

## CHAPITRE G

### L' ANALYSE DE LA NATURE ET DES QUALITES DES ESPACES AU REGARD DES PERFORMANCES ENERGETIQUES ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE, STRATEGIES D'AMELIORATION ET DE CORRECTION THERMIQUE

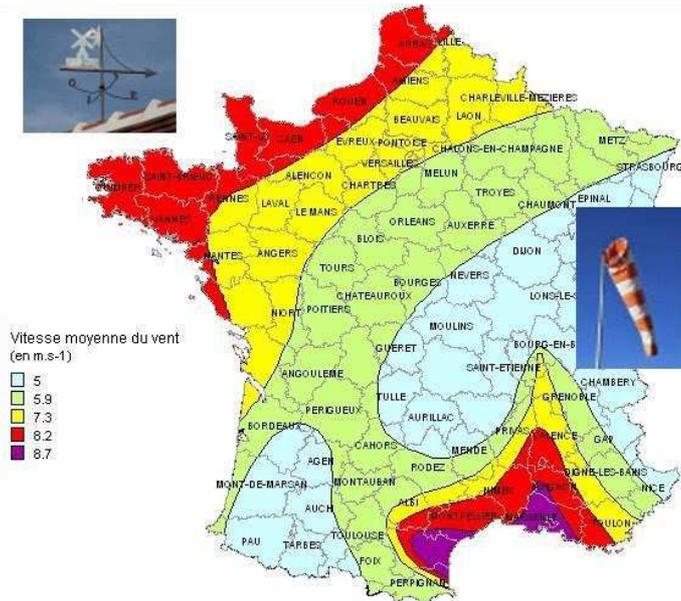
*On a identifié à Pau plusieurs typologies de bâtis établies sur des modes, des matériaux et des époques de construction différentes.*

*Le parc de logement de Pau est majoritairement constitué par des maisons construites avant le premier choc pétrolier. Ce bâti en l'état présente de grandes qualités thermiques et écologiques (inertie et perméance des maçonneries; matériaux naturels et renouvelables) mais ne répond pas aux exigences des réglementations thermiques en vigueur. La rénovation thermique de ces bâtis doit prendre en compte leur spécificité constructive afin de ne pas perdre le bénéfice de leurs qualités premières, ou pire, d'en altérer gravement le fonctionnement et la pérennité.*

*Les techniques de rénovation et d'amélioration thermique appliquées à ces bâtiment devront également prendre en compte et respecter les qualités architecturales et esthétiques qui font la valeur de ces bâtis et des paysages urbains de Pau.*

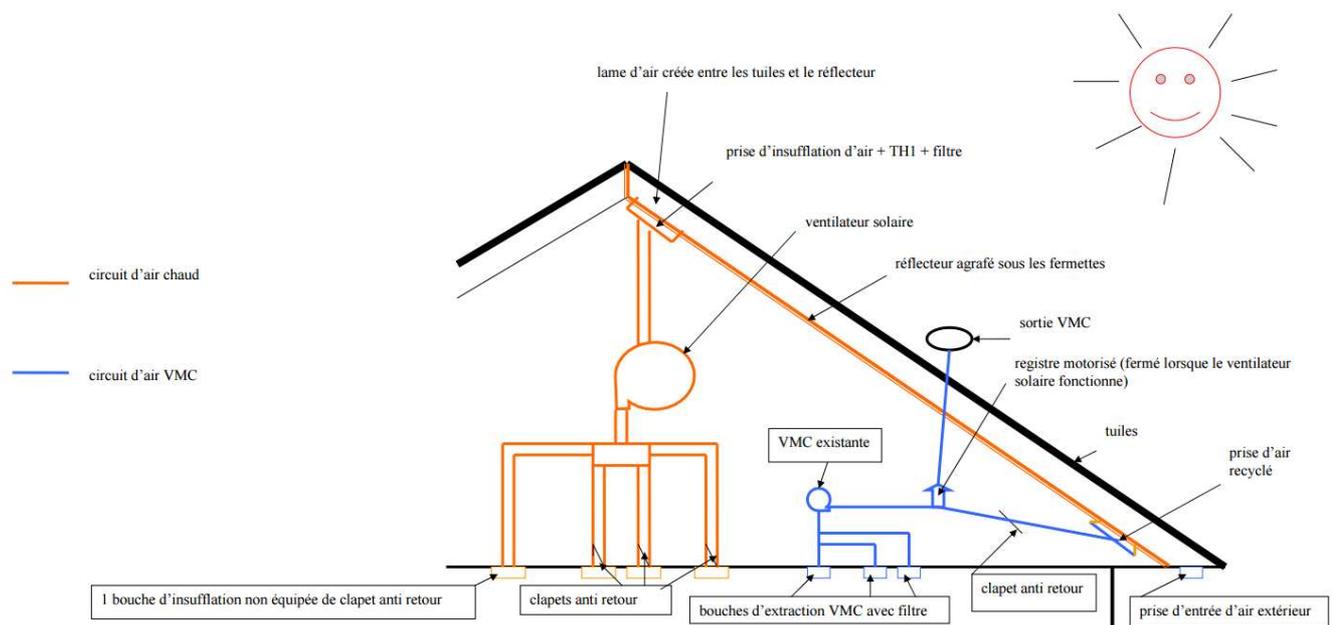


Pau. La texture et les échelles des paysages naturels et bâtis sont difficilement compatibles avec les installations de production d'énergie éolienne ou photovoltaïque. Source photographique : [www.pau.fr](http://www.pau.fr)



Carte du potentiel éolien français. Source : [eolienne.aspp88.fr](http://eolienne.aspp88.fr)

250



Dispositif de production d'énergie solaire-thermique sous toiture.

## G.1 ANALYSE DES PAYSAGES AU REGARD DU DEVELOPPEMENT DURABLE, CAPACITES A INTEGRER DES DISPOSITIFS DE PRODUCTION D'ENERGIES RENOUVELABLES

La sensibilité du site urbain tourné vers le sud, le gave et les Horizons Palois, ne permet pas d'y insérer des dispositifs susceptibles de créer des ruptures d'échelle (éolien) ni de texture (photovoltaïque).

