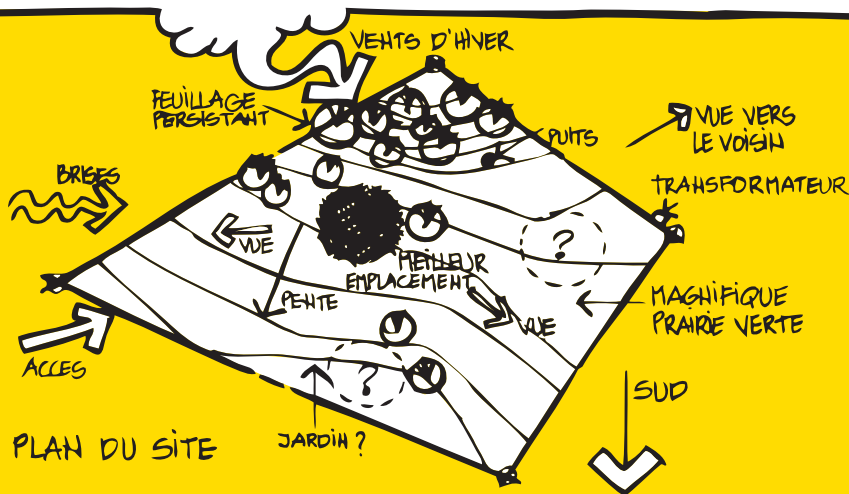


# manuel d'architecture énergétiquement efficace



l'efficacité énergétique au service de la conception architecturale des maisons individuelles



→ **mode d'emploi - le mot du CAUE 13**

→ **conception**

huit points à suivre pour  
une conception énergétiquement efficace  
implantation et effet de masque  
orientation  
voierie et stationnement  
végétation et confort  
confort d'été

→ **enveloppe bioclimatique**

vitrages et menuiseries  
murs à isolation répartie  
maçonnerie traditionnelle isolation intérieure ou extérieure  
constructions à ossature bois et acier  
isolants naturels  
toiture végétalisées  
composants solaires d'enveloppe  
ventilation et puits provençal

→ **installation**

intégration dans les projets  
intégration dans l'existant

→ **bibliographie et lexique**



# mode d'emploi →

## le mot du CAUE 13

L'impact des bâtiments sur les émissions de gaz à effet de serre et sur l'accélération du réchauffement climatique n'est plus à prouver. La « fin des ressources et des énergies fossiles » est une certitude. La part du bâtiment dans les dépenses énergétiques françaises est d'environ 40% tout compris. Les différents états et instances internationales ont pris des engagements depuis la fin des années 80 pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ces engagements se traduisent dans les faits au niveau de la construction, de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire par des décrets d'application et des lois traitant des performances énergétiques des constructions neuves ou réhabilitées, des modes de déplacements... La réglementation thermique de 2005, appelée à être renforcée d'ici 2010, applicable au bâtiment neuf, une réglementation thermique pour les bâtiments anciens applicable à partir de juin 2008 forment le cadre législatif, des labels de diverses performances vont au-delà des réglementations. Ces performances sont analysées et vérifiées lors de l'instruction du permis de construire déposé en mairie.

La validité de ces pièces est une condition nécessaire à l'obtention du permis de construire. Parallèlement à ces règlements, un diagnostic de performances énergétiques est mis en place afin de préciser au futur acquéreur ou locataire, quelle est la consommation énergétique globale du logement et son impact sur les émissions de gaz à effet de serre. Ceci permet de prévoir la dépense financière liée au chauffage/rafraîchissement, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage, la qualité de l'air.

Afin de simplifier la réalisation de ces documents et rendre performant le logement par sa réponse architecturale et sa conception globale suivant ces lignes directrices, le recours à un architecte bien que non obligatoire pour des surfaces inférieures à 170 m<sup>2</sup>, est le moyen le plus sur, efficace et rentable.

Plus la problématique énergétique est intégrée en amont du projet, plus l'architecture peut y répondre, plus l'investissement en phase de conception est valorisé (dans la matière grise), moins le projet présentera de « surprises » dans sa mise en œuvre au niveau des coûts induits par une conception trop rapide ou « traditionnelle », et moins le coût global du projet (conception, construction, vie en œuvre, déconstruction) sera élevé.

Dans l'optique de promouvoir et intégrer cette démarche de maîtrise de l'énergie et de promotion des énergies renouvelables les gouvernements successifs, les collectivités territoriales, les organismes bancaires ont mis en place différentes aides financières ou incitatives. Les espaces info-énergies sont là pour vous renseigner entre autre sur les différents dispositifs : subventions, crédit d'impôts, prêt éco-énergie, contrat de rachat EDF...



S.Godsell architecte maison carter tucker 2001 Australie

## pour une architecture thermiquement adaptée

Dans la pratique, et particulièrement pour les maisons individuelles, de nombreuses entraves s'opposent encore, en France, à une optimisation bioclimatique des bâtiments, même dans des lieux qui s'y prêtent parfaitement.

### → Les règlements d'urbanisme

On trouve encore souvent, dans l'article 11 du règlement d'urbanisme, l'obligation de copier des formes dites « régionales ». Ces contraintes ont souvent de graves conséquences, comme l'interdiction de fait d'une architecture thermiquement efficace, l'augmentation inutile des volumes construits (devant donc être chauffés) et le renchérissement global du coût des travaux, préjudiciable aux choix énergétiques à faire sur les autres pôles (matériaux, mise en oeuvre, équipements).

Sur une maison individuelle, le surcoût d'une forme imposée par des critères extérieurs à la logique constructive et thermique peut représenter jusqu'à 30% du poste « hors d'eau-hors d'air + isolation », pour un résultat thermique médiocre, et une esthétique souvent discutable.

### → La prestation de conception

La réticence des maîtres d'ouvrage individuels à faire appel à un concepteur qualifié est encore trop souvent perçue comme un surcoût dont on pense pouvoir faire l'économie en dessinant soi-même sa maison, ou en confiant cette étape capitale à un dessinateur ou à un constructeur non formés à la conception bioclimatique. Mais la conception n'est pas d'abord l'établissement d'un plan ou d'un dossier de permis de construire : c'est un travail de professionnel « généraliste » qui, s'il est compétent, saura, à partir d'un programme clair, articuler entre eux tous les paramètres complexes du bâtiment, parmi lesquels l'optimisation bioclimatique, la conception technique adaptée et la recherche de solutions économiques pour y parvenir.<sup>[1]</sup>

En outre, son intervention pourra permettre dans beaucoup de cas un dialogue avec les instances administratives pour défendre des options architecturales justifiées sur le plan énergétique et/ou économique qui ne seraient pas strictement conformes à « la lettre » du règlement concernant l'insertion dans le site.

*[1] Les connaissances en bioclimatisme et la maîtrise technique et économique ne sont pas les qualités les plus généralement reconnues à la plupart des architectes en France. L'image que le « grand public » a de la profession est plutôt celle d'esthètes, surtout préoccupés de formes et d'effets. Cette image est de moins en moins juste : un nombre croissant d'entre eux sont sensibles aux questions environnementales et se forment à la maîtrise de ces paramètres. Par ailleurs, ils sont aussi plus nombreux aujourd'hui à s'intéresser de nouveau à l'habitat individuel, secteur dont ils avaient été écartés par les constructeurs, et dans lequel l'approche bioclimatique permet de redonner toute légitimité à leur profession. L'architecte a la capacité de gérer toutes les données, il est chef d'orchestre du projet.*



