer la ville

Les différents paramètres de cette recherche se sont constitués en 'suspend' des contextes possibles d'implantation dans la ville. De manière non exhaustive, l'équipe envisage différentes typologies d'implantation de l'immeuble dans diverses situations urbaines type :

- zones attractives : cœur de ville ou zones paysage,
- territoires en mutation,
- espaces de périphérie.

Dans un jeu de contreparties, la densité est 'soutenable' parce qu'un jeu d'altérités est possible dans des territoires vivants et investis. Envisager l'environnement direct, les contextes réglementaires, la densité, les différentes nuisances, les ombres, mais aussi les caractéristiques propres aux différents sites (zones attractives, territoires en mutation, espaces périphériques...) fabrique des interactions de l'immeuble à la ville. La réversibilité des fonctions du plateau libre (logement/tertiaire/commerce) rend possible des formes mixtes de programmes ; la cellule logement se place dans une organisation plus globale de l'immeuble, fabriquée au plus près des contraintes ou des opportunités urbaines 'situées' (besoins, nuisances, règlements).

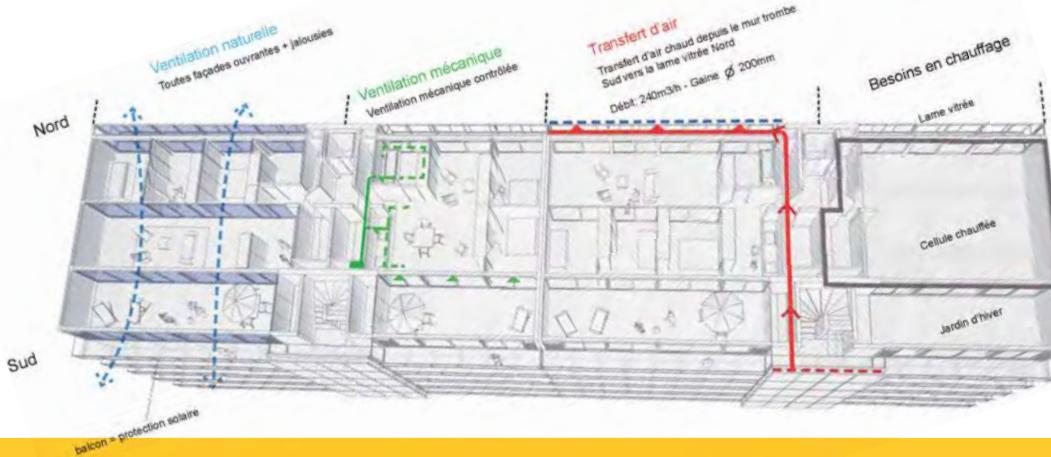
Le rez-de-chaussée ou les premiers niveaux peuvent par exemple se fabriquer comme un autre projet, parking, commerces, services, les premiers niveaux peuvent être alloués à du tertiaire, ou enfin, autre exemple, dans le cas d'une implantation en péri urbain, les ascenseurs peuvent être remplacés par des montées d'escaliers plus généreuses et plus ouvertes (R+2).

## FONCTIONNEMENT TECHNIQUE DU BÂTIMENT

## Nord Sud : Circulation d'air chaud

Pour atteindre les objectifs de confort posés à l'origine de l'étude et proposer une façade nord vitrée, l'enjeu est la neutralisation, ou la réduction des déperditions engendrées. Le principe proposé est le transfert direct d'air 'chaud' du sud vers le nord. L'énergie solaire, par effet de serre, est transformée en air chaud dans les 'murs-capteurs' devant les cages d'escalier. Ce potentiel calorifique immédiat est ensuite conduit dans une gaine isolée et alimente une lame d'air épaisse de 70 cm constituée de 2 parois vitrées. Cette lame d'air ventilée (l'air chaud est amené en partie haute, évacué en partie basse) joue le rôle d'une isolation dynamique. Le transfert est effectif lorsque l'effet de serre peut être produit, quand le soleil est présent. Il est stoppé la nuit. Un ventilateur alimenté par un panneau photovoltaïque déclenche le transfert. Il ne fonctionne que lorsque le soleil permet la production du peu d'électricité nécessaire à son fonctionnement.

Le principe d'un espace solarisé permet réglementairement d'utiliser l'air préchauffé pour alimenter l'air neuf à l'intérieur du logement. Le différentiel de température de l'air à chauffer pour atteindre un confort estimé à 19°C est alors diminué, comme la quantité d'énergie.



