

# SYNTHESE SUR LES SPECIFICITES DU BATIMENT EN REGION MEDITERRANEENNE

**Atiane energy**

24 rue de la Pignatière -06390 CONTES

Tel. 09 81 23 48 32 - [contact@atiane-energy.com](mailto:contact@atiane-energy.com)

[www.atiane-energy.com](http://www.atiane-energy.com)

SARL au capital de 9 000 Euros – Siret 521 916 759 00033

## Sommaire

Préambule.....	5
1 Les caractéristiques du climat méditerranéen .....	6
1.1 Données du contexte.....	6
1.2 Températures, ensoleillement, puissance du vent et humidité .....	6
1.2.1 Températures.....	6
1.2.2 Ensoleillement.....	8
1.2.3 Vent.....	9
1.2.4 Humidité.....	9
1.2.5 Impact des changements climatiques.....	9
2 Architecture traditionnelle et modes de vies m ».....	10
2.1 L'architecture traditionnelle.....	10
2.1.1 Structure .....	10
2.1.2 Influences .....	11
3 Le mode de vie méditerranéen .....	12
3.1 Les modes de vie traditionnels .....	12
3.1.1 Se protéger de la chaleur .....	12
3.1.2 Ventiler et rafraichir .....	12
3.2 Les modes de vie contemporains .....	13
3.2.1 Les ouvertures sur l'extérieur .....	13
3.2.2 La terrasse, le patio .....	13
3.2.3 La piscine.....	13
4 Les matériaux de construction traditionnelle en méditerranée .....	14
4.1 Murs et maçonnerie .....	14
4.2 Couverture.....	16
4.2.1 Isolation.....	17
5 L'énergie dans les bâtiments en region prOvence alpes-cote d'azur.....	19

5.1	Etat des lieux : production et consommation .....	19
5.2	Le solaire thermique .....	21
5.2.1	Principe .....	21
5.2.2	Cas d'étude du CESC.....	22
5.3	Le bois énergie.....	23
5.4	La boucle à eau de mer.....	24
5.5	Le puits climatique.....	24
6	Conception bioclimatique méditerranéenne .....	25
6.1	Définition .....	25
6.2	Confort d'été .....	26
6.2.1	Principe .....	26
6.2.2	Limiter l'apport thermique solaire .....	26
6.2.3	Protection thermique des toitures.....	27
6.2.4	Limiter les apports internes .....	27
6.2.5	UTILISER l'inertie .....	28
6.2.6	L'enjeu de la ventilation .....	28
6.2.7	L'isolation généralisée .....	29
6.2.8	La gestion de l'hygrométrie.....	30
7	une Rénovation performante.....	32
7.1	Etat du parc résidentiel méditerranéen .....	32
7.1.1	Répartition du parc selon l'ancienneté .....	32
7.1.2	Part des logements collectifs et individuels .....	32
7.1.3	localisation .....	33
7.1.4	principaux principes de renovation bioclimatique.....	33
7.1.5	Rénovation des planchers .....	34
7.1.6	Les toitures.....	35
7.1.7	Les baies .....	35
8	Synthèse sur les spécificités méditerranéennes du bâtiment.....	36

