



L'inertie, la chaleur tranquille

Les cloisons en brique de terre crue captent la chaleur du poêle et la réémettent lentement.

Parent pauvre de la conception de l'habitat conventionnel, l'inertie thermique est pourtant un élément prépondérant de la gestion des ambiances thermiques intérieures. Quelle que soit la saison, elle est source de confort et d'économies d'énergie.

Inertie : *état de ce qui est inerte*, stipule le Robert. À première vue, pas grand-chose à voir avec les questions de flux et d'énergie. Quelques lignes plus bas : *Inertie thermique : capacité d'un matériau à accumuler puis à restituer un flux thermique*. L'inertie thermique, constituée par tous les éléments lourds situés à l'intérieur du volume à chauffer, permet un amortissement et un déphasage (décalage dans le temps) des variations de la température extérieure et intérieure. En hiver, cette capacité de stockage assurera une valorisation maximale des apports solaires concentrés pendant quelques heures de la journée, avec à la clé des économies de chauffage. Les apports fournis par un système de chauffage par rayonnement seront également optimisés. En été, ces masses à inertie, refroidies pendant la nuit grâce à la surventilation nocturne (ouverture des fenêtres), se réchaufferont lente-

ment participant ainsi à maintenir la fraîcheur intérieure du matin plus longtemps.

L'inertie et son double

Avant de choisir les matériaux de votre future maison bioclimatique, sachez qu'il existe trois types d'inertie, recherchés pour leurs qualités à différents endroits de l'habitat :
- **L'inertie de transmission** concerne les murs capteurs (de fond de serre ou de type Trombe) qui captent l'énergie solaire d'un côté et la réémettent de l'autre. L'objectif ici n'est pas de conserver la chaleur émise par le soleil, mais de la réémettre assez rapidement (déphasage assez court de 4 à 6 heures) pendant 2 à 3 heures. Ainsi, l'énergie est restituée à partir de la fin de journée quand il commence à fraîchir (si le déphasage est trop long une partie de l'énergie repart vers l'extérieur dès que les températures extérieures baissent).

Caractéristiques thermiques de quelques matériaux de construction

Matériaux	Masse volumique (kg/m ³)	Conductivité (W/m.°C)	Capacité thermique (Wh/m ³ .°C)	Diffusivité (m ² /h)	Effusivité de transfert (W.ho.s/m ² .°C)	Vitesse (cm/h)
Béton de granulats	2300	1,75	600	2,93x10 ⁻³	32,3	4,1
Brique de terre comprimée (BTC)	2200	1,1	517	2,13x10 ⁻³	23,8	3,34
Brique de terre crue	1800	1,1	425	2,60x10 ⁻³	21,6	2,4
Brique de terre cuite	1900	1,15	455	2,53x10 ⁻³	22,9	3,8
Pierre lourde (granite...)	2600	3,0	505	5,92x10 ⁻³	9,0	5,8
Pierre calcaire	2450	2,4	490	4,90x10 ⁻³	34,3	5,3
Béton cellulaire	400 à 800	0,16 0,33	100 195	1,63x10 ⁻³ 1,68x10 ⁻³	4,0 8,0	3,1 3,1
Sable sec	1800	0,4	395	1,01x10 ⁻³	2,6	2,4
Bois lourds (chêne, hêtre...)	650	0,23	435	0,53x10 ⁻³	10,0	1,7
Bois légers (résineux, peupliers...)	400	0,12	300	0,40x10 ⁻³	6,0	1,5

Le mur capteur est un dispositif adaptable sur le neuf ou sur l'ancien. Qu'il soit en fond de serre bioclimatique ou en façade, le principe est le même : créer grâce au soleil un effet de serre devant une maçonnerie lourde ; celle-ci va s'échauffer et diffuser de la chaleur par rayonnement à l'intérieur de l'habitat.

- **L'inertie d'absorption** est recherchée pour les parois des pièces de vie, cloisons et murs de refend. Ces éléments doivent absorber la chaleur (émise par le soleil ou un système de chauffage interne) mais également la stocker.