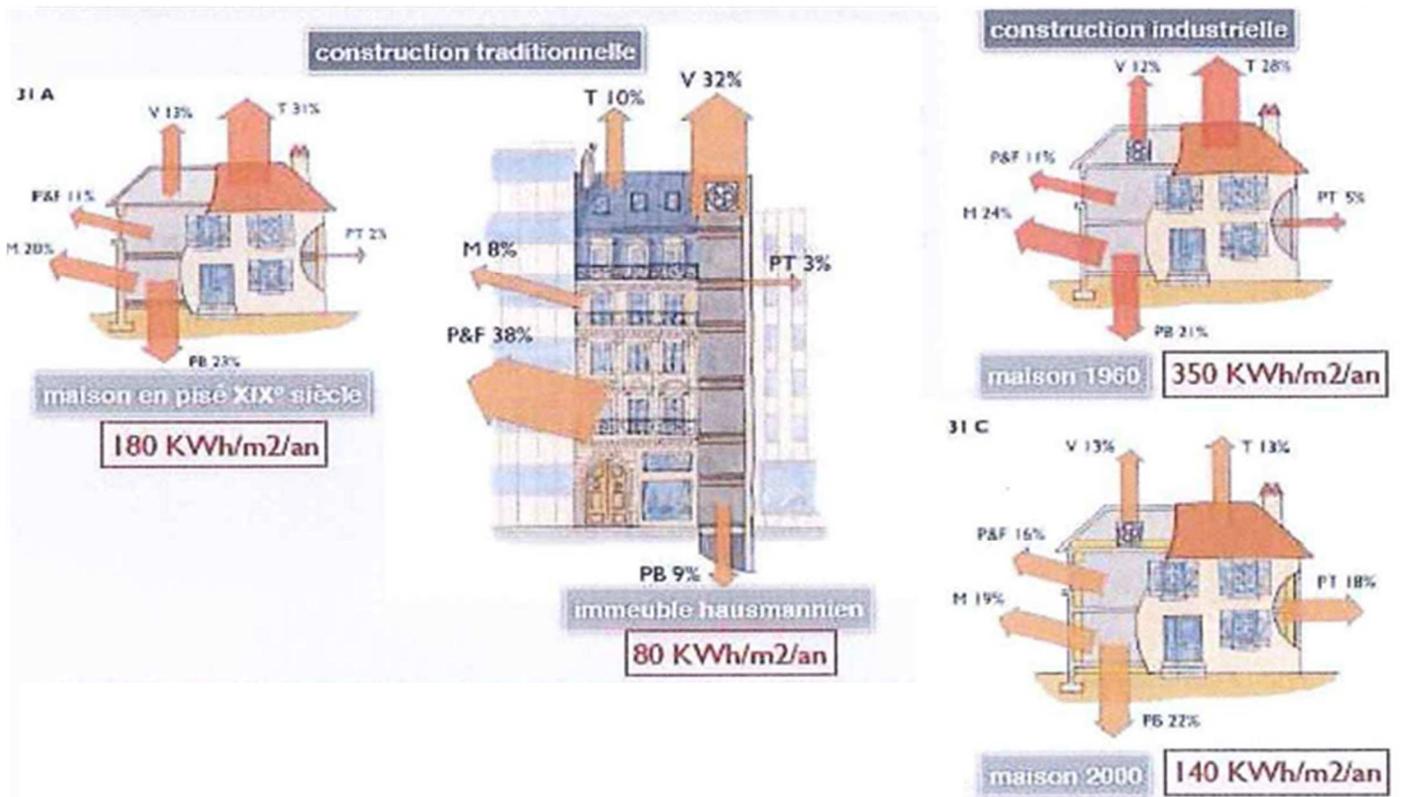
L'installation de dispositifs solaires ou éolien est fortement contrainte par cette sensibilité paysagère du site tout autant que par les spécificités aérologiques du site et la nature de ses tissus bâtis. Le potentiel éolien de la région de Pau est faible et ne rend pas rentable l'installation de grand éolien et, d'une manière générale. Dans le bourg ancien, l'orientation des toits et leur pente est souvent peu favorable à la mise en place de dispositifs de production d'énergie solaire photovoltaïque. L'installation de ces dispositifs peut amener à des résultats hasardeux dans le paysage lorsqu'il s'agit d'une architecture non conçue pour cela dès l'origine.

Leur aspect rentre en concurrence directe de couleur et de texture avec les paysages urbains et naturels du site. Cette sensibilité paysagère conduit dle SPR—AVAP à ne pas promouvoir l'installation de capteurs solaires photovoltaïque et thermique en face externe des toitures. De nouveaux produits, plus adaptés (ardoise capteurs ou capteurs sous toiture) font leur apparition sur le marché et sont en cours de développement rapide.

Cependant, la recherche de ressources d'énergies renouvelables peut être orientée vers des dispositifs compatibles ou participant des caractéristiques du site :

- Produits type ardoises solaires compatible avec la nature des toits de Pau, majoritairement en ardoise
- Force de l'eau, de tous temps valorisée à partir des canaux
- Géothermie peu profonde

Par contre les paysages au nord de la ville, l'échelle des équipements publics et des édifices commerciaux, de leurs aires de stationnement gagnerait, au sein du projet paysager cohérent à être conçus et équipés avec les matériels qui ne sont pas adaptés au centre ancien.



Bâties anciens (XVII<sup>e</sup> -XIX<sup>e</sup> siècle) inscrits dans le tissu dense du centre ville.



Architecture début XX<sup>e</sup> siècle, les villas inscrites dans le tissu aéré des faubourgs



Bâties période industrielle (années 1930-1980)

PAU SPR—AVAP - Diagnostics , Atelier LAVIGNE, Architectes Associés, PAU ; SAS Roi, BAGES ; Fébus Eco Habitat, Orthez

### **Les maisons du cœur ancien de la ville**

Dans les îlots les plus anciens du centre historique (XIV<sup>e</sup> à XVIII<sup>e</sup> siècle) les maisons sont bâties sur une trame continue et sont mitoyennes. Les îlots se sont densifiés ne laissant subsister que peu d'espace libres en leur cœur. Ces espaces sont pour la grande majorité à dominante minérale.

Les bâtiments sont accolés sur leur plus grande longueur et construits sur 2, 3 ou 4 niveaux avec ou sans combles aménagés. Les toitures couvertes d'ardoises ou de tuiles plates sont en majorité à 2 pans de toiture et présentent des pentes à 80 ou 100 % aménagées de fenêtres de toit.

Le plan des maisons est relativement compact et leurs murs, d'une épaisseur moyenne variant entre 40 et 60 centimètres sont en majorité édifiés avec des galets du gave liés au mortier de chaux et sables locaux.

La mitoyenneté des bâtis, leur plan compact les rendent moyennement déperditifs thermiquement (de 120 à 180 kWh/m<sup>2</sup>.an). Les matériaux des murs et leur épaisseur leur confèrent de bonnes qualités d'inertie qui sont un avantage à conserver. Les planchers en bois ne suscitent pas de ponts thermiques.

Les déperditions thermiques proviennent en moyenne pour 15% des murs, 35 % des ouvertures, 10% du toit, 5 % du sol et 35 % de l'étanchéité du bâtiment et de sa ventilation.,

Le confort intérieur est lié à la gestion de l'humidité des murs, l'étanchéité à l'air des menuiseries

### **Les maisons des faubourgs de la fin du XIX<sup>e</sup>-début XX<sup>e</sup> siècle**

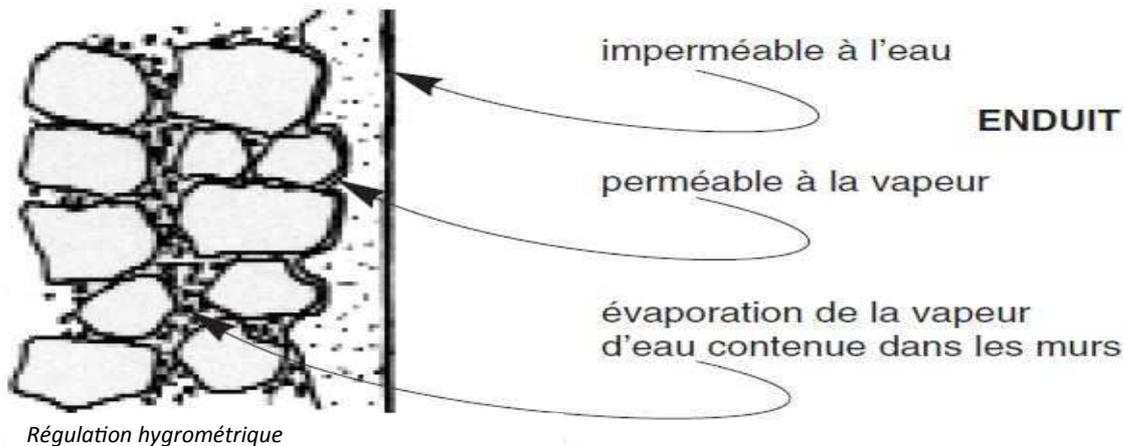
Les maisons des faubourgs liées au développement de la station climatique à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle ne sont plus inscrites dans la mitoyenneté mais sont isolées dans des jardins ou des parcs. Le plan est volumineux, moins compact que celui des bâtis de cœur de bourg. Elles s'élèvent sur 1 ou deux niveaux surmontées d'un comble non aménagé. Par souci hygiéniste et hédoniste, les façades souvent orientées Sud-Est sont percées d'ouvertures nombreuses et larges qui laissent entrer la lumière et l'air. Les murs sont composés de blocs de béton plein de 30 centimètres d'épaisseur ou de pierres et tout venant de 40 à 50 cm d'épaisseur.