# conception *chapitre 1*

*une conception adaptée c'est 50% de la performance énergétique*



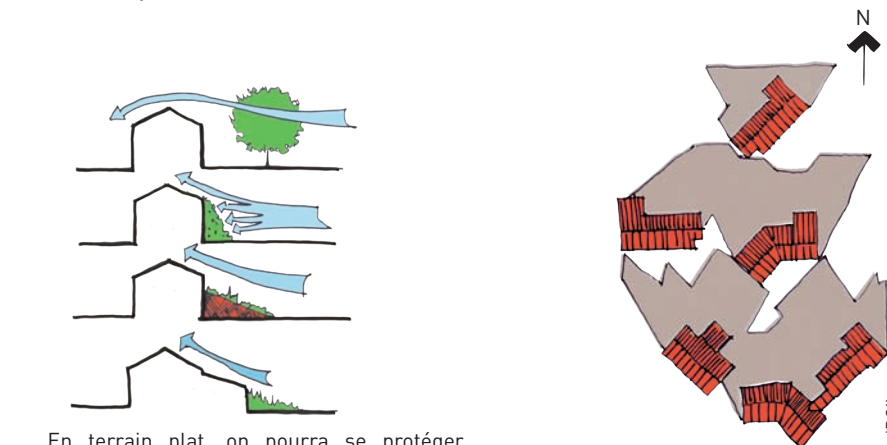
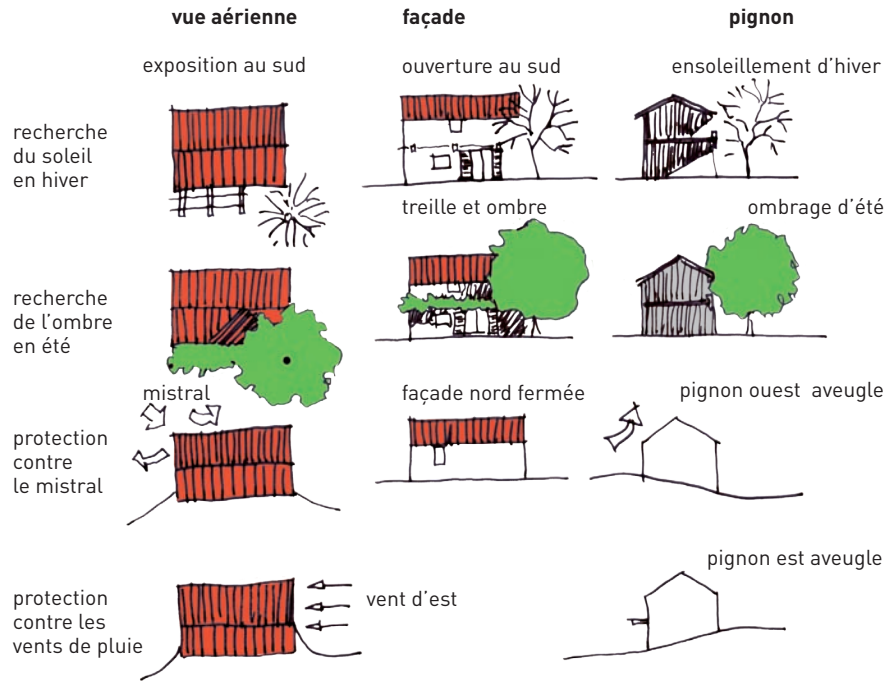
## Huit points à suivre

*pour une conception énergétiquement efficace*

Une conception bioclimatique réussie est du point de vue des besoins thermiques une construction tendant vers l'autonomie. Dans cette conception intégrée, les divers équipements « actifs » permettant de gérer les calories gratuites du rayonnement solaire, de même que le système de ventilation nécessaire à l'optimisation thermique du bâtiment, ne sont plus que des « assistants », dont la consommation énergétique est minime.

- Bien analyser et prendre en compte le terrain, l'environnement proche et le microclimat (soleil, vent, végétation).
- Concevoir ensuite un dessin général de l'habitation présentant une bonne compacité et répartissant les différentes pièces suivant les orientations des façades.
- Isoler avec soin pour conserver la chaleur l'hiver et éviter qu'elle ne pénètre durant la saison chaude.
- Capturer le soleil pendant la période de chauffage par les vitrages, une véranda ou des murs massifs, tout en se protégeant du rayonnement d'été.
- Stocker l'énergie dans la masse du bâtiment et amortir les variations de température grâce à l'inertie thermique.
- Limiter les infiltrations d'air parasites et prévoir un renouvellement de l'air utilisant au mieux la ventilation naturelle ou une ventilation contrôlée efficace.
- Laisser largement entrer la lumière du jour pour favoriser l'éclairage naturel, en veillant aux risques d'éblouissement ou de surchauffe.
- Choisir enfin un appoint de chauffage approprié peu polluant.

# implantation et effet de masque



analyse des ombres portées en hiver de maisons jumelées pour déterminer leur emplacement.

En terrain plat, on pourra se protéger de plusieurs façons: par des haies, en végétalisant la façade nord, par des remblais de terrain, ou par la forme architecturale.

Observez, les dispositions des constructions anciennes de proximité pour connaître les principaux facteurs climatiques dont on peut tirer parti ou se protéger.

Les schémas ci-contre, montrent par exemple comment dans un climat donné, celui de la Provence, l'habitat traditionnel isolé (par opposition à l'habitat en bande ou lotissement) s'adapte avec le minimum de moyens aux quatre grandes contraintes locales : des hivers ensoleillés et relativement froids par absence de nébulosité, des étés chauds et secs, un régime des vents dominé par le mistral soufflant nord à nord-ouest, parfois ouest, violent, sec et froid, et des vents d'est à sud porteurs de pluies orageuses, principalement à l'automne et au printemps.

De façon générale, en construction neuve, on choisira sur le terrain l'endroit privilégié pour bénéficier au maximum :

- des protections naturelles au vent froid et au soleil estival par les mouvements du terrain naturel et la végétation existante ;
- de l'ensoleillement hivernal en évitant les masques portés par les feuillages persistants, le relief et les bâtis existants.

Quand le relief ou la végétation existante ne présentent pas ces caractéristiques, il sera souvent possible d'intervenir pour aménager l'environnement proche par des mouvements de terrain ou des plantations : essences caduques au sud et sud-ouest, persistantes au nord (dans la mesure où elles préservent au voisinage son « droit au soleil »), haies de hauteur limitée à l'est, permettant l'arrivée rapide du soleil en hiver...

On n'oubliera pas bien sûr dans le choix d'implantation les vues possibles, mais surtout les nuisances relevées sur le site :

- Le **bruit**, pour lequel si cela est possible, on tâchera d'éloigner au maximum les façades de la source, et créer des espaces extérieurs protégés ;
- Les **risques naturels** tels que éboulement ou glissement de terrain, inondation, séismes... qui entraîne certaine contrainte technique pour la construction et sont à intégrer dès les premières phases de conception.

Dans le cas d'un lotissement, on optimisera l'implantation sur chaque parcelle en prenant en compte, l'implantation des constructions voisines de manière à respecter pour chacune le « droit au soleil et à la vue », c'est-à-dire, faire en sorte qu'une construction ne soit pas victime de l'ombre portée d'une autre, ou bien que la quantité de soleil disponible pour chaque logement soit la même en fonction des saisons.

# orientation



## Orientation et forme : ensoleillement et compacité

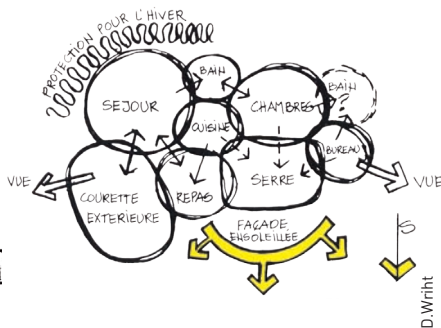
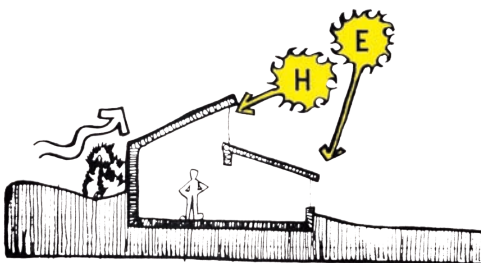
Les parois d'un bâtiment « climatique » étant soit principalement captrices (parois sud) ou principalement déperditives (parois nord), et alternativement captrices et déperditives (parois est, ouest et toiture), la forme optimale, d'un point de vue énergétique, est celle qui permet simultanément de perdre un minimum de chaleur et d'en gagner au maximum en hiver, et d'en recevoir un minimum en été. Compte tenu des données du site et du climat, le concepteur compose avec ces deux paramètres de base : ensoleillement et compacité.

Sous nos latitudes, c'est la façade sud qui reçoit le maximum de rayonnement solaire en hiver, et les façades ouest et est, ainsi que la toiture en été.

Pour optimiser la thermique d'hiver comme celle d'été, il s'agira de développer au maximum la surface des façades sud, et de réduire celle des façades ouest, est et des toitures. On choisira donc la forme allongée dans l'axe est-ouest. Cette configuration, avec des profondeurs réduites nord-sud, lorsque compatible avec les autres considérations de site ou de programme, favorise aussi très efficacement l'éclairage naturel des pièces à vivre durant la journée et augmente le potentiel de ventilation naturelle du projet.

Pour un volume habité équivalent, l'enveloppe présentant la plus faible surface de parois extérieures sera celle présentant le moins de déperditions thermiques.

La recherche de la géométrie la plus compacte possible doit être pondérée par la priorité donnée à la surface de façade sud, et rester bien sur en cohérence avec les autres objectifs architecturaux. La recherche d'une compacité optimum se justifie aussi d'un point de vue économique : moindre quantité de matériaux, moindre complexité, et donc moindres coûts (économiques et écologiques) de construction et de maintenance.