Ils participent ainsi à homogénéiser les températures au cours de la journée et de la nuit. Le déphasage peut donc être plus important que pour les murs capteurs.

- Et enfin, **l'inertie superficielle** ! Beaucoup plus faible que les deux précédentes, elle est recherchée pour sa capacité à « accrocher » la chaleur (celle du système de chauffage interne surtout) et à maintenir une température rayonnante des parois, supérieure à celle de l'air ambiant ! Cette forme d'inertie concerne surtout les enduits et autres parements. Les maisons dépourvues

d'apports solaires passifs importants ont tout intérêt à la mettre en avant.

Les bons matériaux...

Quelle que soit l'inertie recherchée, les matériaux doivent capter au mieux le rayonnement. Les surfaces mates, foncées et granuleuses affichent les meilleurs taux d'absorption.

- Pour l'inertie d'absorption, il faut choisir des matériaux bons stockeurs de chaleur. Les matériaux denses à forte capacité thermique comme la terre (pisé, bauge, brique de terre comprimée), la pierre, la brique, le béton conviennent pour cet usage.

- Pour l'inertie de transmission, on recherche des matériaux dotés d'une bonne rapidité d'absorption et de restitution de la chaleur. C'est donc l'effusivité et la diffusivité qui sont à prendre en compte (voir tableau).

L'effusivité thermique : plus elle est élevée, plus le matériau absorbe rapidement la chaleur d'une pièce, que celle-ci provienne d'une source interne ou du rayonnement solaire. L'élévation de température dans le local sera donc limitée. C'est pourquoi on privilégiera les matériaux ayant une grande effusivité. « Cette donnée est fondamentale, explique Olivier Sidler, responsable dans la maîtrise de l'énergie, car elle évite de croire que le bois, la brique monomur, ou le béton cellulaire (matériaux à faible effusivi-



Les enduits terre sont appréciés pour l'inertie superficielle qu'ils apportent.

té) sont idéals pour stocker et restituer rapidement la chaleur ! »

La diffusivité thermique : elle caractérise la vitesse à laquelle la chaleur se propage, par conduction, dans un corps. Plus elle est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau, (déphasage important entre le moment où la chaleur arrive sur une face du mur et le moment où elle atteindra l'autre face). Cette donnée est donc importante pour la construction de murs capteurs.

- Pour développer l'inertie superficielle, on appliquera des enduits à base de matériaux à forte capacité thermique (terre, chaux, ciment) ou des carreaux de terre cuite, sur des épaisseurs de 2 à 4 cm. Veillez à ne pas occulter ces surfaces par la suite, au moment d'aménager l'espace.

... au bon endroit !

Pour fonctionner de façon optimale, les masses à inertie doivent satisfaire deux exigences :

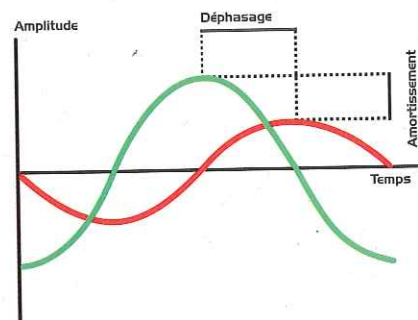
- Posséder une importante surface d'échange avec l'espace habitable, quitte à réduire l'épaisseur des parois exposées - à poids de matériau égal, mieux vaut avoir de grandes surfaces d'échanges plutôt que des blocs compacts et épais. Les murs de refends, les cloisons et planchers d'étage ayant une double surface d'échange avec les volumes intérieurs, ils sont de fait des éléments architecturaux idéals pour recevoir des masses. De plus, n'étant pas en contact avec l'extérieur, ils sont moins affectés par les variations cli-

matiques. Par contre, pour que le rayonnement puisse être capté et se diffuser, ces masses ne doivent pas être recouvertes de matériaux isolants (moquettes, tentures, tapis...) ou occultées par un meuble.

