



Bâtiment-concept

Habitat pluriel, terre et temporalités

Fonctionnement général

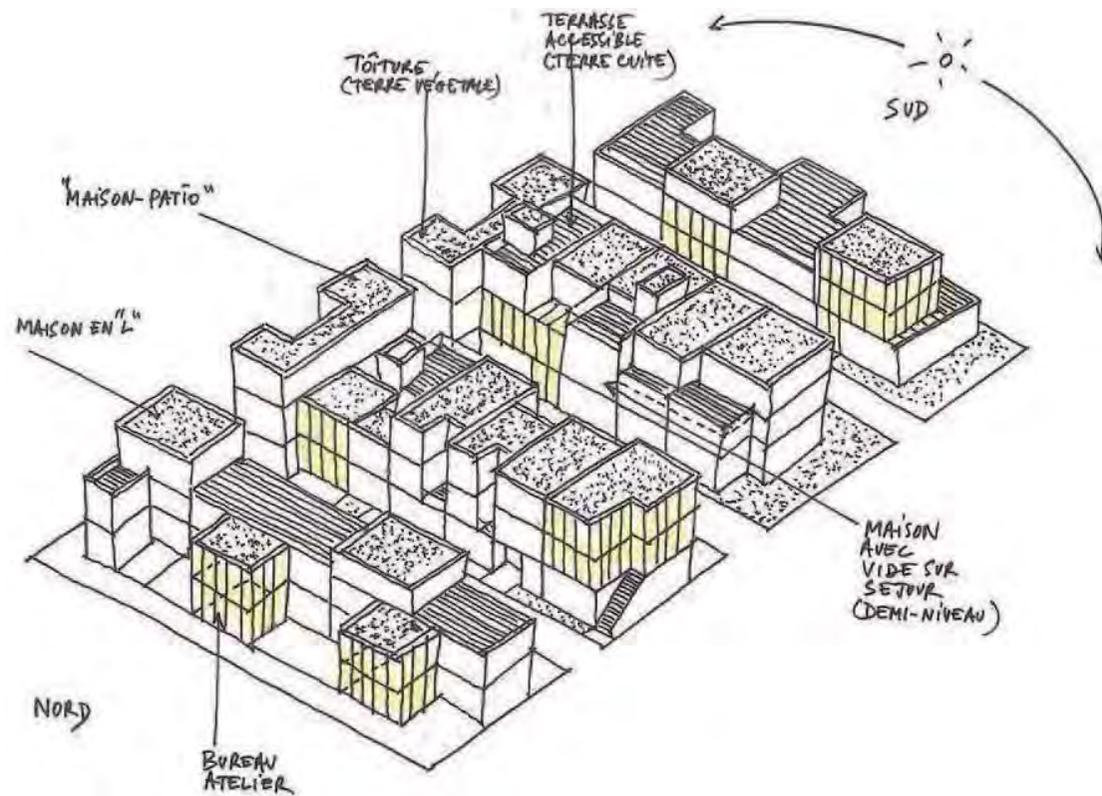
Le bâtiment-concept décline le scénario d'un habitat pluriel associant dans un objectif de mixité et de densité relative, des dispositifs de transferts de calories et de rayonnement des parois et enveloppes à éléments modulaires dérivés de la terre cuite et de la terre compressée. Le projet se présente 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 combinaison 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'îlot 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.



Maison tunnel, maison à patio, maison en L, maison tour, maison en croix



La maison comme ensemble est décomposée en 'pièces et éléments'

EQUIPE & DEMARCHE DE CONCEPTION

Une équipe concourante

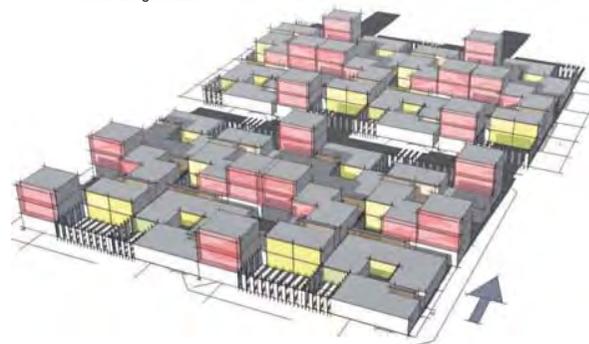
- TECTÔNE : Sabri BENDIMERAD et Pascal CHOM-BART DE LAUWE
- RFR éléments : Benjamin CIMERMAN, Maxime CARRE, Pierre JAGER
- TERREAL : Isabelle DORGERET