Ces maisons moins compactes et plus lumineuses sont également plus déperditives que les bâtis des périodes antérieures. Leur déperditions thermiques sont estimées entre 180 à 240 kWh/m<sup>2</sup>.an (énergie gaz) avec une répartition comme suit : 35% pour les murs, 25% pour les ouvertures, 10 % pour les toitures, 15 % pour l'étanchéité et la ventilation.

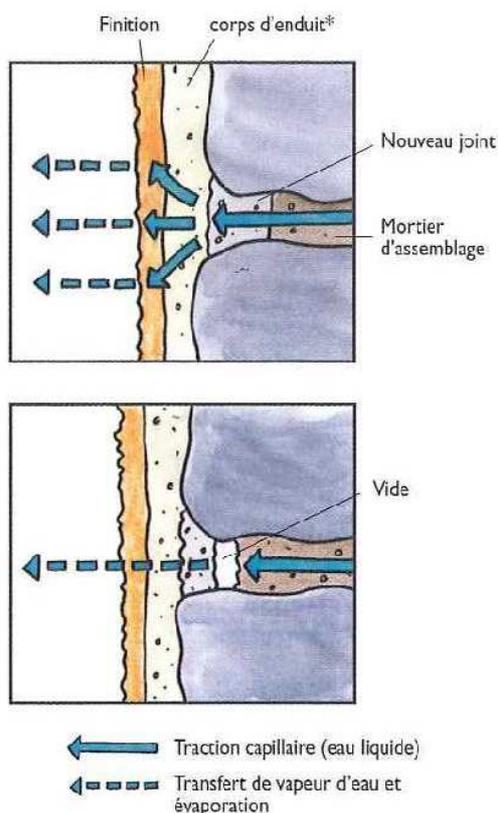
### **Les maisons des faubourgs neufs construits à partir des années 1930**

Ce sont soit des maisons isolées en lotissement édifiées en blocs de béton creux, soit des immeubles construits en béton banché.

Elle présentent des ponts thermiques importants (au niveau des planchers béton notamment). Leur fortes déperditions thermiques s'échelonnent de 250 à 400 kWh/m<sup>2</sup>.an réparties comme suit : 25% pour les murs, 20% pour les toits, 15% pour les sols et 15% pour l'étanchéité et la ventilation.



**Enduits à la chaux.** Les enduits chaux constituent, comme notre peau, une enveloppe protectrice face au froid, au vent, à la pluie et participent à la beauté des façades. Plastiques et souples, ils épousent les déformations faibles mais constantes du bâti ancien, sans se fissurer. Imperméables à l'eau et perméables à la vapeur, ils permettent au mur de respirer, régulent l'humidité nécessaire à la souplesse des vieilles maçonneries et participent à l'isolation thermique. Naturellement fongicide, la chaux ralentit le développement bactériologique des moisissures et des champignons.



#### Fonctionnement des enduits sur les murs anciens

Dans les murs anciens, l'évacuation de l'humidité est assurée par le mortier des joints et par l'enduit. Celui-ci doit être capillaire, perméable à la vapeur d'eau et appliqué en parfaite adhérence avec la maçonnerie pour assurer au mieux la traction capillaire (effet de m). L'enduit chaux adapté aux maçonneries anciennes, les protège de l'eau de pluie et des chocs thermiques, assure une meilleure étanchéité à l'air et augmente la surface d'évaporation.

## **G.3 ANALYSE DU BÂTI, STRATÉGIES D'AMÉLIORATION THERMIQUE**

### **G.3.1 LES MURS, LES ENDUITS, PROPRIÉTÉS THERMIQUES ET HYGROMÉTRIQUES**

#### **Propriétés thermiques et hygrométriques des murs anciens :**

Les murs épais et pleins constitués de pierre, galets, béton ( banché et bloc plein) bénéficient d'une forte inertie thermique. Ce qui constitue un avantage à préserver et à renforcer en adoptant de bonnes pratiques en matière d'entretien et d'amélioration. En hiver ils conservent la chaleur et la restituent à l'intérieur. En période estivale ils assurent un bon déphasage thermique garantissant le confort intérieur.

Les murs construits à la chaux

Le bon fonctionnement de ces murs est assuré par leur enduit extérieur à base de chaux.

#### **Les enduits : protection et respiration de la maçonnerie du bâti ancien en briques et en terre crue**

Les murs sont couverts d'un enduit de protection à base de chaux et de sable. L'enduit se compose d'un gobetis plus ou moins hydraulique, d'un corps d'enduit, et d'une couche de finition à la chaux aérienne. Un badi-geon de chaux aérienne passé en deux couches vient achever et protéger l'ensemble.

L'enduit joue un rôle important dans une maçonnerie. Il assure son homogénéité, sa cohésion, sa protection et sa finition. Il protège et isole contre les effets du vent, de la pluie et des variations thermiques. Il agit comme une peau sur la maçonnerie : élastique, il s'adapte aux déformations et mouvements, minimes mais constants du bâti ancien ; imperméable à la pluie et perméable à la vapeur d'eau, il permet à la vapeur d'eau et à la condensation provenant de l'intérieur du bâti de s'évacuer naturellement au travers du mur. L'humidité provenant des remontées capillaires du sol s'évacue naturellement des maçonneries grâce aux enduits perspirants (perméables à la vapeur d'eau) à forte capillarité. La régulation de l'humidité dans le bâti participe à la notion de confort dans le logement et permet de réduire le besoin de chauffage participant ainsi à une économie d'énergie. Enfin, les propriétés bactéricides et fongicides de la chaux ont un effet assainissant sur les murs et l'atmosphère de la maison.

Les enduits extérieurs devront respecter les saillies et les modénatures de la façade lorsque celles-ci sont destinées à être laissées à la vue.



### **Stratégies d'amélioration thermique.**

L'enduit extérieur a pour fonction la protection de la maçonnerie et la régulation de son hygrométrie. Sur le bâti ancien, l'isolation thermique extérieure est généralement proscrite dans la mesure où l'épaisseur nécessaire pour une bonne isolation extérieure (10 à 20 cm) amènerait à modifier profondément l'aspect de la façade en occultant les détails de composition. Cependant il est possible d'apporter une correction thermique à ces façades par la mise en œuvre d'enduits correctifs perspirants à base de chaux et de matériaux isolants (chanvre, le liège ou la perlite) d'une faible épaisseur (2 à 3 cm selon la profondeur des modénatures).

Ce type d'intervention constitue une solution par défaut et ne permet pas d'atteindre les objectifs de la basse consommation. Cependant, cette correction qui peut être combinée à une isolation intérieure, permet d'atténuer les déperditions thermiques des façades.