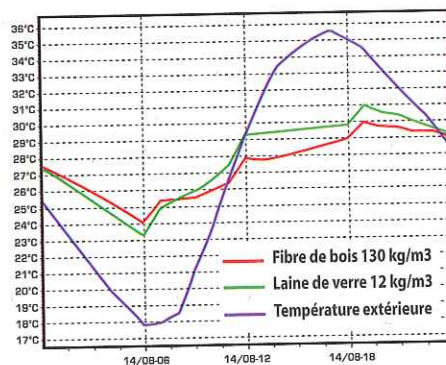
- Dans l'habitat bioclimatique, les masses doivent capter le rayonnement solaire en hiver et être maintenues à l'ombre en été ! Les débords de toitures, les pergolas, les doubles vitrages à contrôle solaire permettent de relever cette gageure : seul le rayonnement hivernal, bas dans le ciel, vient frapper les murs capteurs (en façade ou en fond de serre) et les dalles de sol captrices.

Dans le bâti existant assez récent, quand il est mal conçu et mal isolé, les murs (souvent en béton, 20 cm d'épaisseur environ) apportent la quasi-totalité de l'inertie (absence de cloisons lourdes sauf parfois le plancher d'étage qui est en béton). En cas de chantier d'amélioration thermique, il peut être judicieux de poser un isolant par l'extérieur (voir magazine n°42). Ainsi, on ne perdra pas les bénéfices de l'inertie des murs tout en empêchant que la chaleur s'échappe vers l'extérieur.

Si l'on choisit au contraire d'isoler ce type de maison par l'intérieur, alors « il faut surtout éviter de poser une isolation de faible densité (type complexe polystyrène/plaque de plâtre) qui ne serait pas compensée par une augmentation d'inertie des parois intérieures (BTC, pisé, briques pleines, enduits terre épais) », met en garde Stéphane Bedel, ther-



Graph 1 : Variation de la température intérieure de deux bâtiments, l'un à forte inertie, l'autre à faible inertie. En apportant de l'inertie thermique à un bâtiment, on réalise un amortissement et un déphasage du pic de chaleur du milieu de journée.



Graph 2 : La pose d'un isolant dense participe au confort thermique d'été en maintenant une température intérieure moindre qu'avec un isolant léger. La différence atteint 1,5 °C, ce qui n'est pas négligeable.



Les murs capteurs de fond de serre doivent pouvoir réémettre rapidement la chaleur accumulée.

Les isolants à forte capacité thermique (ici de la fibre de bois) apportent un complément d'inertie intéressant en toiture.



Le cas particulier des maisons à ossature bois

Les constructions à ossature bois et remplissage ouate de cellulose, bottes de paille, chaux-chanvre, etc., sont connues pour offrir un très bon niveau d'isolation... Mais souvent, une critique leur est adressée : le manque d'inertie de l'enveloppe et des planchers d'étage les exposerait à des surchauffes en été, surtout dans le sud de la France. « En fait, précise Stéphane Bedel, la maison bois bioclimatique n'est pas antinomique du confort thermique d'été. Les simulations réalisées grâce au logiciel Pléiade + Comfie² montrent en effet qu'une paroi ossature bois et bottes de paille de 50 cm d'épaisseur apporte un confort d'été similaire à celui d'une paroi en parpaings de béton isolée par l'extérieur avec 10 cm d'isolant. » Le déficit d'inertie de l'enveloppe est donc compensable par la mise en place de suffisamment d'inertie à l'intérieur (cloisons, dalle de sol et dalle de plancher d'étage).