## Parois vitrées

- Paroi ext/jardin d'hiver : menuiseries coulissantes, simple vitrage type STADIP 33.1 (St-Gobain) + bande verticale de jalousies.  $U_w = 5,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $S_w = 0,67$ . Le simple vitrage est le plus apte à créer l'effet de serre nécessaire à chauffer l'espace en hiver et à mi-saison.
- Paroi sud jardin d'hiver/espaces chauffés : menuiseries coulissantes, double vitrage Planitherm Futur N, lame d'argon 16 mm.  $U_w = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $S_w = 0,33$ .
- Parois nord pièce/lame d'air/ext : 2 ensembles menuisés avec ouvrants, châssis fixes et éléments pleins de type Soléal FYm, menuiseries double vitrage Planitherm Futur N, lame d'argon 16mm.  $U_w = 1,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $S_w = 0,34$ . Un volet roulant ( $R = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) à l'extérieur réduit les déperditions la nuit.
- Les parois à l'intérieur de l'espace chauffé ne participent pas à la thermique globale, mais ont des fonctions de cloisonnement et d'acoustique.
- La paroi longitudinale est à menuiseries coulissantes, simple vitrage type feuilleté 44.2 (St-Gobain).
- Les cloisons transversales intégrant des rangements, sont facilement déplaçables ou démontables et offrent de multiples schémas d'organisation et de modulation suivant les saisons, le groupe familial ou les envies.

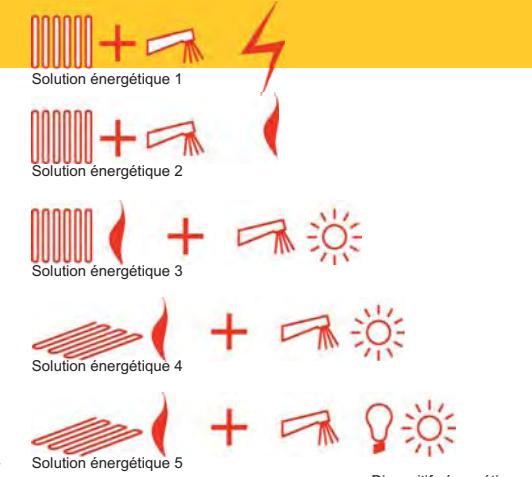
## PERFORMANCES ÉNERGETIQUES

## Performance énergétique

La configuration de base, une lame d'air au nord constituée d'un double vitrage sur la peau intérieure et sur la peau extérieure. La performance énergétique des solutions est évaluée à l'aide du logiciel Pléiade-Comfie :

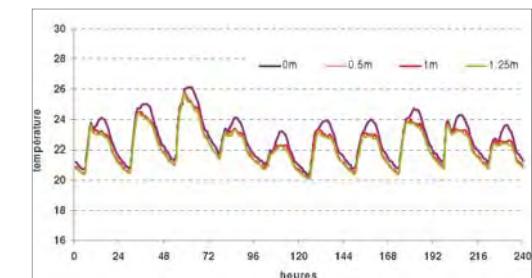
- 1 : solution de base tout électrique
- 2 : chaudières individuelles gaz sur radiateurs
- 3 : chaudières individuelles gaz sur radiateurs + système solaire thermique pour l'ECS
- 4 : chaudières individuelles gaz sur plancher chauffant + système solaire thermique pour l'ECS
- 5 : chaudière individuelle gaz sur plancher chauffant + système solaire thermique pour l'ECS + photovoltaïque 12kWhep/m2.an

Les valeurs de Cep sont majorées pour le calcul effectif des valeurs de référence pour les niveaux de Label. Le rapport SHON/SHAB est limité à 1,20 pour le label BBC-Effinergie. Le rapport SHON/SHAB du projet est de 1,60. Ces surfaces complémentaires ne peuvent être pris en compte entièrement. En tenant compte de cette SHON limitée, la valeur du Cep de la solution 2 (dispositif double DV nord) serait de 50,3 kWhep/m2.an, est n'est donc pas 'éligible' au label BBC-Effinergie, alors que la consommation 'réelle' est de 37,5. De même, les valeurs des Cep des solutions 2 et 3 (dispositif SV / DV nord) sont majorés pour atteindre 58,4 et 50,3.