# voirie et stationnement

Définis en principe lors du choix de l'implantation de l'habitation, la voirie et le stationnement présentent des points importants à relever.

Ceux-ci seront de préférence au nord, de surface autant réduite que possible et constitués d'un revêtement perméable, l'objectif étant de réduire le ruissellement de l'eau de pluie sur la parcelle et le risque inondation.

Le revêtement sera plutôt de couleur claire, avec un éloignement minimum et certain des façades pour réduire les risques de surchauffe en été par un rayonnement trop important et proche, ou bien éviter l'îlot de chaleur. (Voyez-vous en été sur les routes goudronnées comme une flaque d'eau sous le soleil ? un mirage ? c'est effectivement la chaleur qui se dégage de la route par rayonnement).

On cherchera donc à ombrager les espaces de stationnement et protéger les véhicules. Ceux-ci à l'ombre ne nécessitent plus directement la mise en route des climatiseurs qui augmentent fortement la consommation en carburant des véhicules (+ 20 à 30%) et donc les rejets de gaz à effet de serre.





# végétation et confort

La végétalisation du site et des abords du logement est un moyen de transformation ou de création de microclimat. Le choix des espèces, persistantes ou caduques, de haute tige ou buissonnante, fructifiant ou non, est important et dépend de la localisation et du rôle que l'on attend pour chacune des plantes.

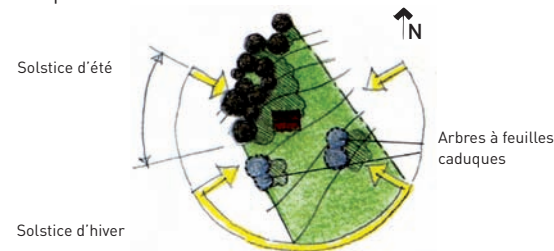
On s'attachera à choisir des espèces locales ou adaptées aux conditions climatiques, présentant de faibles besoins en eau et un risque allergène réduit.

Les arbres proches ombragent les façades à certaines heures de la journée, en fonction de leur emplacement et de leur taille. Les pergolas, les toitures et façades végétalisées interceptent une partie des rayons solaires. La végétation au sol (arbres, arbustes, surfaces en herbe), comparée à un revêtement minéral ou goudronné, limite la surchauffe de celui-ci. En augmentant l'humidité de l'air environnant, la végétation crée autour de la maison un microclimat plus frais.

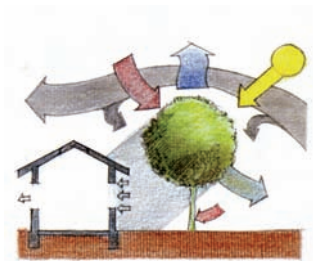
Entourer sa maison d'arbres ou de haies protège contre le soleil en été et contre les regards indiscrets, mais il ne faut évidemment pas le faire au détriment des apports solaires d'hiver et de l'éclairage naturel.

On choisit des espèces à feuilles caduques, qui protègent du soleil en été et le laissent passer en hiver. On plante les arbres de préférence à l'est et à l'ouest, ce qui permet d'occulter en été un soleil bas assez puissant sur ces faces. On préfère au nord des espèces persistantes.

La nature du revêtement du sol autour de la maison a également un impact important sur la température autour de la maison et à l'intérieur. Un revêtement minéral (asphalte, ciment, dalles en pierre) absorbe et accumule le rayonnement solaire pendant la journée, et le restitue en partie sous forme de chaleur (rayonnement infrarouge) pendant la nuit.



exemple de boisement ou de plantation favorable. L'emplacement de la maison, à mi-pente sur le terrain orienté au sud-est, est protégée à l'ouest du soleil d'été bas sur l'horizon. Les arbres au sud-est et sud-ouest, plus bas et à feuilles caduques, n'interceptent pas le soleil d'hiver.



les protections végétales au sud ombragent les façades mais également filtrent les poussières, protègent des vents chauds, oxygènent l'air et le rafraîchissent par évapo-transpiration 17



### végétation et confort...

Un bâtiment entouré d'un sol végétalisé recevra par réflexion moins de rayonnement solaire supplémentaire que s'il est entouré par un sol nu ou aménagé de matériaux lisses et réfléchissants.

Enfin, l'albédo du sol (pouvoir réfléchissant) est aussi très important : la végétation ayant un faible albédo, un bâtiment entouré d'un sol végétalisé recevra par réflexion moins de rayonnement solaire supplémentaire.

La présence de végétation baisse la température de 1 à 4°C en période chaude.



## murs végétaux et pergolas

Lorsqu'elle est suffisamment dense, la végétation murale constitue une barrière très efficace contre la pénétration des rayons solaires. L'évaporation des plantes maintient au niveau du mur une température nettement inférieure à celle de l'air ambiant.

Le lierre présente l'avantage de ne pas nécessiter de support et d'avoir un feuillage persistant.

Il ne dégrade pas les murs à condition que ceux-ci soient en bon état au départ. Mais bien d'autres plantes peuvent grimper contre des murs après installation d'un support. La plupart d'entre elles fleurissent et quelques unes donnent des fruits.

## toitures végétales

Peu répandues en France, les toitures végétales sont plus nombreuses dans les pays nordiques, pays pionniers dans ce domaine.

Elles permettent une très bonne protection solaire du toit. Le rayonnement solaire est d'abord absorbé par la végétation puis par la terre. Grâce à leur forte masse thermique et à l'évapotranspiration, ces toitures amortissent fortement la pénétration de la chaleur extérieure. Elles stabilisent le ruissellement des eaux de pluies et participent à l'intégration des bâtiments dans le paysage.

Les toitures-terrasses sont évidemment les plus adaptées, mais il est également possible de végétaliser des toits en pente, à condition que cette dernière ne soit pas trop forte (moins de 25°, dans nos régions, la pente est de 18°).

Les techniques de végétalisation et les plantes utilisables à cet effet sont nombreuses. Les plantes à sédums présentent l'avantage d'être très résistantes à la sécheresse, de se contenter de substrats de faible épaisseur et de nécessiter peu d'entretien.



## confort d'été

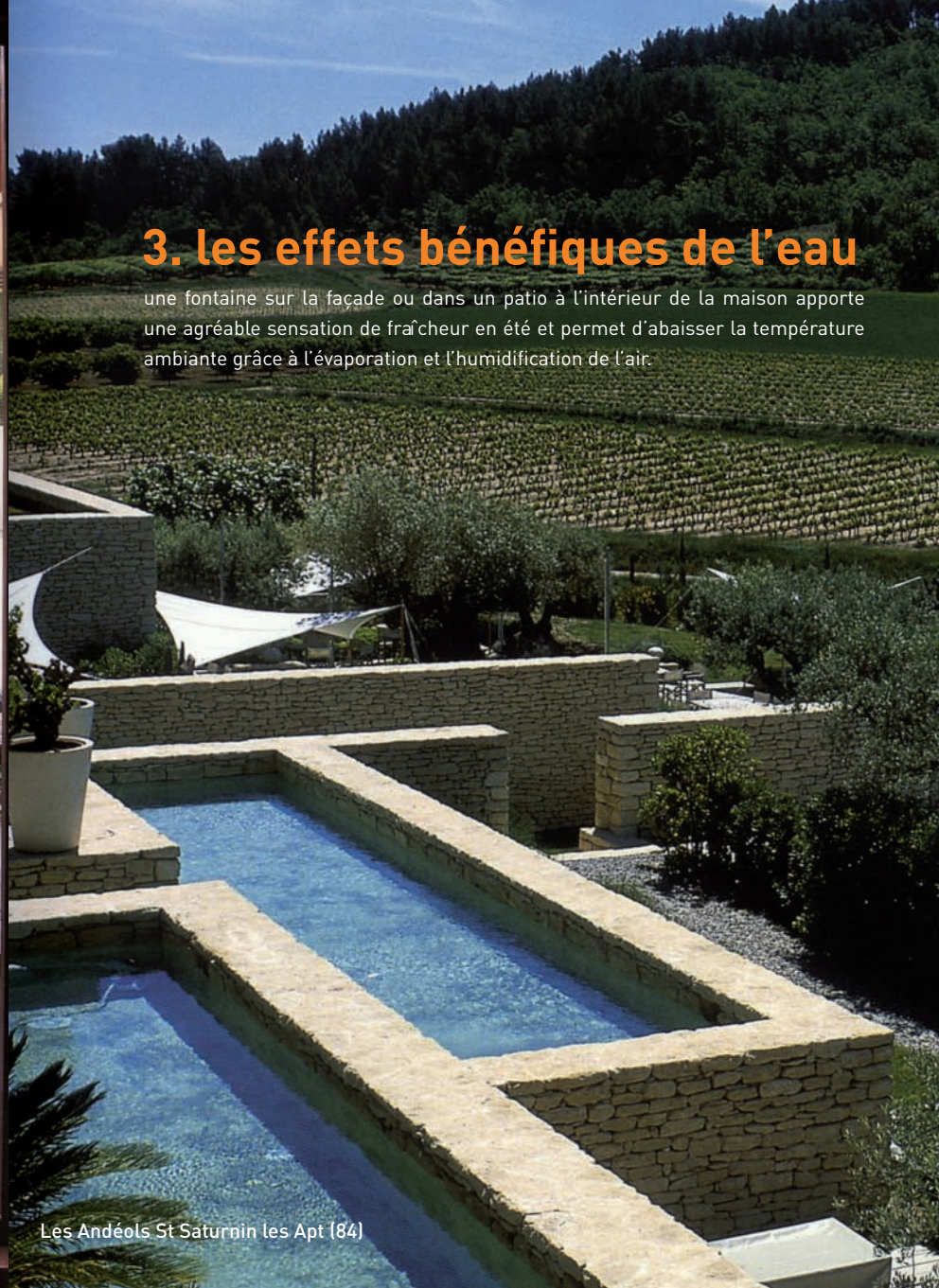
**cinq solutions relevant de l'architecture et faisant appel à des phénomènes naturels simples peuvent être utilisés et combinés pour obtenir des conditions d'ambiances acceptables.**