* Ces résultats sont issus de simulations concernant une maison bioclimatique bien conçue et bien utilisée, dotée de cloisons lourdes, et où le soleil d'été est stoppé par des protections solaires.

micien du bureau d'études Izuba Énergie. Néanmoins, ajoute Olivier Sidler, « si la dalle du plancher d'étage et les murs de refend sont en béton (de terre ou, moins écologique, de ciment), ils apportent suffisamment de masse thermique au bâti ce qui permet de se passer de l'inertie des murs extérieurs ». Enfin, certains systèmes de chauffage à rayonnement comme les poêles à accumulation fonctionnent grâce au principe de

l'inertie. Pour donner entière satisfaction, ces poêles doivent être entourés de surfaces capables de réémettre le rayonnement (cloisons lourdes, enduits terre...). Pesant d'une à plusieurs tonnes, ils représentent également un complément d'inertie appréciable pour le confort d'été.

Point trop n'en faut !

Attendez encore un peu avant d'entrer chez le marchand de matériaux. Car l'inertie, au-delà de ses qualités, a un coût assez élevé : achat et transport des matériaux, mise en œuvre... Or, remarque Ivan Pujol, ingénieur thermicien et enseignant en performance énergétique de l'habitat à Tarbes, « rien ne sert d'en mettre trop : ce sont les 10 premiers centimètres d'inertie qui sont les plus efficaces et les plus rentables. Rien ne sert non plus d'en mettre dans toutes les pièces. La salle de bains étant occupée pendant de courtes durées, c'est donc un chauffage rapide qu'il faut privilégier ainsi que des parements muraux qui n'absorbent pas la chaleur (faible effusivité) et qui sont vite chauds au toucher (le bois, le liège...). Et dans une chambre, une fois que l'on est sous la couette, le rayonnement des murs n'est plus guère perçu. »

Le bâti ancien traditionnel est souvent caractérisé par une forte inertie due à l'épaisseur des murs et à l'absence d'isolant sous dalle. C'est un avantage pour le confort d'été (ces maisons ne risquent pas la surchauffe), mais en hiver ces murs absorbent beaucoup d'énergie avant de la restituer. Si les cloisons sont en matériaux lourds alors il peut être judicieux de poser un isolant par l'intérieur (surtout sur les murs soumis aux intempéries et vents dominants), l'inertie restera satisfaisante, a fortiori si l'on choisit un isolant dense (fibre de bois par exemple).

Le sol, grand pourvoyeur d'inertie

Enfin, n'oubliez pas que le plus grand « gisement » d'inertie gratuite est la croûte terrestre. Pour en profiter, une technique simple et efficace consiste à enterrer une partie de sa maison (les murs nord et ouest). Autre solution : isoler le pourtour des fondations (par exemple avec du liège expansé en panneau jusqu'à environ 60 cm de profondeur) et faire reposer la dalle de sol (béton de terre, chaux ou ciment) sur un hérisson de caillou lui-même posé directement sur le sol. Ainsi, le hérisson et la dalle de sol profitent de l'inertie du sous-sol.

Enfin, si vous ne craignez pas que le sol vous tombe sur la tête, la toiture végétalisée est un excellent moyen de rajouter de l'inertie. L'épaisseur de terre (de 10 à 50 cm) constitue une importante masse qui va réagir à la manière du sous-sol terrestre : pour des épaisseurs supérieures à 40 cm, les variations de température journalières seront quasiment négligeables, seules les variations saisonnières annuelles affecteront sa température.

Sylvain Moréteau

Un grand merci à Ivan Pujol pour sa patiente collaboration.

¹ Pour un confort thermique optimal, les parois doivent être 2°C plus chaudes que l'air ambiant (voir magazine n° 42).

² L'ensemble logiciel Pléiade + Comfie permet la conception de projets bioclimatiques en régime dynamique, l'analyse des performances et des ambiances, la formation et l'enseignement sur le comportement thermique de l'habitat.



Les maisons semi enterrées profitent de l'inertie du sol, été comme hiver.

En savoir plus :

À lire :

La conception bioclimatique,
Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey,
éd. Terre vivante, 2006.

Bureaux d'études consultés :
Izuba énergies (Mèze, 34 - www.izuba.fr)
Éneritech (Félines-sur-Rimandoule, 26 -
<http://sidler.club.fr> et
<http://sidler.club.fr/docs/Inertie.pdf>)