|                   | Solution 1 | Solution 2 | Solution 3     | Solution 4     | Solution 5          |
|-------------------|------------|------------|----------------|----------------|---------------------|
| Chauff.           | 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                 |
| Aux.              | -          | 1,1        | 1,9            | 1,7            | 1,7                 |
| Ventil.           | 3,2        | 3,2        | 3,2            | 3,2            | 3,2                 |
| PV                | -          | -          | -              | -              | -12,0               |
| Cep               | 92,8       | 37,5       | 32,1           | 31,2           | 19,2                |
| Niveau de Label   | THPE 2005  | THPE 2005  | BBC-Effinergie | BBC-Effinergie | Équivalent Minergie |
| Etiquette Energie | 136 (C)    | 47 (A)     | 37 (A)         | 35 (A)         | 16 (A)              |
| Etiquette Climat  | 5 (A)      | 11 (C)     | 8 (B)          | 8 (B)          | 8 (B)               |

Besoins d'énergie, zone H2b (RT 2005), orientation N-S, sans masque sud



Température du logement (10-20 juillet) en fonction de la largeur cursive



### Fonctionnement général

Le concept est un bâtiment évolutif dont l'amélioration continue est programmée et pour lequel les investissements peuvent être différés dans le temps. C'est un programme mixte, Habitat et Lieux de travail pour réduire les consommations énergétiques de l'ensemble sans recours à des techniques coûteuses.

Conçu sur un axe Est Ouest avec serre climatique comme espace tampon pour tous les logements orientés au sud, le bâtiment de 6 niveaux et un sous-sol (espace tampon principalement désolidarisé du reste du bâtiment pour permettre une isolation continue de l'enveloppe) accueille deux étages de bureaux et quatre de logements. La trame de 5 m et les refends facilitent l'adaptation du bâtiment à la parcelle et aux voisins.

Le bâtiment reprend en coupe une forme ovale compacte pour réduire les surfaces de déperdition. Pour optimiser cette démarche, l'escalier et les coursives sont à l'extérieur du volume chauffé et désolidarisés de la structure. Les espaces de vie sont intégrés dans une enveloppe hyper-isolée. L'inertie thermique de la structure favorise les échanges de chaleur et le confort d'été. La façade est rythmée par les balcons et casquettes de protection. Les brise-soleil renforcent l'horizontalité marquant les différents niveaux. Les balcons sont traités avec des garde-corps vitrés. Les panneaux solaires thermiques et photovoltaïques sont soit intégrés aux casquettes, soit aux garde-corps des balcons, soit à la toiture. Des éoliennes viendront compléter le dispositif de production d'énergies renouvelables, en toiture. Elles seront implantées en fonction de l'environnement du bâtiment en ville ou à la campagne.

### Points forts

Mots clefs : compacité, récupération, évolutivité, cohabitation des fonctions et utilisation continue, optimisation, réduction des déperditions, veiller à l'inertie, viser les apports gratuits.

Un concept bioclimatique optimisé pour réduire les déperditions thermiques.

- La compacité passe par la réduction des surfaces de parois en contact avec l'extérieur.
- L'isolation va de pair avec une bonne inertie.
- Les ponts thermiques sont limités. Escalier et coursives sont extérieurs et désolidarisés de la structure.
- Les logements sont peu vitrés au nord.

Un concept bioclimatique étudié pour capter, stocker et distribuer les apports solaires en hiver et éviter les surchauffes estivales.

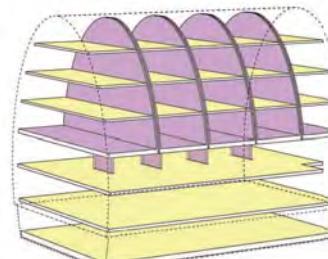
- Vérandas encastrées au sud.
- Triple vitrage peu émissif et menuiseries isolantes
- Protection solaire (balcon, casquette photovoltaïque et fermeture des fenêtres par des volets roulants).
- Un concept bioclimatique producteur d'énergie.
- Panneaux solaires thermiques en toiture.
- Module solaire photovoltaïque installé en toiture, en brise soleil et sur les garde-corps.
- Pompe à chaleur air/eau.
- Eoliennes en toiture.