Shim-Sutcliffe architecte 2002 Canada



### 3. les effets bénéfiques de l'eau

une fontaine sur la façade ou dans un patio à l'intérieur de la maison apporte une agréable sensation de fraîcheur en été et permet d'abaisser la température ambiante grâce à l'évaporation et l'humidification de l'air.

Les Andéols St Saturnin les Apt (84)



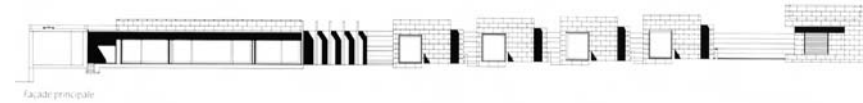
Carlos Ferrater architecte 2001 Espagne



B. Bonnier architecte 1998 Cotignac (83)

## 4. inertie interne

les vieilles maisons de ville ou de campagne en pierre et terre locale, possèdent une capacité thermique ou inertie tellement importante que durant la nuit, les calories emmagasinées la journée, peuvent être évacuées, laissant ainsi la fraîcheur sensible la journée.



## 5. des espaces extérieurs protégés

écrans végétaux, patios ou terrasses couvertes constituent une solution agréable lorsqu'il fait très chaud.





## chapitre 2 enveloppe bioclimatique

les techniques constructives, la qualité de la maîtrise d'oeuvre, l'enveloppe performante, l'étanchéité à l'air c'est 35% d'économie d'énergie





# construire

→ CONCEPTION  
CONSTRUCTION  
INSTALLATION

- Vitrages et menuiseries
- Maçonnerie traditionnelle isolation intérieure ou extérieure
- Murs à isolation répartie
- Constructions à ossature bois et acier
- Isolants naturels
- Toitures végétalisées
- Composants solaires d'enveloppe
- Ventilation et puits provençal

Le parti architectural et constructif permet à la fois d'optimiser les apports solaires en hiver et de réduire les déperditions thermiques. Toutes les précautions sont prises pour contrôler l'ensoleillement du bâtiment: avancée de toiture, pare soleil orientables, stores et ou végétation à feuilles caduques. Le confort estival est assuré par la forte inertie du bâti en maçonnerie.



orientation	→	ratio surface de fenêtre /surface de plancher
sud	→	20 % à 35%
est-ouest	→	10 % à 25%
nord	→	0 % à 10%

répartition des surfaces de vitrage en fonction des orientations

## 1. vitrages et menuiseries

Les fonctions des baies vitrées sont multiples : transmission de la lumière, vues sur les extérieurs, possibilités d'aération... Organes de captage solaire les plus simples, les plus économiques, les plus répandus leur dimensionnement doit être optimisé en fonction des besoins et des contraintes du site.

Leurs points faibles sont principalement les déperditions thermiques (1/3 des déperditions totales du bâtiment) et leur responsabilité dans les surchauffes estivales lors de grandes surfaces. (Plus les vitrages sont grands, plus les risques de surchauffe augmentent).

Le dimensionnement des baies vitrées devra tenir compte de leur bilan thermique fonction de la performance thermique du vitrage et de l'ensemble de la baie ; de l'orientation des baies vitrées, et des performances des éventuelles occultations (volets, voilages...)

L'apport du double vitrage est aujourd'hui certain avec des performances multipliées par 4 ou 6, pour des double vitrage avec une lame d'argon et un revêtement faible émissivité (soit  $U_w \leftarrow 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) par rapport à un simple vitrage ( $U_w \rightarrow 6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) : les baies vitrées capteront plus de calories qu'elles n'en laisseront partir.

On peut envisager du triple vitrage pour des baies fixes, ce qui augmentera la performance de l'enveloppe sans en augmenter le coût.

En augmentant la largeur des baies et en rapprochant la baie du nu extérieur, on améliorera le captage mais aussi le risque de surchauffe dans nos régions. On choisira donc d'enfoncer les fenêtres dans les tableaux, ceux-ci jouant le rôle de protection solaire fixe. On fera attention au traitement des ponts thermiques.

Avec les apports thermiques provenant du soleil, il faudra des parois captant les rayonnements avec une réelle capacité de stockage thermique.

Pour favoriser le stockage, les sols et murs seront réalisés avec des matériaux à forte capacité thermiques et de couleur sombre (pour les surfaces exposées).

## 2. maçonnerie traditionnelle isolation intérieure ou extérieure

On séparera dans le cas de la maçonnerie traditionnelle l'isolation extérieure favorable à la performance de l'enveloppe et au confort intérieur à la différence de l'isolation intérieure qui sera mise en oeuvre en général dans les cas de réhabilitation où la façade ne peut être touchée. La technique du double mur avec isolation intégrée permet d'obtenir une inertie intérieure forte et les **parements traditionnels**.



Souto de Mora architecte Portugal 1998



E. Gouesnard architecte Maison Soulié-Bertho 1995

### Différentes techniques de murs ←

Monomurs de terre cuite : briques de terre cuite constituées de plusieurs alvéoles alignées (19 rangées minimum). Monomurs de béton cellulaire (type siporex ou ytong) : blocs préfabriqués de béton allégé par expansion. Monomurs en blocs allégés : blocs préfabriqués à partir de granulats légers et de liant à base de ciment. Monomurs en bois massif : rondins de bois ou en madriers massifs empilés.



A. Lauzinger architecte Autriche 2002

E. Chazelle H. Raynaud architectes Auvergne 1994

## 3. murs à isolation répartie

Il s'agit d'une nouvelle technique reprenant les principes des murs de tradition ancienne constitués d'une masse souvent importante de matériaux destinés à assurer à la fois leur stabilité, et à fournir elle-même par son épaisseur, la protection climatique et thermique.

Il s'agit aujourd'hui à travers des process évolués et ne nécessitant que peu de main d'œuvre, d'obtenir une paroi homogène de part en part, assurant à la fois les fonctions mécaniques et climatiques. On parle souvent de monomur.

## 4. construire en ossature bois et acier



D.Untertrifaller architecte 1998 Autriche

Le bois est une source de création et d'innovation:

Bois et verre, un assemblage de chaleur et de lumière

Bois et acier, chaleur et modernité.

L'utilisation de l'ossature bois permet de réduire les délais sur chantier de moitié.

Elle nécessite peu d'énergie et pas d'eau pour son montage. Ce sont des constructions en filière sèche qui permettent l'intervention des autres corps de métiers immédiatement après le montage.

La préfabrication en atelier, ainsi que les dimensions réduites des panneaux permettent une manipulation sans moyen de levage particulier. La préfabrication permet aussi un abaissement substantiel des coûts de fabrication, une réduction des déchets de chantier. Enfin, la rapidité de mise en oeuvre sur le chantier, qui réduit le temps global de la construction, engendre la réduction d'éventuels intérêts intercalaires et autres loyers.

Des matériaux écologiques recyclables tels que le bois, la terre cuite, la terre crue, les enduits à base de chaux, le chanvre et autres fibres végétales sont largement utilisés pour leurs propriétés thermiques ou mécaniques en remplissage maçonné des ossatures bois ou acier. On a un principe d'isolation répartie.