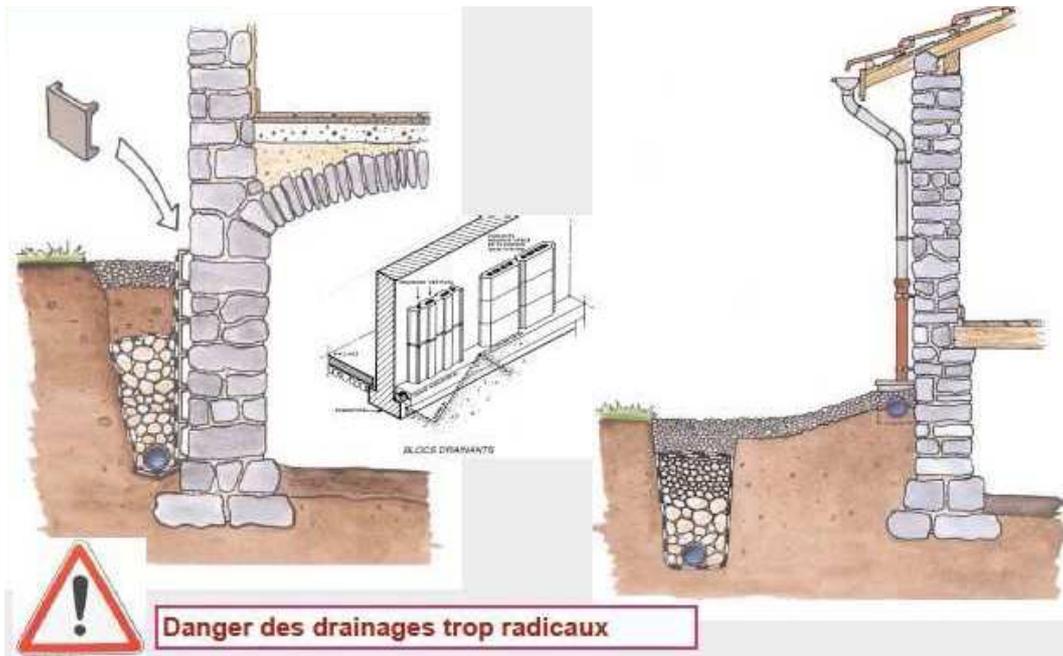
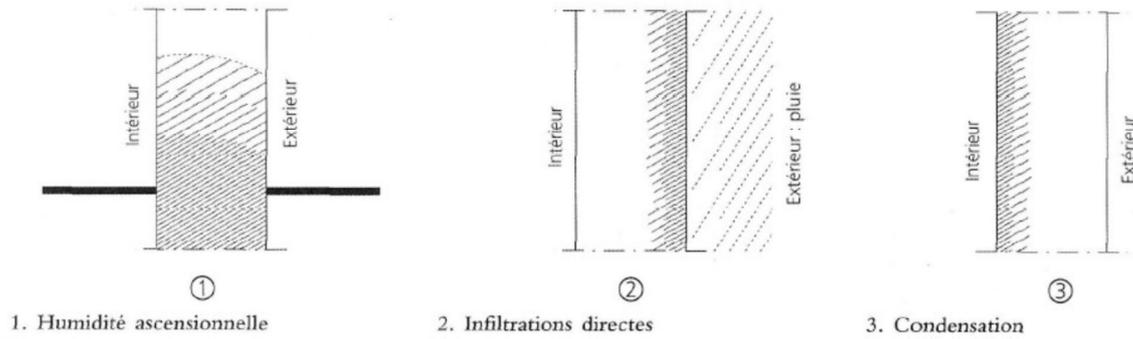
Cette intervention doit-être combinée à la prise en compte d'autres postes de déperditions thermiques : combles, menuiseries, ventilation ; afin de tirer aux mieux parti des qualités thermiques du bâti ancien et d'atteindre des objectifs très satisfaisants en termes de performances énergétiques, de salubrité et de confort du bâti.

En France les stratégies d'amélioration thermiques du bâti ancien font l'objet d'une étude approfondie depuis 2008 dans le cadre du projet BATAN commandité par l'ADEME et le Ministère du Développement Durable, suivi de l'étude ATHEBA. Plusieurs organismes et associations liés à ce projet apportent conseils et compétences dans l'élaboration de stratégies d'amélioration des performances thermiques et énergétiques de ce type de bâti (Maisons paysannes de France...).

### **Les enduits et l'amélioration thermique des bâtis de la période industrielle**

Les murs des bâtis de la période industrielle sont constitués de blocs béton et enduits au ciment. Très souvent, La qualité des décors architecturés des façades des années 1930-1950 est à préserver et exclut une Isolation Thermique Extérieure. Une correction thermique peut cependant être envisagée par la mise en œuvre d'enduits à base de matériaux isolants. Les matériaux mis en œuvre dans ces bâtis ne sont pas perspirants. Le poste de la ventilation doit donc être particulièrement observé et étudié. Cette intervention doit-être combinée à la prise en compte d'autres postes de déperditions thermiques.

**Origines de l'humidité**  
 Repérage schématique sur des murs vus en coupe



**la gestion de l'humidité**

**Quelques pratiques curatives**

anode  
remontées capillaires  
cathode  
différence de potentiel sur un mur avec remontées capillaires.

fil conducteur encastré dans le mur  
anode métallique  
prise de terre (cathode)  
électro-osmose passive

batterie  
anode métallique  
prise de terre cathode  
électro-osmose active

produit phorèse  
fil isolé de liaison  
sol  
prise de terre

**Electro-osmose inverse**

**Electro-osmose phorèse**

Illustrations tirées de l'Etude sur le développement durable de Moissac. Cabinet Fébus Eco-Habitat. Orthez 2011.

#### **Le traitement de l'humidité dans les maçonneries du bâti ancien**

Le bâti ancien a un équilibre hygrothermique particulier du a ses matériaux hygroscopiques.

Les murs anciens doivent garder assez d'humidité pour ne pas se fissurer par dessèchement et ne pas garder l'humidité trop longtemps pour ne pas se déliter par saturation. Ce phénomène d'équilibre est obtenu par les alternances été chaud, hiver froid et fonctionne si les murs peuvent échanger l'humidité facilement à travers les enduits extérieurs et les matériaux intérieurs perméables à la vapeur d'eau. Ce principe est renforcé si l'air intérieur n'est pas trop humide donc bien renouvelé par de l'air extérieur toujours plus sec en hiver. Les changements de phases de l'eau dans le mur ( sublimation de l'eau à l'état liquide et liquéfaction de l'eau à l'état gazeux, point de rosée...) lorsque son taux est équilibré produit de l'énergie absorbant des calories en période chaude et en produisant en période froide et contribue à l'équilibre thermique du logement.

Outre la mise en péril des maçonneries, un déséquilibre hygrométrique du mur et un excès d'humidité engendre une sensation d'inconfort thermique dans le bâti et fait baisser la température ressentie. Pour remédier à cet inconfort thermique on augmente la température de chauffage de logement. Ceci engendre une augmentation de la production de vapeur d'eau qui ne va pas dans le sens d'un assainissement du logement ainsi surconsommation d'énergie.