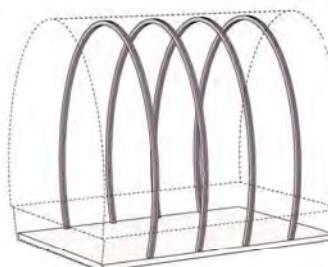
## BBEFM

### Bâtiment Bioclimatique Evolutif à Fonction Mixte

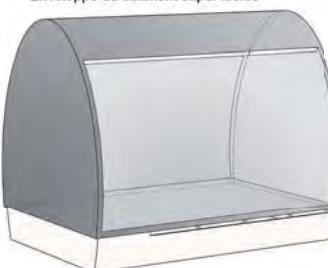
Dalles + Refends



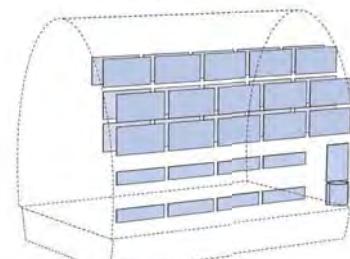
Arc - Porteurs structure enveloppe



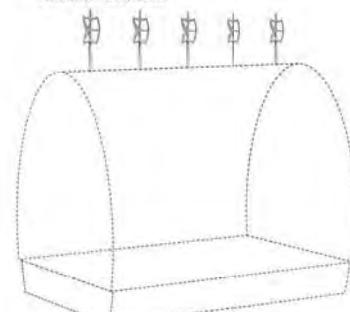
Enveloppe du bâtiment super isolée



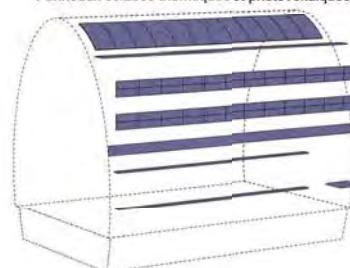
Au sud : Verandas pour les logements

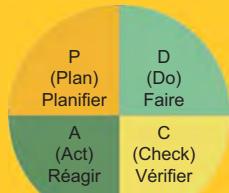


Eoliennes en toiture

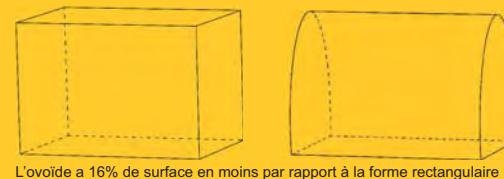


Panneaux solaires thermiques et photovoltaïques





## EQUIPE &amp; DEMARCHE DE CONCEPTION



## Une équipe concourante

- aaPGR architectes
- N. CHAUVINEAU : Ingénieur énergies renouvelables
- WATTS : Economiste

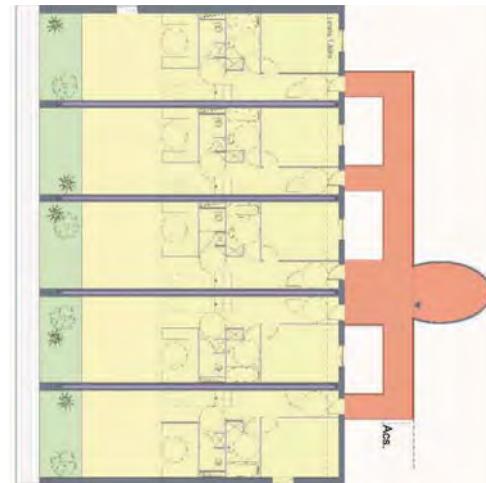
## Programme mixte

Le concept réunit dans le même bâtiment des logements et des bureaux. D'un point de vue énergétique cette cohabitation s'avère être un facteur important de réduction des consommations d'énergie. Les bureaux sont principalement occupés en journée et les logements la nuit. En plaçant deux étages de bureaux dans la partie inférieure du bâtiment, les déperditions de chaleur sont récupérées et réutilisées au profit des logements. Les calories récupérées par les logements sont véhiculées par un système de lames d'air (ventilation orientée). Inversement et de manière encore plus significative, les bureaux protégés des apports solaires et des surchauffes d'été, diminueront leur besoin en climatisation sans remettre en cause les conditions de travail. L'étude thermique dynamique a permis de prouver l'opportunité réelle de la cohabitation des fonctions.