Une autre technique de remplissage, et d'obtention de la mise hors d'eau hors d'air du logement, des murs de façades sur la structure bois ou acier, est l'utilisation de panneaux, d'isolants et parements, sur une ossature secondaire, le tout enveloppant la structure. Il s'agit dans ces cas d'une enveloppe à faible inertie. On a un principe d'isolation médiane.

## 5. l'isolation

L'isolation représente une grande part de la performance énergétique d'une maison. La meilleure solution dans plus de 90 % des cas est l'isolation par l'extérieur qui permet au mur de garder son rôle d'inertie à l'intérieur du logement.

L'isolation est une notion complexe dans laquelle il faut faire un compromis entre différents paramètres que sont notamment, la composition et l'épaisseur des murs, l'orientation et la destination des pièces, le mode de chauffage, le mode de vie des occupants, et une notion très importante surtout dans le bâti ancien : l'hygrométrie.

Les matériaux écologiques d'isolation ont des performances très importantes l'hiver, mais surtout l'été (en comparaison avec les isolants conventionnels), ils peuvent se charger d'humidité sans perdre de leur efficacité et la restituer lorsque le milieu s'assèche. Ils laissent le bâti respirer seul, ce que l'on appelle la perspiration. Une autre de leurs qualités étant une très grande stabilité dans le temps.

Exemple d'isolants naturels, laine de chanvre ou de lin et chènevotte, fibre de bois compressée ou laine de bois, ouate de cellulose, paille, liège en panneau et en vrac, laine d'origine animale (plume de canard, mouton).



Sahra Wigglesworth architecte 2001 Londres

## 6. toiture végétalisée et traditionnelle

Végétaliser les toitures en zones urbaines présente des avantages pour l'environnement et la qualité de vie des citoyens.

La technique de la toiture végétalisée devrait permettre, à grande échelle, de réduire les impacts négatifs liés aux évolutions urbanistiques et climatiques ; à l'échelle de la ville, d'améliorer la qualité de l'air et l'esthétique paysager, de réguler la température, d'optimiser la gestion des eaux pluviales ; au niveau du bâtiment, d'améliorer ses caractéristiques thermiques, acoustiques et la durabilité de l'étanchéité de sa toiture, de protéger le bâti...

Elle s'applique aisément sur les principaux supports porteurs (béton, acier et bois).

La végétalisation des toitures est susceptible d'être l'une des solutions destinées à freiner l'augmentation de la pollution et à adoucir le climat urbain.

Etant donné qu'une bonne proportion des eaux de pluie restent sur les toitures végétalisées extensives, elles participent activement à l'humidification de l'air.

Les toitures végétalisées améliorent le confort thermique des villes : elles récréent des zones d'évapotranspiration et d'humidification de l'air dans les villes qui sont devenues des îlots de chaleur et dont la température ne cesse d'augmenter.

En moyenne, les toitures classiques représentent 30 % des déperditions de chaleur d'un bâtiment. La toiture végétalisée extensive permet de pallier le déficit. Elle constitue une stratégie bioclimatique idéale en associant sur le même toit protection solaire, inertie thermique et isolation acoustique. Par ailleurs, du fait de leur faible poids, les toitures végétalisées extensives sont particulièrement bien adaptées aux réhabilitations. Reste à déterminer la superficie nécessaire pour que cette technologie ait une action efficace et mesurable, la performance des toitures végétalisées extensives variant en fonction de la nature du substrat, de sa pose et des conditions climatiques.



# 7.composants solaires d'enveloppe

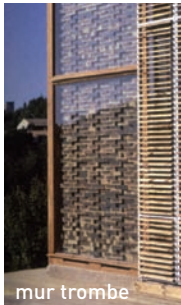
## → Serre et mur trombe

Les vérandas sont des espaces habitables vitrés donnant sur l'habitat. Parmi les différents intérêts que présentent les vérandas, leur utilisation en tant que chauffage est à (re)découvrir. Si elle est source de chaleur pour l'habitat, la véranda constitue également un espace agréable, lumineux et directement chauffé par le soleil, aménageable très personnellement, en salle de jeux, salle de lecture, coin repas, jardin d'hiver, lieu de détente, etc. Pour que la véranda soit le meilleur espace de confort possible et une bonne source de chaleur, certains critères de construction sont à prendre en compte. Une vigilance particulière doit être apportée au fait qu'une véranda, si elle capte la chaleur en hiver, doit rester un lieu de vie agréable toute l'année, et donc ne pas être surchauffée en été.

La première caractéristique d'une véranda est de ne jamais être artificiellement chauffée. Les trois composants essentiels d'une véranda sont : les surfaces vitrées, les masses thermiques et l'isolation thermique. La jonction entre la véranda et l'habitat est essentielle : c'est par elle que la chaleur captée durant la journée par la véranda sera transmise au logement durant la nuit. La masse thermique des matériaux de jonction joue donc un rôle important, même si la simple ouverture de portes et de fenêtres entre la véranda et l'habitat est très efficace pour transmettre la chaleur durant la journée.

## → Bien dimensionnée, une serre froide ou véranda permet de réduire les besoins de chauffage de 15 à 40%.

L'utilisation de la chaleur du soleil en direct par l'habitat peut également passer par l'isolation de murs capteurs. La technique dite des murs «trombes» (du nom de leur inventeur) permet d'optimiser au maximum l'énergie du soleil : placé sur une façade sud, un vitrage est installé en parallèle d'un mur de couleur sombre à forte capacité thermique (béton ou brique pleine, torchis). L'espace (quelques cm) laissé entre les deux parois crée une zone d'air qui est fortement chauffée par le soleil (effet de serre).



mur trombe

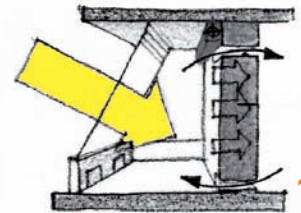


Serre de O.Sidler architecte maison Sidler 1995

L'énergie stockée dans le mur est ensuite restituée lentement dans le logement avec un certain retard, déphasage, (fonction de l'épaisseur et de la capacité thermique du matériau constituant le mur), permettant de bénéficier de la chaleur accumulée dans le mur plusieurs heures après le coucher du soleil. Certains murs, fonctionnant comme des capteurs à air, peuvent être ventilés, apportant ainsi des calories par l'air.

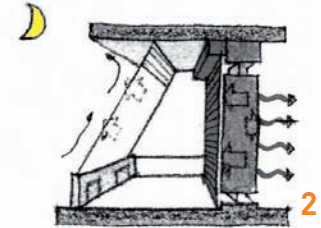
## → Un mur-capteur permet d'assurer un gain moyen de 50 kWh/an par m<sup>2</sup> mis en œuvre, pouvant aller jusqu'à 120 kWh/m<sup>2</sup>.

jour d'hiver



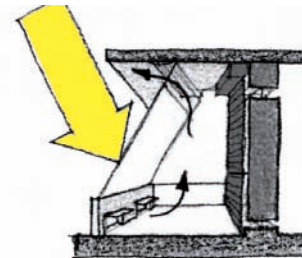
1

nuit d'hiver



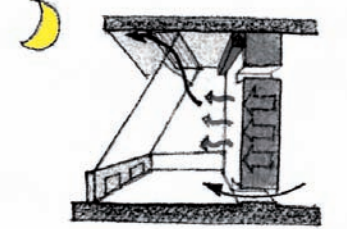
2

jour d'été



3

nuit d'été



### principe de fonctionnement d'une serre

- 1.conduction
- 2.rayonnement
- 3.convection

Les communications entre serre et espace chauffé, matérialisées ici par des orifices spéciaux type mur trombe, sont communément des fenêtres ou des portes fenêtres

# 8. ventilation

Vitale pour la santé des occupants, la performance énergétique et la durabilité du bâti, la ventilation est un élément de première importance pour la construction ou la réhabilitation bioclimatique. Elle satisfait les besoins en oxygène, elle sert à l'évacuation de la vapeur d'eau, à limiter la pollution intérieure et améliorer le confort en éliminant odeurs, fumées et autres polluants. Pour se faire, les systèmes de ventilation doivent remplacer l'air intérieur (vicié) par de l'air extérieur (neuf). Les systèmes se répartissent en deux grandes familles : ventilation par pièces séparées ou par balayage ; systèmes assujettis ou non aux besoins.