La gestion de l'humidité du mur est donc impérative et se pose comme préalable à toute tentative de correction ou amélioration thermique passe par plusieurs procédés :

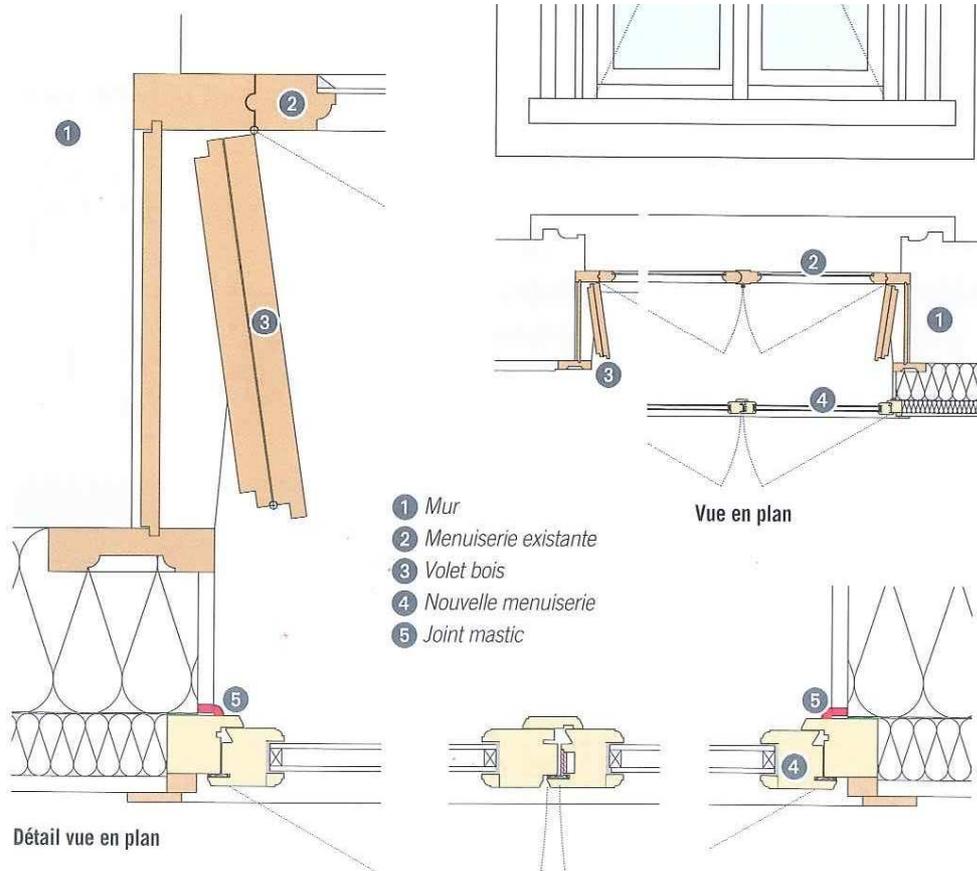
- **Le traitement des abords du mur.** Remplacement des revêtements étanches des trottoirs par des revêtements perméables (dalles non jointées sur lit de sable, cailloux, calade de galets sur lit de sable ou mortier chaux sable...).
- **La pose d'enduits extérieurs** étanches à l'eau liquide et perméables à la vapeur d'eau et en réalisant une bonne continuité entre les matériaux constructifs, les joints et l'enduit.
- **Le drainage capillaire.** Ce procédé curatif est impossible en centre ville. En zone urbaine moins dense il peut-être réalisé avec les plus grandes précautions : il doit-être éloigné du mur et ne pas passer sous la fondation.
- **Les systèmes curatifs** Ces procédés sont efficaces si les murs sont bien homogènes : électro-osmose inverse, électro-osmose phorèse ...



Les contrevents permettent de faire obstacle à l'air froid en hiver et aux excès du rayonnement solaire estival.

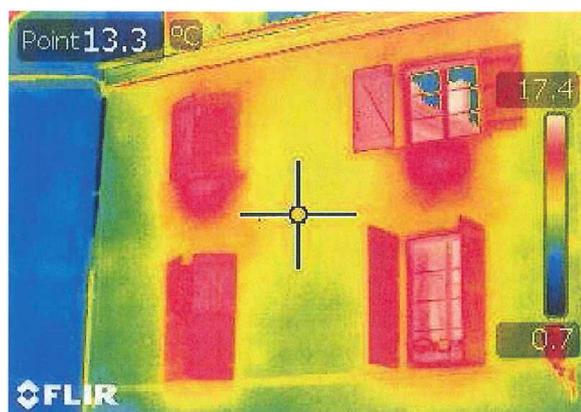
Doubles fenêtres en réhabilitation. la seconde fenêtre (neuve) s'ouvre contre le nu intérieur mur alors que l'ancienne s'ouvre dans l'ébrasement. avec une lame d'air. Ces doubles fenêtres peuvent être ouvrantes ou coulissantes et par exemple intégrées dans un dispositif d'isolation intérieure. Un double vitrage de rénovation ou un survitrage intérieur non visible de l'extérieur pourra être installé sur la menuiserie ancienne.

260



Pose d'une menuiserie venant doubler une menuiserie historique. Source : L'isolation thermique écologique, Oliva et Courgey, 2010.

### G.3.5 LES OUVERTURES, LES MENUISERIES, LEUR AMÉLIORATION THERMIQUE



Clichés de thermographie réalisés en hiver par le cabinet Fébus Eco-Habitat. Mise en évidence des déperditions thermiques des fenêtres et de leurs allèges. L'allège est un point important du mur à isoler

#### Les ouvertures :

Elles sont relativement nombreuses et pourvues systématiquement de volets battants épais. (elles peuvent être équipées de volets battants légers après rénovation à la période industrielle).

#### Les menuiseries :

Les menuiseries des fenêtres anciennes sont à petit bois avec 2, 3 ou 4 panneaux et souvent d'un seul panneau après rénovation. Les portes peu ou pas vitrées disposent d'une imposte vitrée.

Les fenêtres sont équipées de contrevents permettant de protéger les ouvertures tant de l'air froid hivernal que du rayonnement solaire estival. Les menuiseries (portes, fenêtres et contrevents) sont traditionnellement en bois peint. Les contrevents sont indispensables et doivent être conservés ou rétablis.

La généralisation de l'utilisation du bois dans la construction permet de maintenir et développer la filière bois et de lutter efficacement contre l'effet de serre en captant et fixant durablement les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Le bois constitue un véritable piège à carbone. On considère en effet qu'un arbre moyen produit en une année l'oxygène nécessaire à la respiration de quatre personnes et fixe le CO<sub>2</sub> émis par une voiture en 18000 km. Le recyclage du bois n'est pas impactant pour l'environnement. Le bois peint avec des peintures naturelles a l'avantage de ne pas émettre de COV, contrairement aux matériaux issus de la pétrochimie (PVC...). Il contribue à la qualité de l'air intérieur de l'habitat préserve la santé de ses habitants.

On aura à cœur de choisir des bois d'essences locales pour les menuiseries plutôt que des bois exotiques dont l'acheminement génère de l'énergie grise.

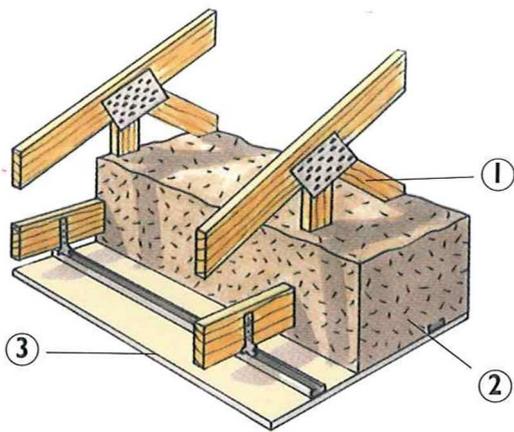
#### L'amélioration des performances thermiques

Les menuiseries constituent le deuxième poste de déperdition thermique dans un bâtiment, et le premier si leur étanchéité à l'air est défectueuse.