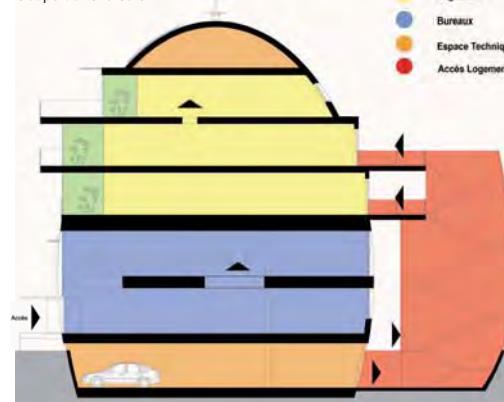
## Vue vers la façade sud



## Plan d'un étage de logements

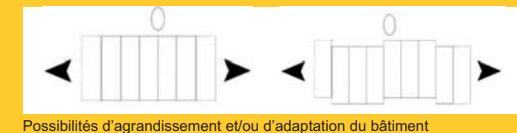


## Coupe transversale



## Vue vers la façade nord

## PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION ET DE DÉVELOPPEMENT



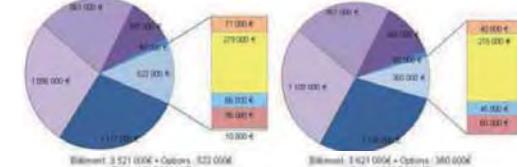
## Bâtiment évolutif

Le bâtiment est évolutif sur un délai de 10 à 15 ans, il peut accueillir un système énergétique plus performant et plus écologique sans générer de surcoûts liés à la rénovation (préinstallation des fixations, des réseaux électriques et du raccordement ECS, dimensionnement adéquat des locaux techniques et des réserves). Ainsi, à la conception il a été prévu de :

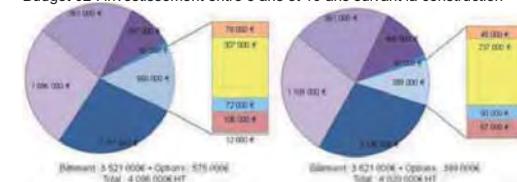
- réserver des zones en toiture pour un futur système de capteur solaire (thermique ou photovoltaïque),
- concevoir une toiture permettant d'implanter facilement des panneaux solaires,
- construire un réseau d'eau chaude susceptible d'accueillir de nouveaux capteurs solaires,
- installer les gaines qui permettront d'accroître simplement le système de production d'électricité photovoltaïque ou micro-éolien,
- implanter une chaufferie suffisamment spacieuse pour que la production de chauffage puisse évoluer suivant le contexte énergétique du moment.

Le bâtiment est capable de s'adapter et pourra évoluer facilement dans le temps au gré des budgets disponibles et des demandes de ses occupants.

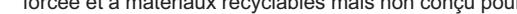
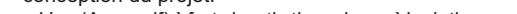
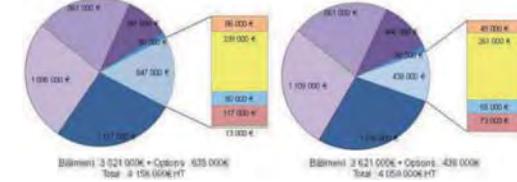
## Budget 01 : investissement dans les 5 ans suivant la construction



## Budget 02 : investissement entre 5 ans et 10 ans suivant la construction



## Budget 03 : investissement après 10 ans suivant la construction



## FONCTIONNEMENT THERMIQUE

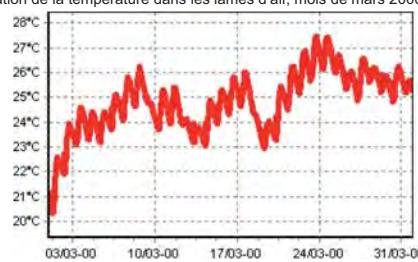
## Transferts de chaleur

La mixité des fonctions dans un même bâtiment permet de récupérer la chaleur produite pendant la journée dans les bureaux en la stockant dans la structure constituée d'une dalle épaisse et de murs de refend pour la restituer au moment de l'utilisation des logements dans la soirée.