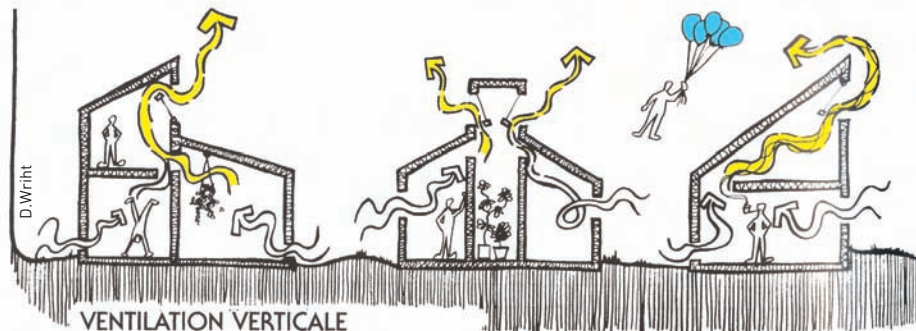
Quand la ventilation naturelle n'est pas possible, il est possible d'installer un système de ventilation mécanique contrôlée (VMC).

**Avec une VMC simple flux**, des entrées d'air autorégables situées dans les pièces principales et une extraction mécanique de l'air réalisé dans les pièces de services, permettent un renouvellement de l'air constant mais ne tient pas compte de l'humidité ni du nombre d'occupant.

**Avec une VMC hygrorégable** (VMC simple flux où le débit de ventilation est modulé en fonction de l'occupation et de l'hygrométrie) permet une ventilation de l'air en fonction des besoins réels, d'où des économies d'énergie de chauffage.

**Une VMC double flux** récupère la chaleur contenue dans l'air évacué du bâtiment : l'air froid entrant est alors réchauffé dans un échangeur puis soufflé dans les pièces principales et évacué dans les pièces de services. Ce système exige une excellente étanchéité à l'air du bâtiment, des ventilateurs à faible consommation et un entretien régulier.

**Pour une ventilation écologique**, il faut limiter les besoins de renouvellement de l'air, pour cela réduire les pollutions à la source et réaliser des parois composant avec la présence de vapeur d'eau ; assurer un balayage complet des espaces habités de façon à avoir un air intérieur sain ; limiter au maximum la consommation de l'installation ; avoir une installation fiable et pérenne.

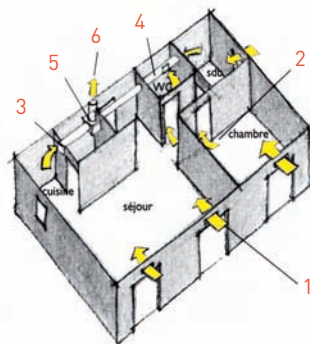


## Pratique

Ventilation naturelle et déperdition thermique, hiver :  
Comment aérer en grand une pièce en hiver ?

Fermer tous les appareils de chauffage et ouvrir en grand les fenêtres pendant 5mn. L'air sera renouvelé rapidement sans que les murs aient le temps de se refroidir.

A l'inverse, entrebâiller une fenêtre sans éteindre les chauffages, le renouvellement de l'air sera insuffisant, des courants d'air désagréable vont s'établir des points chauds aux points froids finissant par refroidir les murs.

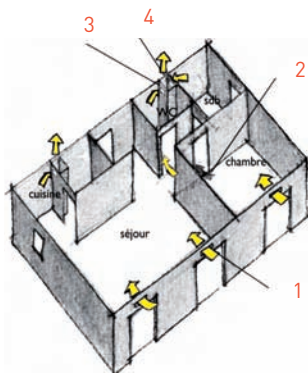


### principe de VMC simple flux autorégable.

1. bouches d'entrée d'air autorégables (1 à 2 par pièce principale)
2. passage de transit
3. bouches d'extraction autorégables (1 par pièce humide)
4. gaines
5. bloc extracteur
6. évacuation de l'air vicié

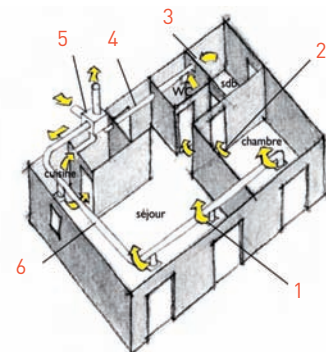
### principe d'installation générale par balayage en ventilation naturelle par tirage thermique.

1. grille d'entrée d'air (dans pièces principales)
2. passage de transit
3. grille d'extraction de l'air-vicié (dans les pièces humides)
4. conduit d'évacuation vertical non mécanisé ou «cheminée thermique»



### principe de VMC double flux avec récupération de chaleur.

1. bouches d'entrée d'air (1 à 2 par pièce principale)
2. passage de transit
3. bouches d'extraction de l'air-vicié (1 par pièce humide)
4. gaines du système d'arrivée d'air neuf
5. gaines du système d'extraction
6. bloc extracteur avec récupérateur de chaleur intégré.



## 9. puits provençal

Ce dispositif ancien de ventilation permet de profiter de la chaleur et/ou fraîcheur qui vient du sol.

En hiver (puits provençal), le sol est plus chaud que la température extérieure : l'air froid est donc préchauffé lors de son passage dans les tuyaux. En été (puits provençal), le sol est à l'inverse plus froid que la température extérieure : ce « puits » astucieux va donc utiliser la fraîcheur relative du sol pour tempérer l'air entrant dans le logement ! La bouche d'entrée du puits provençal peut être aménagée de végétation à base de fleurs qui jouera le double rôle de filtrage de l'air entrant tout en dispersant une agréable odeur de parfum.

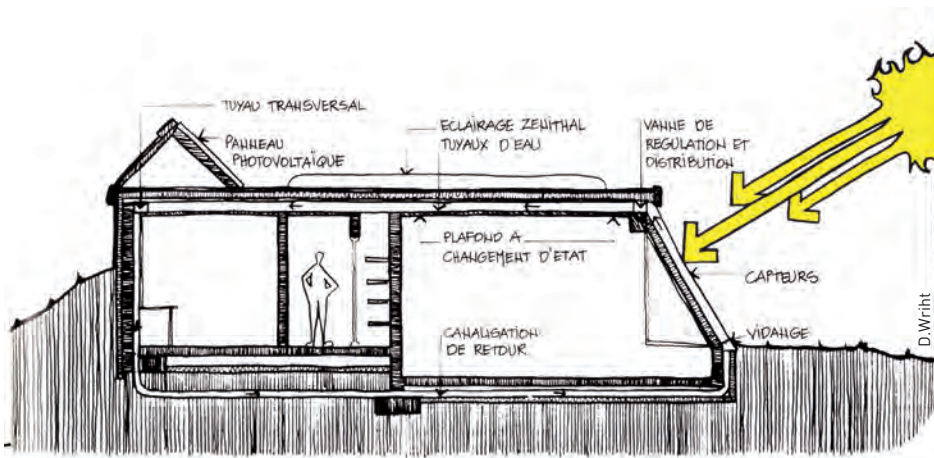
Il est un système qui se sert de l'inertie thermique du sol pour égaliser ces variations thermiques. Méconnu il peut réduire la température de 5 à 8°C dans la maison les jours de canicule pour une consommation électrique dérisoire.

Il diminue également la consommation de chauffage l'hiver .

En enfouissant une gaine d'aspiration d'air d'une longueur et d'un diamètre suffisant à cette profondeur, quelque soit la température extérieure, au bout de la gaine elle avoisinera les 18° à 20°C en été et environ 13° à 15°C en hiver.

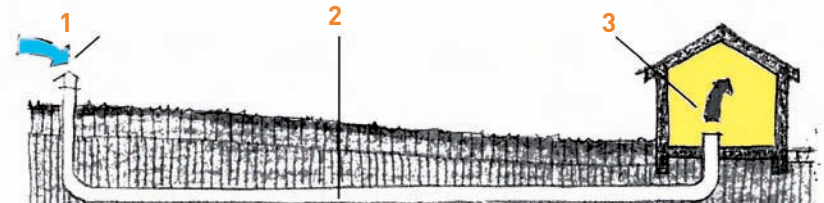
En hiver l'air froid extérieur, se réchauffant devient donc relativement plus sec. Il arrive dans la maison à 13°C et vous ne dépensez de l'énergie que pour le réchauffer à 19°C. La dépense énergétique est réduite.

En été, lorsqu'il fait chaud et humide à l'extérieur, l'air chaud saturé en humidité condensera dans la gaine pour venir ensuite rafraîchir la maison.



capteur à air : air circulant en enveloppe des volumes habitables, inertie interne-isolation extérieure.

→ Le puits provençal économise de l'énergie en hiver et rafraîchit la maison en été.



→ schéma de principe d'un puits provençal.

La terre tempère l'air passant dans la canalisation. Le système de ventilation de la maison aspire l'air du puits et le distribue dans l'espace intérieur.