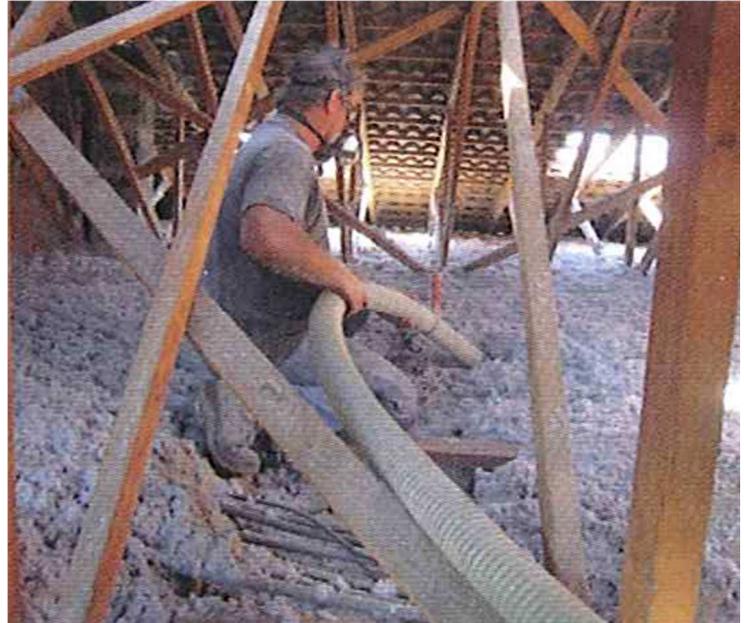
L'étanchéisation des menuiseries est donc primordiale mais toute modification de l'étanchéité d'une fenêtre doit-être précédée d'une analyse de la ventilation du bâti afin d'assurer sa conservation et de maintenir la qualité de l'air intérieur. Les fenêtres si elles sont étanchéifiées peuvent-être équipées de bouches d'aération réglables (mécaniques ou hygro-réglables) afin de pouvoir conserver dans le bâti un mode de ventilation naturelle (cf. chap. D.6)

Les menuiseries anciennes seront conservées et restaurées. Lorsqu'une menuiserie ancienne est bien posée et que son étanchéité est assurée, le remplacement du vitrage ou la pose d'un survitrage peut-être suffisante à l'amélioration de ses qualités d'isolation thermique, surtout sur les façades Sud ensoleillées en hiver. Si l'on veut conserver l'esthétique de menuiseries anciennes, la pose d'une double fenêtre dans l'ébrasure à l'intérieur du bâti constitue une alternative avantageuse dont les propriétés s'approchent d'un vitrage triple. Dans ce cas il faut au moins que la menuiserie extérieure soit étanche à l'eau pour assurer la protection des murs et des encadrements.

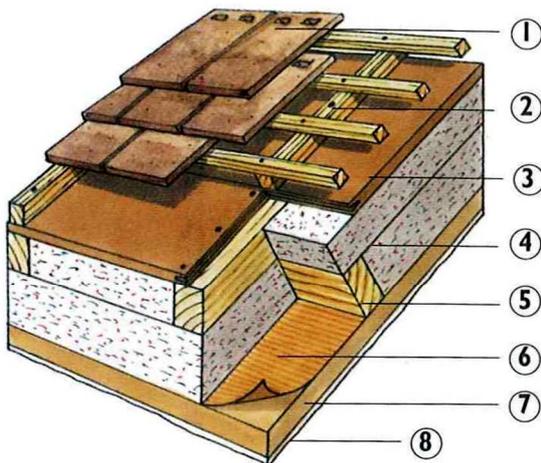
Les contrevents doivent être conservés, ils permettent d'atténuer le rayonnement solaire estival et protègent les baies des déperditions thermiques en hiver.



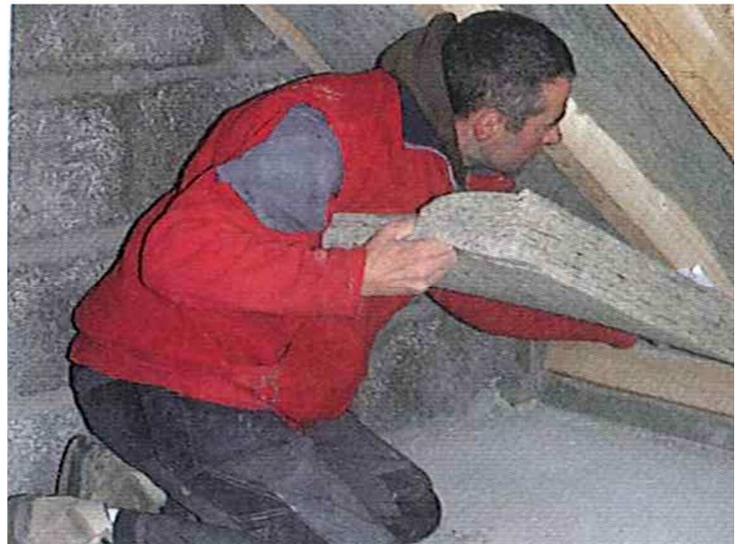
- 1 Fermette
- 2 Chênevotte déversée (40 cm)
- 3 Plafond existant en plaque de plâtre (13 mm)



Principe de l'isolation des combles non praticables par insufflation d'isolants en vrac. Source : L'isolation thermique écologique, Oliva et Cougey, 2010.



- 1 Couverture en tuile, y compris liteaux
- 2 Contre-lattage (4 cm minimum)
- 3 Panneaux pare-pluie\* en feutre de bois (1,8 cm)
- 4 Deux épaisseurs croisées de laine de coton recyclé Métisse® (10 cm + 15 cm)
- 5 Chevron\* et contre-chevrons\*
- 6 Membrane assurant l'étanchéité à l'air et la régulation de vapeur d'eau
- 7 Panneau feutre de bois (6 cm)
- 8 Enduit terre (≈ 1 cm)



Principe de l'isolation des combles praticables. Pose d'isolent entre chevrons sous la couverture. Source : L'isolation thermique écologique, Oliva et Cougey, 2010.

### G.3.6 LES TOITURES, LES COMBLES, LEUR AMELIORATION THERMIQUE

#### **Toitures**

Les toits des bâtis anciens du centre présentent majoritairement des charpentes à 2 ou 4 pentes inclinées de 100 % minimum et recouvertes de tuile plate ou d'ardoises ais aussi de tuile de Marseille ( pente adaptée). Les toitures sont équipées de cheminées aux souches massives, le comble habitable est équipé de lucarnes. L'orientation des faîtages est tributaire de l'orientation du parcellaire.