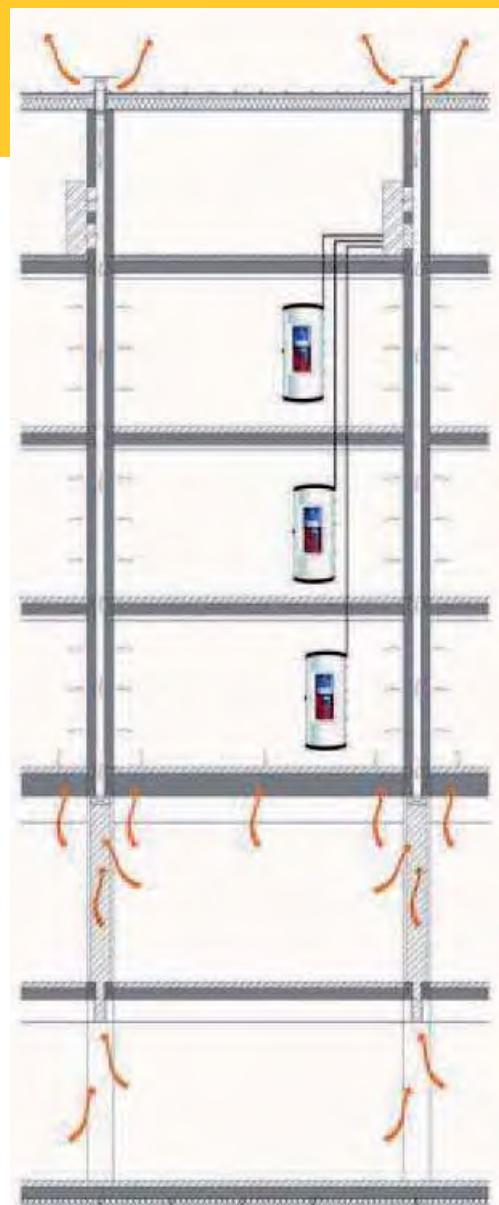
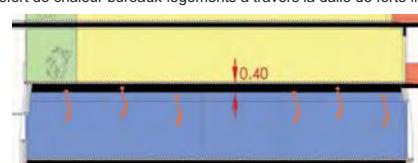
La dalle entre le dernier niveau de bureaux et le premier niveau de logements a une épaisseur de 40 cm de béton. De par son inertie importante, elle stocke la chaleur produite dans les bureaux qui est captée pour être distribuée dans les logements.

Les murs de refend sont constitués de deux voiles de béton de 15 cm séparés par une lame d'air ce qui permet de récupérer directement l'air chaud des bureaux pour chauffer les voiles de béton qui restituent la chaleur par rayonnement. L'air est évacué par des cheminées en partie supérieure et utilisé par des pompes à chaleur air/eau situées dans les combles pour produire de l'eau chaude sanitaire destinée aux logements.

Variation de la température dans les lames d'air, mois de mars 2000



Transfert de chaleur bureaux-logements à travers la dalle de forte inertie



## ECLAIRAGE, MATERIAUX ET COMPACITÉ

## Eclairage naturel

L'optimisation de l'éclairage naturel est un point important compte tenu de la taille du bâtiment. Il permet d'améliorer le confort des futurs utilisateurs mais aussi de limiter les apports internes liés aux éclairages et fortement consommateurs de l'énergie de climatisation.

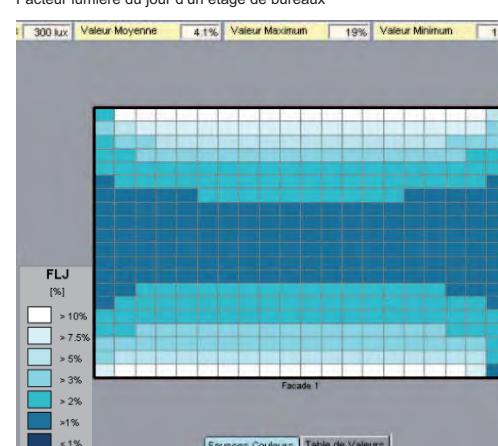
## Facteur lumière du jour d'un étage de bureaux

C'est le pourcentage qui montre la luminosité présente à l'intérieur de la pièce par rapport à la lumière disponible à l'extérieur.

## Autonomie en éclairage naturel

C'est la prise en compte de la couverture de l'éclairage à l'intérieur des pièces par la lumière naturelle. Le calcul d'autonomie naturelle consiste à trouver le pourcentage de temps et de surface pour lesquels un seuil d'éclairage d'origine naturel est atteint. C'est un indice synthétique pour évaluer les économies possibles par la gestion de l'éclairage artificiel.

Facteur lumière du jour d'un étage de bureaux



## Matériaux &amp; compacité

La façade est composée des matériaux suivants :  

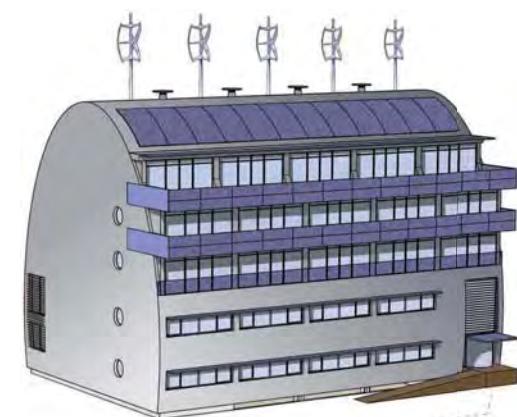
- le zinc pour le parement extérieur de l'enveloppe,
- un matériau transparent (verre ou résine) vient compléter les gardes corps,
- le bois sera utilisé pour créer l'escalier extérieur et la structure secondaire de l'enveloppe.