1. entrée d'air (froid ou chaud selon saison)

2. canalisation enterrée

3. distribution dans la maison par le système de ventilation.





## installation **chapitre 3**

*une installation technique, capteur à air, panneaux solaires , photovoltaïques c'est 80% d'économie d'énergie.*

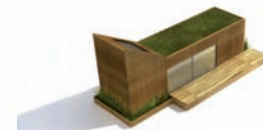


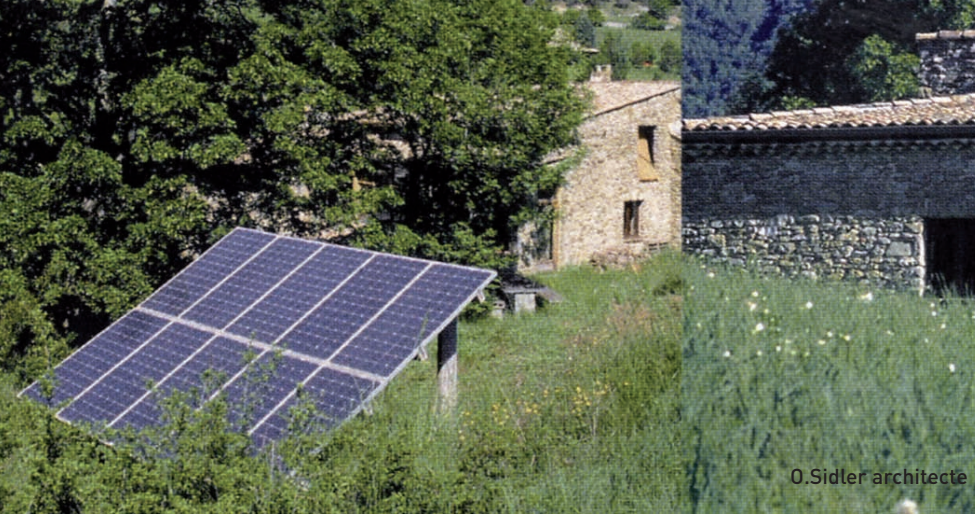


  
intégrer

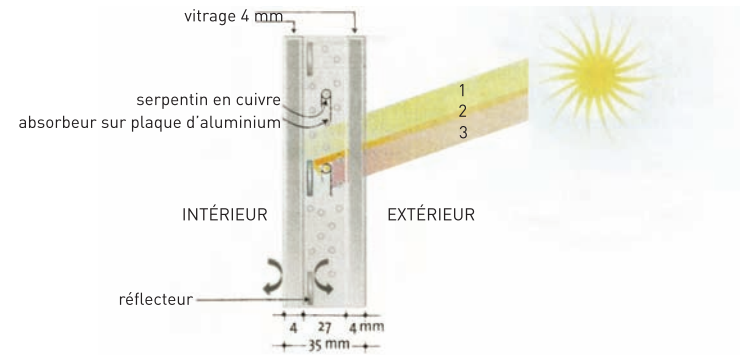
→ CONCEPTION  
CONSTRUCTION  
INSTALLATION

intégrer  
les équipements solaires dans les projets





O.Sidler architecte

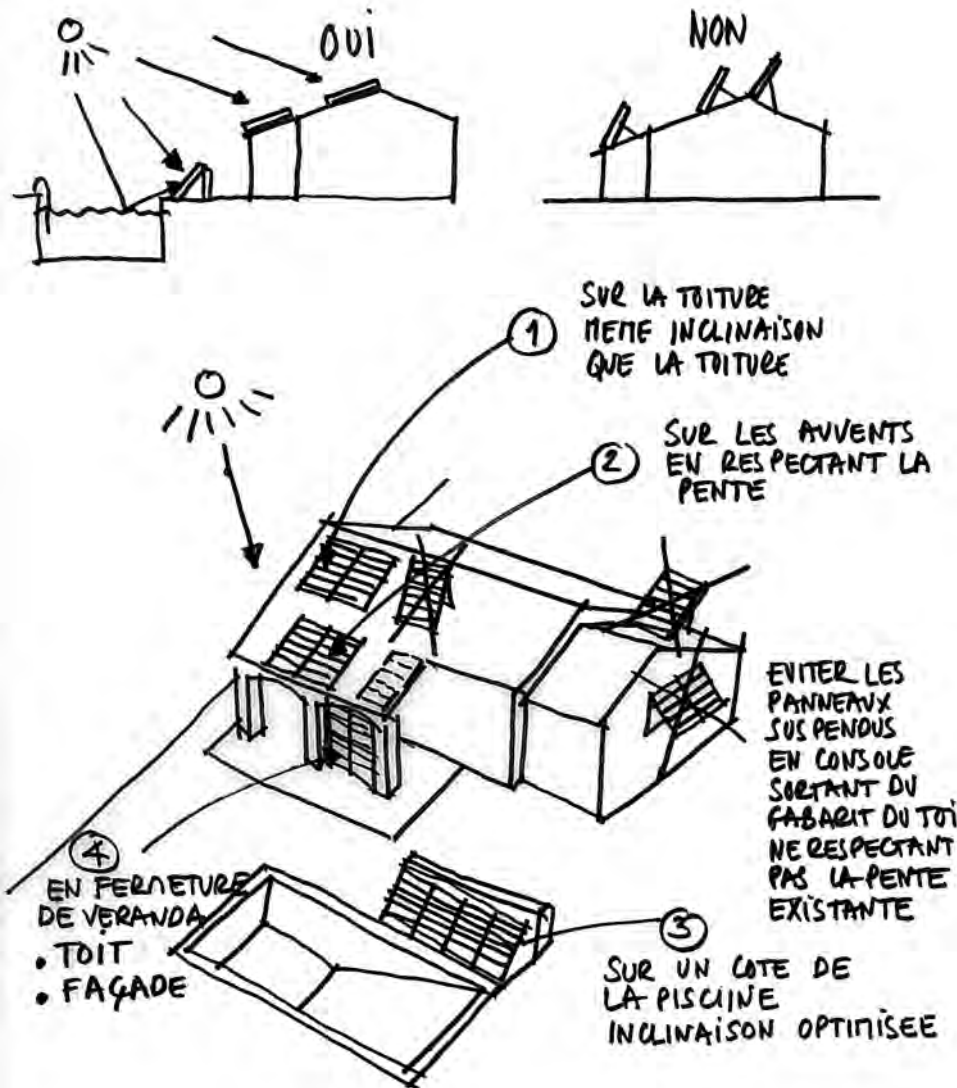


→ dissimuler dans le jardin



la division des capteurs thermique en deux plans verticaux de 9m<sup>2</sup> chacun en façade sud participe à une bonne intégration dans le bâti. Maison Daurel à Bordeaux.

intégrer les équipements solaires dans les bâtiments existants, dissimuler ou mettre en scène les capteurs.



## → le mot de l'architecte conseil

Vous construisez et vous voulez intégrer des panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques dans votre projet.

Quelques consignes simples sont à respecter.

- Positionner les panneaux suivant la pente de toiture : attention ce n'est pas l'inclinaison idéale.

- Éviter les implantations « en console », sortant du gabarit du toit ou suspendus aux façades-pignon

D'autres implantations permettent d'éviter les toitures de la maison :

- Dans le jardin : en bord de piscine, les panneaux peuvent être à la fois posés avec une inclinaison optimale et bénéficier de la réverbération sur l'eau.

- En toiture ou en façade de véranda : les systèmes bi-verre photovoltaïques peuvent également faire office de brise-soleil.

Mais surtout n'oubliez pas en construisant quelques principes fondamentaux de l'architecture traditionnelle de la région : protégez vous du soleil en été, cherchez le soleil en hiver, ventilez naturellement, évitez les surfaces sombres, protégez vous des vents dominants, recherchez l'inertie thermique.

Ces principes respectés seront les premiers à contribuer à l'habitat durable et économe en énergie que vous souhaitez.

Pour habiter une maison énergétiquement efficace il est indispensable de respecter les trois étapes:

- une bonne **conception**
- une bonne **construction**
- une **installation** technique pensée dès la conception

**Besoins en énergie finale de chauffage en kWh/m<sup>2</sup>/an** : besoins annuels en énergie finale de chauffage rapportés à la surface hors œuvre nette du bâtiment. La valeur est obtenue en faisant le bilan des déperditions thermiques (par transmission H ou par ventilation Hv) et des apports en chaleur (solaires As et internes A1) elle caractérise la qualité technique de la protection thermique de l'enveloppe du bâtiment.

**Besoins en énergie primaire en kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an** : besoin annuel en énergie primaire calculés (pour le chauffage des volumes, l'eau chaude sanitaire et le courant électrique nécessaire aux installations) par rapport à la surface hors œuvres nette du bâtiment.