#### **Les combles et leur amélioration thermique :**

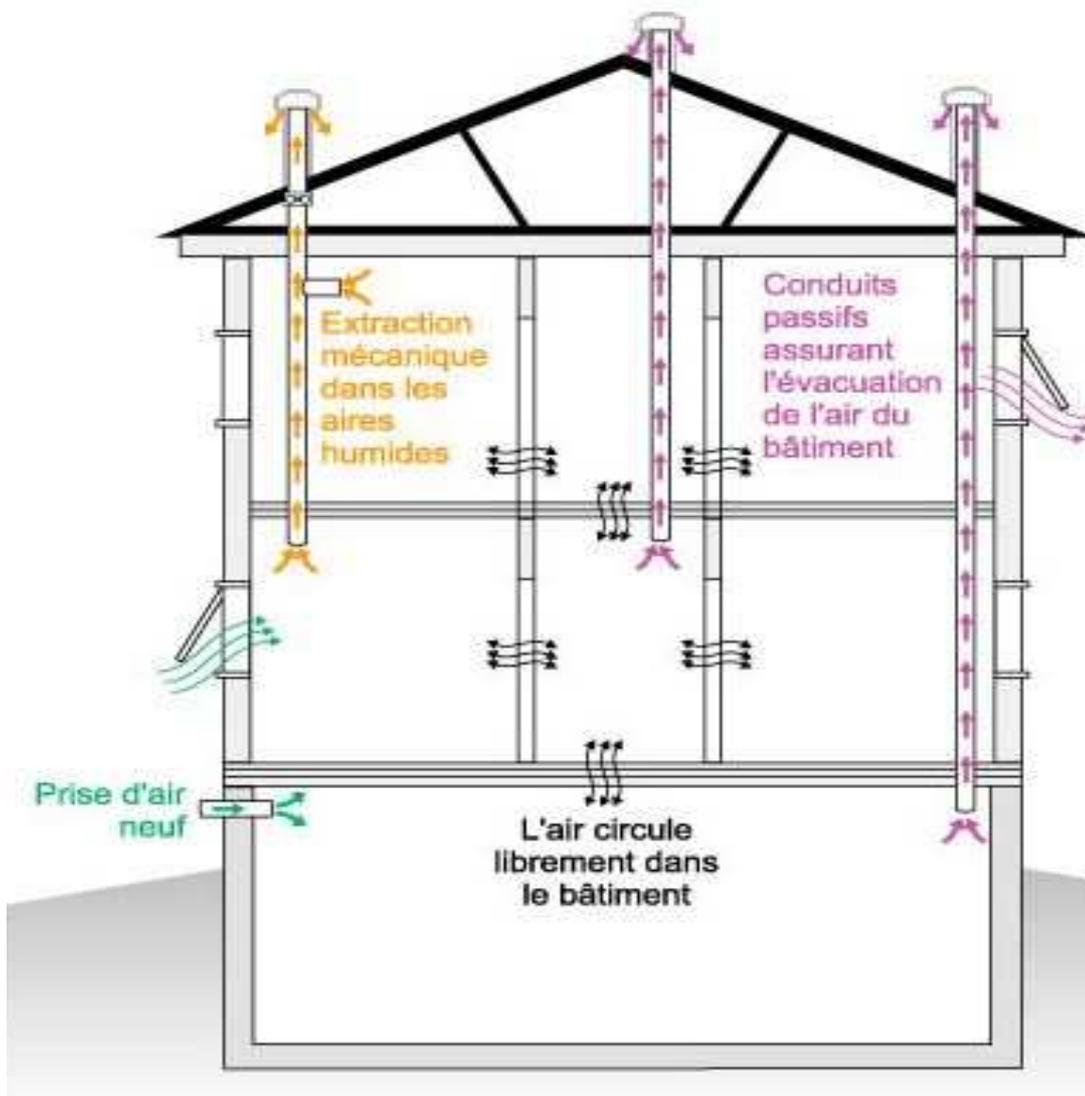
Les combles représentent 30 % des déperditions totales des maisons et doivent être isolés.

L'isolation des combles sur chevrons (Sarking) ne sera pas possible sur les toits anciens, elle conduirait à un rehaussement du niveau de la couverture incompatible avec l'unité du paysage des toits de Pau et supprimerait l'intérêt des corniches et des détails remarquables des passes de toits.

On procédera à une isolation entre et sous chevrons pour les rampants avec pose d'un freine vapeur. Les combles perdus seront isolés au dessus du plafond avec un isolant en vrac, en panneau ou en rouleau à condition qu'il soit posé de manière continue avec un pare-vapeur continu en sous-face qui assure l'étanchéité à l'air.

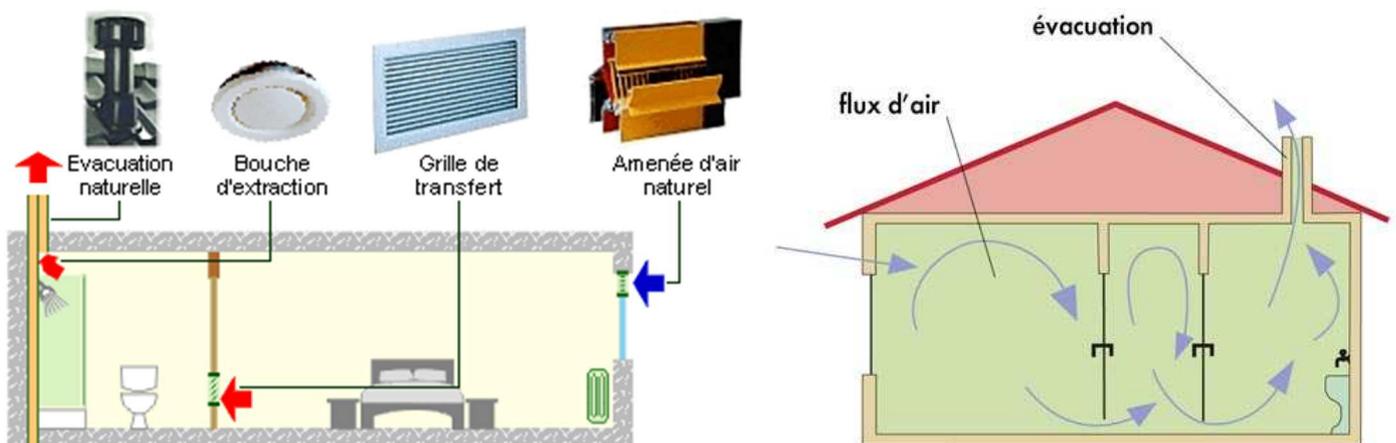
On privilégiera les matériaux naturels à forte densité (laine de bois, ouate de cellulose insufflée à une densité d'au moins à 60 kg/m<sup>3</sup>) permettant d'apporter un bon confort thermique hivernal et un déphasage important en été.

Les qualités perspirantes de ces matériaux permettent une meilleure gestion de l'humidité et de la ventilation dans l'habitat.



264

Principe de la ventilation naturelle assistée et simple flux.



Principe de la ventilation naturelle

## G.3.7 LA VENTILATION DU BATI, SON AMELIORATION

### La ventilation dans le bâti palois

En l'absence de moyens mécaniques, la ventilation des bâtis se fait de façon naturelle par les défauts d'étanchéité des ouvertures. La transversalité des logements sur le parcellaire en lanières permet de créer un flux d'air efficace pour renouveler, rafraîchir ou réchauffer l'air dans le logement.

La ventilation est obligatoire, naturelle ou mécanique dans les locaux habités. Dans un bâtiment relativement étanche à l'air, l'installation d'une ventilation naturelle ou mécanique est indispensable pour éviter les moisissures et éviter les diverses pollutions.

### Stratégies d'améliorations thermiques

Les pertes thermiques par renouvellement d'air peuvent atteindre 50% des besoins de chauffage. Elles sont plus ou moins importantes selon le système de ventilation utilisé.

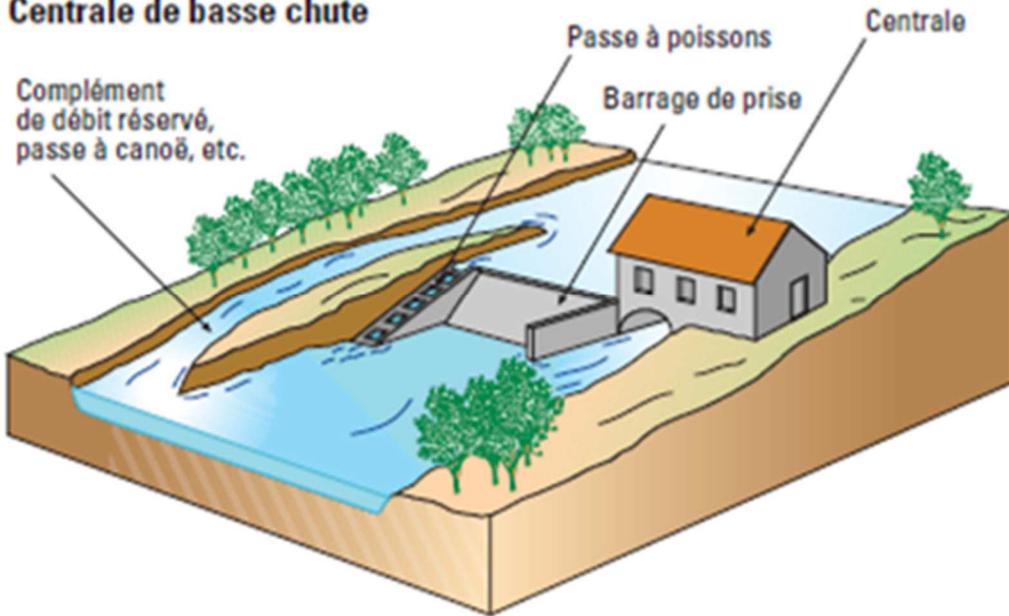
Il existe plusieurs types de ventilation :