A l'intérieur on trouvera :

- une isolation en ouate de cellulose,
- des cloisons et plafonds intérieurs en plâtre,
- du béton pour les arcs porteurs, les poteaux, les dalles et les murs de refends,
- du bois pour les menuiseries.

L'ensemble de ces matériaux ont été choisis en fonction de leurs caractéristiques physiques, leurs disponibilités et leurs facilités de mise en œuvre. Ils ont aussi une capacité à être recyclés. En sortant les circulations à l'extérieur de l'enveloppe, les espaces chauffés sont assemblés sous une enveloppe hyper isolée englobant l'inertie thermique nécessaire pour favoriser les échanges de chaleur et le confort d'été.

Un bâtiment très compact, avec des équipements producteurs d'énergie

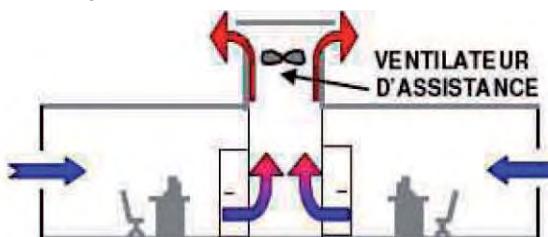


## FONCTIONNEMENT TECHNIQUE DU BÂTIMENT

## Ventilation et confort d'été

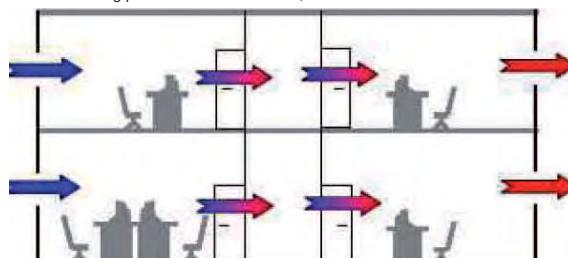
L'optimisation du confort d'été est inséparable de la conception bioclimatique :

- Brise-soleil : les baies vitrées au sud seront équipées de brise-soleil qui permettent de contrôler les rayons solaires en été et laisser passer la lumière en hiver.
- Free-cooling : la ventilation traversante dans les bureaux à la double orientation permet de refroidir le bâtiment en utilisant l'air extérieur lorsque sa température est inférieure à la température intérieure.
- Ventilation hygiénique : la ventilation mécanique sera de type simple flux avec extraction centrale. Il s'agit d'introduire, via des entrées d'air, une quantité donnée d'air neuf dans les locaux et d'extraire ensuite mécaniquement l'air vicié. Située dans les combles, cette ventilation aura un rôle d'assistance au free-cooling. L'extraction aura lieu à travers les doubles parois séparant les logements.



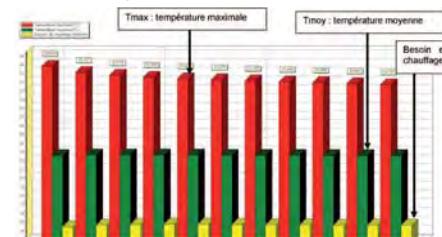
Free-cooling avec ventilateur d'assistance, logements

Free-cooling par ventilation traversante, bureaux

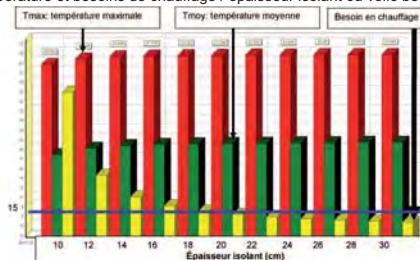


## Résistance et inertie thermique

Principalement définie par l'épaisseur et les performances de l'isolant, la résistance thermique des parois est la base d'un bâtiment à basse consommation d'énergie. L'objectif de 15 kWh/m<sup>2</sup>/an d'énergie primaire pour le chauffage demande une épaisseur d'isolant de 20 cm. L'inertie thermique réduit la charge du chauffage. Elle permet de stocker la chaleur lorsqu'il fait chaud et de la restituer lorsque la température redescend. Un déphasage d'une douzaine d'heures permet de capturer la chaleur en journée lorsque les logements sont vides et de la restituer en soirée au retour des occupants. Pour cela les refends intérieurs et les dalles sont constitués de béton (matériau à forte chaleur spécifique). Grâce à une répartition homogène de la masse, la chaleur stockée est redistribuée équitablement dans le logement. L'inertie permet entre autre de lisser les variations de température.