**Capteur géothermique** : souvent appelé puis canadien ou puits provençal, c'est un échangeur de chaleur comportant des tubes horizontaux enterrés à faible profondeur. La température de la terre étant constante, l'air neuf passant dans ces tubes est préchauffé en hiver et rafraîchi en été.

**Capteur solaire** : élément de construction pour obtenir de la chaleur à partir de la lumière du soleil (thermosolaire)

**Cellule photovoltaïque** : En présence de lumière, une cellule photovoltaïque produit du courant sous l'effet photovoltaïque.

**Chauffage basse température** : chauffage dont la température du cycle est inférieure à 40 degrés Celsius.

**Coefficient d'enveloppe** : rapport entre la surface de l'enveloppe chauffée et la surface de référence énergétique.

**Compacité** : état de ce qui est compact, dur. Propriété d'un espace topologique compact

**Consommation en énergie de chauffage en kWh/m<sup>2</sup>/an** : consommation annuelle d'énergie finale pour le chauffage des volumes et l'eau chaude sanitaire (sans le courant de fonctionnement) rapportée à la surface chauffée du bâtiment cette occasion, les déperditions liées au système de chauffage sont prises en compte).

**Échangeur de chaleur** : appareil par lequel la chaleur d'un élément plus chaud est transférée à un autre plus froid (par exemple l'eau)

**Énergie de base** : contenu énergétique de toutes les sources d'énergie dont dispose l'utilisateur final.

**Énergie de chauffage** : quantité d'énergie finale nécessaire à l'installation de chauffage pour pouvoir mettre à disposition la chaîne de chauffage.

**Énergie finale** : énergie livrée à l'utilisateur pour faire fonctionner ses appareils ou énergie immédiatement disponible avant d'être dépensée. L'ensemble de ces énergies détermine la demande totale d'énergie. A ce stade l'énergie est au mieux mesurable de façon statistique.

**Énergie primaire** : Source d'énergie stockée de façon naturelle dans le soleil, l'eau, le pétrole, le gaz naturel, la houille, etc. En France, le coefficient de conversion entre énergie finale et énergie primaire est de 1, sauf pour l'électricité (2,58) et pour le bois (0,6).

**Énergie renouvelables** : type d'énergie qui sont en permanence disponibles (énergie solaire éolienne, hydraulique) ou tirées de matières d'origine végétale.

**Énergie utile** : énergie utilisée sous forme d'éclairage, de chauffage et d'électricité.

**Évapotranspiration potentielle (ETP)** : valeur climatique théorique, qui associe la valeur de l'évaporation d'un sol à celle de la transpiration des plantes qui le recouvrent.

**Maison basse énergie** : Bâtiment dont la consommation d'énergie de chauffage est inférieure à 70kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an et à 55kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an pour les plurifamiliales, ces normes, fixées par la EnEV (Energieeinsparverordnung), étant liées en Allemagne à l'attribution de subventions.

**Maison « zéro énergie »** : bâtiment autonome au niveau énergétique, c'est à dire qu'il produit l'énergie

suffisante pour répondre à ses besoins en chauffage, en eau chaude et en électricité.

**Minergie** : standard défini pour les maisons à basse énergie en suisse et qui prend en compte l'eau chaude sanitaire, le chauffage et l'électricité.

**Passivhaus** : Bâtiment avec des besoins en énergie finale de chauffage inférieurs à 15kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an ; cela correspond au label suisse Minergie-P.

**Photovoltaïque** : une installation photovoltaïque comprend plusieurs modules PV qui transforment la lumière solaire en électricité.

**Ponts thermiques** : Au moment de la période de chauffage, les ponts thermiques se trouvent là où les températures intérieures de surface des éléments de construction baissent fortement et de façon localisée. Les ponts thermiques peuvent être dus à la géométrie d'un bâtiment, au choix des matériaux ou de la mauvaise exécution en cours de chantier. Le plus souvent ils se situent au niveau des volets roulants, des tableaux de fenêtres, des niches pour radiateur, à l'angle des plafonds, aux liaisons entre les éléments massifs (béton armé, maçonnerie), par exemple au raccord entre le mur et la dalle de balcon ou, entre le mur et la toiture et aux angles des murs extérieurs. Les ponts thermiques ne font pas qu'augmenter la consommation d'énergie de chauffage d'un bâtiment, ils exercent aussi un rôle négatif sur la sensation de confort intérieur et sur l'hygiène du logement, ils sont souvent la cause de désordres liés à la condensation qui s'accompagne de moisissures.

**Renouvellement d'air** : la valeur n indique le taux de renouvellement de l'air contenu dans un volume pendant une heure.

**Système à convection** : système de collecteurs d'air dans lequel le transport de chaleur est effectué par convection, donc par l'air.

**Système hybride** : combinaison de systèmes énergétiques différents et complémentaires.

**Taux de couverture solaire** : part annuelle des besoins en énergie de chauffage ou en énergie utile pour l'eau chaude sanitaire couverte par les installations utilisant activement l'énergie solaire.

**Thermique solaire** : transformation du rayonnement solaire direct ou indirect en chaleur

**Ventilation nocturne** : la ventilation naturelle nocturne est un concept de rafraîchissement qui consiste à tirer profit durant les mois d'été de l'air extérieur nocturne pour rafraîchir les éléments de construction à grande inertie et les utiliser le jour comme « accumulateur thermique »



## bibliographie

Manuel d'architecture naturelle w ed Parenthèses 2004

Le grand livre de l'habitat solaire A.Liébard JP. Ménard P. Piro ed le Moniteur 2007

Architecture et efficacité énergétique R.Gonzalo K.J.Habermann ed irkhaüser

Maisons Contemporaines deux R.A.Barreneche ed Phaidon 2001

Maisons de vacances M Biagi ed Actes Sd/ Motta 2004

Jean Prouvé Les Maisons Tropicales 2005

25 maisons écologiques D. Gauzin-Müller ed Le moniteur 2005

Les nouvelles maisons de Campagne D.Brad Burry ed Seuil 2005

Maisons d'architectes J. Cariou ed Alternatives 1996 volumes 1, 2 et 3

Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques A.Liébard A.de Herde ed le moniteur 2004

L'architecture écologique Dominique Gauzin Miller ed le moniteur 2001

La ville éclaircie, un parcours habité Babled, Nouvet, Reynaud

A vivre n°34 et 42

Ce manuel a été réalisé par  
Sophie Deruaz architecte urbaniste au CAUE 13 avec la collaboration de  
William Martin conseil Q.E.B. , Xavier Chabrol architecte conseil  
Fanny Barrabès graphiste ●●● [www.le-local-design.com](http://www.le-local-design.com)  
mai 2008



**CAUE 13**, 35 rue Montgrand 13006 Marseille  
tél 04 96 11 01 20 / [www.caue13.org](http://www.caue13.org)

## paroles d'architectes ←

« Il faut que l'architecte soit libre d'innover pour atteindre les performances exigées (...) Je ne crois pas à la parcelle : si l'on veut des îlots compacts, il faut mutualiser les équipements (locaux poubelles, parkings...). Ce partage et cette mise en commun des ressources et de l'espace obligent à l'invention. Pourquoi ne pas s'y atteler dans les nouveaux quartiers qui se construisent ? (...) L'architecture innovante doit être ajustée à son milieu, frugale en énergie et réalisée avec peu de moyens. Tout y est pensé spécifiquement, rien ne provient de solutions normées. En plus de ses qualités de spatialité, de confort et de durabilité, l'architecture doit faire rêver »

### **Nicolas Michelin architecte urbaniste**

« Rester libre du choix des solutions architecturales (...) Il n'y a jamais de solution unique ! Le développement durable ne doit pas faire oublier la qualité architecturale, l'innovation, l'invention, l'urbanité, l'émotion. Seul l'architecte peut créer une œuvre qui transcende ces données »

### **Manuelle Gautrand architecte**

« Qui se soucie de voir à l'horizon 2010 toutes les constructions obligatoirement isolées par l'extérieur avec des conséquences patrimoniales désastreuses pour les constructions du sud et d'ailleurs (...) l'isolation par l'extérieur, falsificatrice du réel, interdit le contact physique avec l'architecture (..) refuser d'isoler par l'extérieur sous enduit grillagé devient un acte associatif. Construire en béton est complot militaire (...) L'exigence environnementale réduit rapidement l'énergie critique avec l'efficacité paramilitaire d'une nouvelle dictature de la pensée (...) Elle s'impose comme une doctrine qui arrive à point pour déculpabiliser l'inculture architecturale et culpabiliser la beauté »

### **Rudy Ricciotti architecte**