- **Ventilation naturelle par tirage thermique** : un conduit placé en partie haute des pièces à ventiler relié à l'extérieur par un point d'extraction haut évacue l'air chaud. Ce système fonctionne bien en hiver mais est insuffisant en été. Les pertes thermiques engendrées par ce système peuvent représenter 30 à 50% des besoins de chauffage dans les habitations correctement isolées.
- **Ventilation simple flux** : un ventilateur qui fonctionne en permanence extrait l'air des pièces humides. L'entrée d'air frais se fait par des grilles d'entrée d'air et les défauts d'étanchéité du bâtiment. Ce système permet un bon renouvellement d'air mais engendre entre 20 et 40% de déperditions thermiques par le renouvellement d'air.
- **Ventilation simple flux hygro-réglable** : ce système est identique à la ventilation simple flux mais le ventilateur se déclenche en fonction du taux d'humidité dans l'air. La part des déperditions est ici comprise entre 20 et 30 % des pertes totales.
- **Ventilation double flux avec récupérateur** :  
Consiste en deux réseaux de conduits qui font circuler l'air mécaniquement. Le premier extrait l'air vicié des pièces humides (pièces d'eau, cuisine), le second insuffle l'air neuf dans les pièces principales. Les réseaux sont reliés à un échangeur thermique qui préchauffe et filtre l'air neuf qui se réchauffe en puisant les calories de l'air sortant. Ce système présente l'avantage de réduire les déperditions thermiques à 30% des besoins de chauffage mais ses deux ventilateurs consomment plus d'énergie électrique.

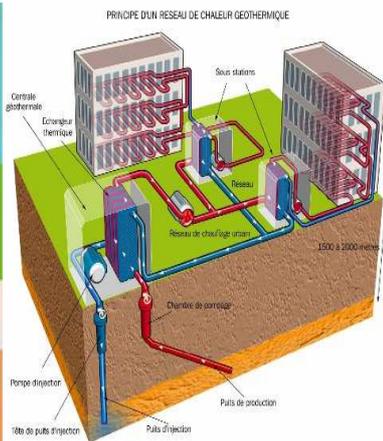
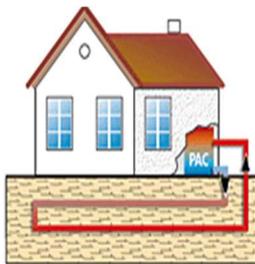
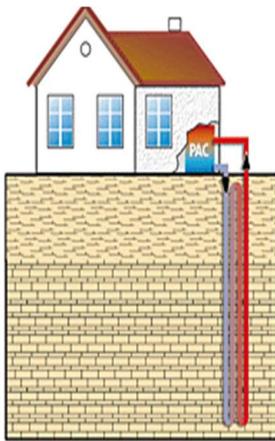
265

Dans tous les cas la ventilation n'est véritablement efficace que si le bâtiment est relativement étanche en dehors des ouvertures prévues pour son fonctionnement.

## Centrale de basse chute



Source : Guide pour le montage de projets de petite hydroélectricité-Ademe.



266

Géothermie. De gauche à droite: captage vertical profond par forage d'un puits de 10 à 100 mètres de profondeur; captage horizontal par la mise en place d'un réseau à faible profondeur mais sur une grande surface; hydrothermie par captage des calories dans une nappe phréatique de proximité géothermie et hydrothermie adaptée au chauffage d'installations collectives.



- 1 Capteurs
- 2 Pompe à chaleur hydrothermique avec ballon tampon
- 3 Ballon d'eau chaude
- 4 Chauffage planchers et/ou radiateurs
- 5 Sortie eau chaude sanitaire
- 6 Arrivée d'eau froide

Principe de l'installation pour le captage géothermique en nappe phréatique de proximité.

### L'énergie hydroélectrique

Le Gave et les cours d'eau qui traversent le territoire de Pau constituent une ressource d'énergie largement exploitée par le passé et dont témoigne encore la présence de nombreux moulins. Cette ressource hydraulique peut offrir aujourd'hui encore l'opportunité d'une production d'énergie renouvelable par le petit hydroélectrique sous réserve des fortes contraintes liées à la loi sur l'eau.

L'Ademe (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie), chargée de la promotion des énergies renouvelables, peut apporter un soutien technique et financier aux différents stades d'un projet de Petite Centrale Hydroélectrique (PCH). Les collectivités locales peuvent encourager le développement de la petite hydraulique dans le cadre de leur Agenda 21 ou de leur Plan Climat. Une commune peut ainsi être maître d'ouvrage d'une installation (exemple à la commune de Saint-Guillaume en Isère qui a réalisé une mini-centrale de 800 kW, sur la rivière de la Gresse). Les particuliers ont également un rôle majeur à jouer. En effet, la loi donne à chacun le droit d'exploiter une PCH, et ce pour sa consommation personnelle d'électricité, ou pour sa revente. EDF et GDF Suez, majoritairement connus pour l'exploitation des grands barrages hydroélectriques, sont également des acteurs importants de la petite hydraulique.

En outre, contrairement aux grandes centrales hydroélectriques, les PCH (petites centrales hydroélectriques) ont un impact très faible sur la biodiversité. Ces dernières, construites au fil de l'eau, ne nécessitent ni retenues, ni vidanges ponctuelles. Elles ne perturbent par conséquent ni l'hydrologie ni la biologie. D'ailleurs, les PCH sont encadrées par la loi pêche de 1984, qui impose des critères sévères en termes de débits réservés et de passage pour les poissons. Il peut également être intéressant et surtout moins contraignant de réutiliser des installations anciennes existantes (digues, biefs...).

On estime qu'une centrale de 1 MW évite chaque année l'émission de 2 500 tonnes de CO<sub>2</sub> en comparaison d'une centrale à combustion classique.

### La Géothermie

Le principe est d'utiliser une pompe à chaleur pour capter la chaleur du sol et la transférer vers le chauffage. La géothermie apporte un complément d'énergie. La consommation d'une pompe à chaleur est de 1 kWh d'électricité pour récupérer 4 kWh d'énergie, à condition que la température de chauffage soit basse, donc que l'habitat soit au préalable isolé efficacement. Le captage peut être réalisé soit par un forage vertical complexe et limité soit par un captage horizontal qui demande une grande surface de sol disponible et est peu adapté aux parcelles du centre ville.

267

### L'utilisation de la nappe phréatique

La pompe à chaleur prélève les calories directement dans l'eau d'une nappe phréatique. Un puits extrait l'eau de la nappe et un autre la rejette sans modification sauf refroidissement, l'eau servant d'échangeur thermique avec le sol. L'eau est très vite réchauffée par le sol et peut ainsi servir pour d'autres installations thermiques proches.

La morphologie du pays, son hydrographie et son histoire qui a toujours été liée à la ressource hydraulique sont particulièrement propices au développement de cette énergie renouvelable compatible avec l'environnement et les paysages.

**L'AVAP-SPR propose de promouvoir cette énergie renouvelable particulièrement adaptée. Les contraintes actuelles liées à la gestion des cours d'eau (continuité, réglementation) sont à prendre en compte par l'AVAP-SPR.**