Température et besoins de chauffage / épaisseur isolant ou voile béton



## PERFORMANCES ÉNERGETIQUES

## Equipements et consommation

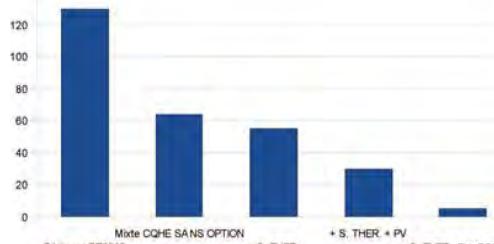
Le bâtiment A consomme deux fois moins d'énergie que ce que préconise la RT2005 ce qui correspond au niveau BBC en Ile de France soit 65 kWh/m<sup>2</sup>/an. Source de chaleur : bois énergie / réseau de chaleur.

- Bâtiment A (RT2005) : un bâtiment de la même forme avec une isolation de 7 cm (réglementaire).
- Bâtiment B (Mixte CQHE sans option) : le bâtiment de base avec une isolation de 20 cm. Le projet comprend une utilisation du RDC et du premier étage en bureaux et le reste des niveaux sont destinés à l'habitat en plus des espaces techniques.
- +S THER : bâtiment B équipé de panneaux solaires thermiques pour la production d'ECS.
- +S THER+PV : bâtiment B équipé de panneaux solaires thermiques et de panneaux photovoltaïques.
- +S THER+PV+EOLIEN : bâtiment B avec l'ensemble des options mis en place.

| Consommations          | Bois énergie        | Géothermie        | Chaudage urbain        |
|------------------------|---------------------|-------------------|------------------------|
| Chaudage               | 13                  | 8                 | 11                     |
| Froid                  | 8                   | 6                 | 8                      |
| ECS                    | 19                  | 19                | 13                     |
| Éclairage              | 18                  | 18                | 18                     |
| Auxiliaires            | 8                   | 11                | 8                      |
| <b>Sous Total</b>      | <b>66</b>           | <b>62</b>         | <b>58</b>              |
| <b>Production</b>      | <b>Bois énergie</b> | <b>Géothermie</b> | <b>Chaudage urbain</b> |
| Solaire Photovoltaïque | -9                  | -9                | -9                     |
| Solaire Thermique      | -25                 | -25               | -25                    |
| Micro Eolien Urbain    | -25                 | -25               | -25                    |
| <b>TOTAL</b>           | <b>7</b>            | <b>3</b>          | <b>-1</b>              |

Consommations énergétiques totales par source d'énergie (kWhep/m<sup>2</sup>/an)

## Besoins de consommation en fonction des équipements



Production d'énergie solaire (thermique et photovoltaïque) et éolienne

## Production d'énergie solaire &amp; éolienne

Les modules solaires photovoltaïques à silicium amorphé sont installés en toiture dans la couverture zinc, sur les brise-soleil pour protéger des surchauffes les logements du R+4 et des 2 niveaux de bureau, et sur les garde-corps à tous les niveaux des terrasses au sud. La production totale du site pourrait être de 20 980 kWh par an pour une surface de 246 m<sup>2</sup>.

Les panneaux solaires thermiques en toiture sont intégrés dans la couverture zinc. La production totale du site pourrait être de 20 987 kWh/an pour une surface de 40 m<sup>2</sup> assurant 40 à 50% de l'eau chaude sanitaire.

Le dimensionnement des éoliennes en milieu urbain nécessite des mesures de vitesse et fréquence des vents sur une durée de 3 à 6 mois. Parmi plusieurs éoliennes envisagées, la machine la plus performante pour le projet serait la WRE 060 du fabricant ROPATEC. En considérant 3 éoliennes tournant à pleine puissance (6 m/s) pendant 7,5 h/jour, le productible serait de 21 018 kWh par an.

Besoins d'énergie et émission de CO<sub>2</sub>

Ce concept bioclimatique est conçu pour consommer :

- en chauffage : 15 kWh/m<sup>2</sup>/an
  - en eau chaude sanitaire : 10 kWh/m<sup>2</sup>/an
  - en électricités spécifiques :
    - pour le secteur résidentiel : 250 kWh/an/pers.
    - pour le secteur tertiaire : 30 kWh/an/pers.
- et produire moins de 6 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an.

## Besoins d'énergie et émission de gaz à effet de serre