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

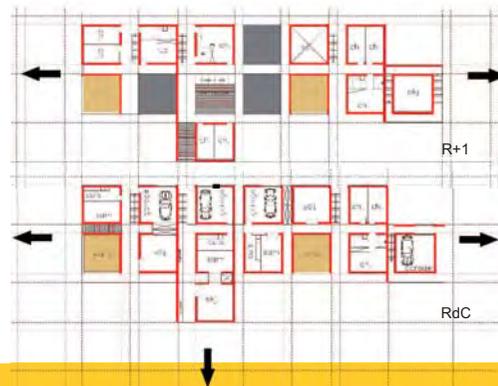


Le plan neutre, un dispositif à réactiver

Repartir de la pièce pour concevoir l'habitat de demain dense et économe 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 recombinaisons multiples, une certaine latitude pour la réaffectation des usages ainsi que l'individuation 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 & RESULTATS THERMIQUES

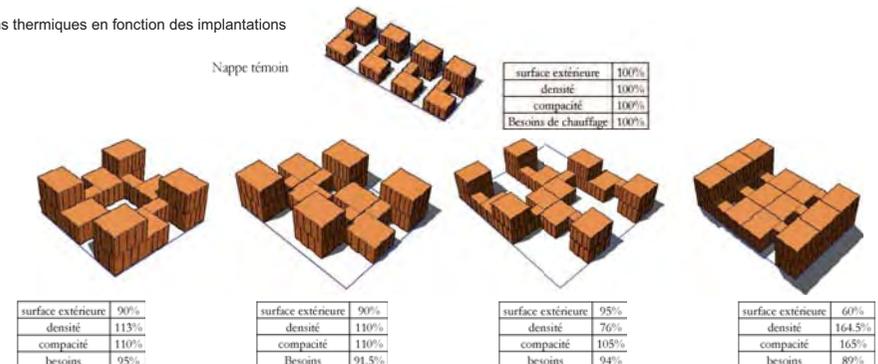
Simulation thermique

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

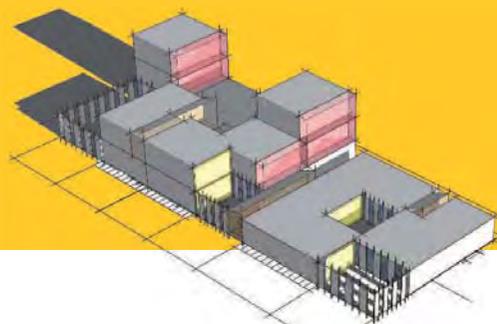
L'argile, abondante et naturelle, est la matière première des terres cuites et des terres crues.

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 intérieur des plus intéressants.

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 assujéti 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.

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



Perspective intérieure vers le patio



VILLE ET APPROCHE ARCHITECTURALE

Insertion urbaine et densité relative

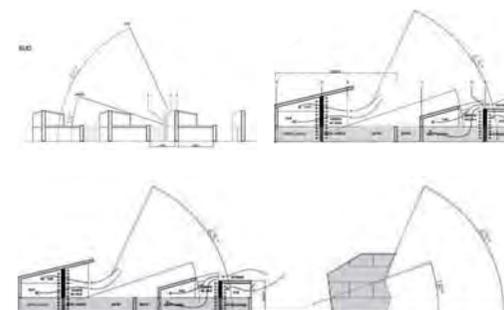
À l'échelle urbaine, le 'bâtiment-concept' est inclus dans un quartier de type lotissement suburbain, tracé suivant une trame régulière rectiligne basée sur la 'maille élémentaire', pièce ou module de l'unité de vie. Les possibilités d'assemblage sont nombreuses et complexes : superpositions, dos à dos, simples et double contiguïtés. 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 : contiguïtés plus ouvertes,
- plan 'neutre' basé sur une pièce de 5,4m x 5,4 conçue comme une maille élémentaire.

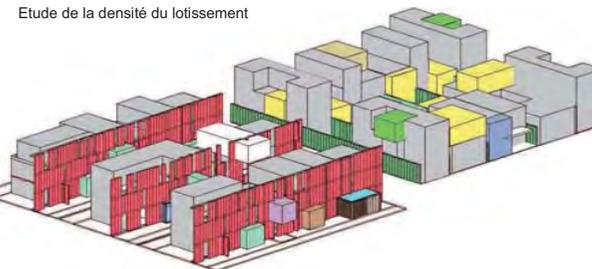
Le projet intègre une réflexion sur la densité qui permet de limiter les masques d'un bâtiment sur l'autre. L'îlot offre des orientations Sud pour chaque pièce de vie des logements. Les maisons de ville comportent de nombreuses mitoyennetés qui économisent une partie des déperditions thermiques.

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 suburbaine



Insertion urbaine et végétation en coeur d'îlot





Etude de l'ensoleillement, ombres portées, 21 décembre

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.

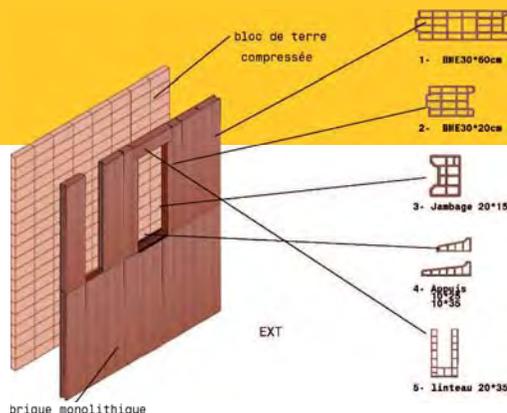
Une solution à plus long terme sera une brique 'multi-alvéolée' ou brique remplie d'un isolant moins énergivore : argile expansée, laine de bois. Cette solution nécessite une phase de développement plus longue.

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

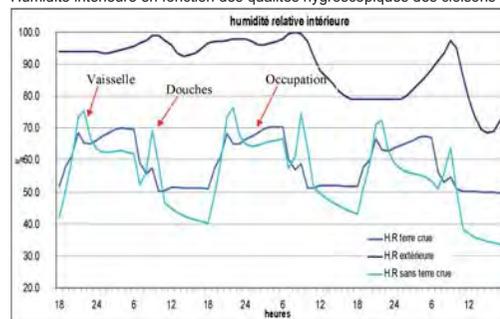


Cloisons hygroscopiques : terre crue

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.

Humidité intérieure en fonction des qualités hygroscopiques des cloisons



PERFORMANCES ÉNERGETIQUES

Systèmes énergétiques passifs

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

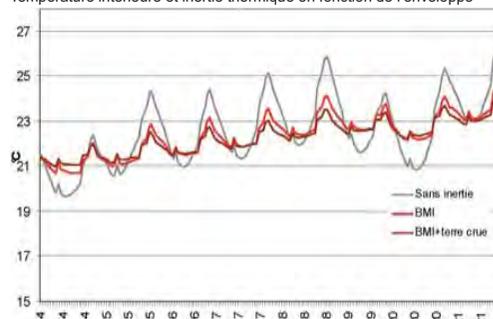
• **Gains directs par les vitrages.** L'énergie solaire entrant dans le local à travers la baie est absorbée par les parois et les objets intérieurs, et local a tendance à s'échauffer. L'été, une protection extérieure (store screen) couvrira la façade et coupera le rayonnement solaire.

• **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-

Température intérieure et inertie thermique en fonction de l'enveloppe



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, a 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 (KWh/m².an)
Chauffage	18 kWh/m².an	18 kWh/m².an
Aides/aux	0.5 kWh/m².an	1.3 kWh/m².an
Eclairage	4 kWh/m².an	10 kWh/m².an
TOTAL	22.5 kWh/m².an	29.3 kWh/m².an