## Table des figures

Figure 1- Zones climatiques (source : Euromed).....	6
Figure 2 - Amplitudes moyennes Juillet (°C) (source Météorologie Nationale).....	7
Figure 3 - Degrés-jours saison de chauffage (source CSTB) .....	7
Figure 4 - Nombre d'heures d'ensoleillement annuel (source CSTB).....	8
Figure 5 - Irradiation annuelle moyenne en PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source ATLAS des Energies en PACA) .....	8
Figure 14 - Mas provençal.....	10
Figure 15 - Ouvertures sur l'extérieur .....	13
Figure 17 – Terrasses .....	13
Figure 16 – Piscines .....	13
Figure 6 - Comparaison types de murs maçonnés .....	14
Figure 7 - Pierre de taille .....	15
Figure 8 - Pierre sèche.....	16
Figure 9 - Comparaison types couverture .....	17
Figure 10 - Comparaison matériaux couverture .....	17
Figure 11 - Comparaison isolants d'origine végétale .....	18
Figure 12 - Comparaison isolants d'origine animale .....	18
Figure 13 - Comparaison isolants d'origine minérale.....	18
Figure 18 - Production régionale d'énergie primaire en 2007 en PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source ORE bilan 2011) .....	19
Figure 19 - Consommation d'énergie primaire des bâtiments en 2011 en PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source ORECA) .....	20
Figure 20 - Consommation d'énergie finale des bâtiments par usage en 2011 en PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source Energ'air 2010) .....	20
Figure 21 - Potentiel additionnel du solaire thermique en région PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source Atlas de énergies en PACA) .....	21
Figure 22 - Production du solaire thermique en région PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source Atlas de énergies PACA).....	21
Figure 23 - Répartition des installations solaires thermiques en région PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR fin 2010 (source SRCAE PACA) .....	22
Figure 24 - Schéma comparatif installations solaire thermique (source SOCOL) .....	23
Figure 25 - Graphique de conception bioclimatique en Méditerranée .....	25
Figure 26 - Principes du confort d'été (source ENVIROBAT) .....	26
Figure 27 - Répartition du parc selon l'ancienneté (source INSEE) .....	32
Figure 28 - Part des logements collectifs et individuels (source INSEE).....	32
Figure 29 - Evolution de la localisation du parc de logements (source INSEE) .....	33
Figure 30 - Comparatifs techniques isolation intérieur/extérieur .....	34
Figure 31 - Synthèse des spécificités du bâtiment en Méditerranée (modélisation sous Google Sketchup) .....	36

## PREAMBULE

Nous aimerions par le biais de cette synthèse, faire part aux professionnels des résultats de notre analyse des bâtiments en région PACA, et plus particulièrement en zone méditerranéenne. L'objectif est de fournir un document de vulgarisation, permettant aux professionnels néophytes de cerner rapidement les principales caractéristiques d'une architecture adaptée au climat, en fonction de deux enjeux jugés prioritaires : le confort thermique et la réduction des consommations. Toutefois, d'autres enjeux sont également à considérer : aspects sanitaires, analyse de cycle de vie, énergie grise, ...

Ces résultats sont issus :

- Des précédents rapports publiés sur l'ENVIROBOITE
- Des connaissances des problématiques du bâtiment méditerranéen liées aux précédentes missions conduites par le bureau d'études en charge de la rédaction

La démarche du plan adopté est de montrer en premier lieu l'influence des caractéristiques du climat méditerranéen sur l'architecture locale et sur les modes de vie. Elle permet ainsi de lister et de mettre en avant les caractéristiques thermiques des matériaux locaux traditionnellement utilisés. Enfin, dans l'optique de concevoir des bâtiments toujours plus efficaces thermiquement tout en préservant l'environnement, nous expliciterons la démarche des constructions bioclimatiques méditerranéennes qui synthétisera les spécificités méditerranéennes du climat explicitées en amont.

Cette étude invite également les personnes curieuses d'en savoir plus à consulter les ouvrages techniquement spécialisés préconisés en fin de rapport, et qui ont permis entre autres d'établir cette synthèse.

## 1 LES CARACTERISTIQUES DU CLIMAT MEDITERRANEEN

Cette partie vise à décrire les principales caractéristiques du climat méditerranéen, afin de mieux cerner leur influence sur l'architecture et la conception des bâtiments dans cette zone.

### 1.1 DONNEES DU CONTEXTE

La zone étudiée s'étend tout le long du bassin méditerranéen, bornée entre 30° et 40° de longitude. Cette zone possède un climat caractéristique composé d'un été chaud, voire caniculaire à l'intérieur des terres, et d'un hiver doux à froid plutôt court. Les amplitudes des paramètres propres aux saisons (températures, humidité) sont faibles comparées aux climats continentaux.

Malgré cette homogénéité apparente, plusieurs facteurs géographiques influencent localement le climat. Sur le territoire français, la zone méditerranéenne possède plusieurs microclimats. A l'origine de ce phénomène : les reliefs, les vents, la proximité de la mer. En généralisant sur la région PACA, on distingue 3 microclimats qui vont influencer les architectures locales.

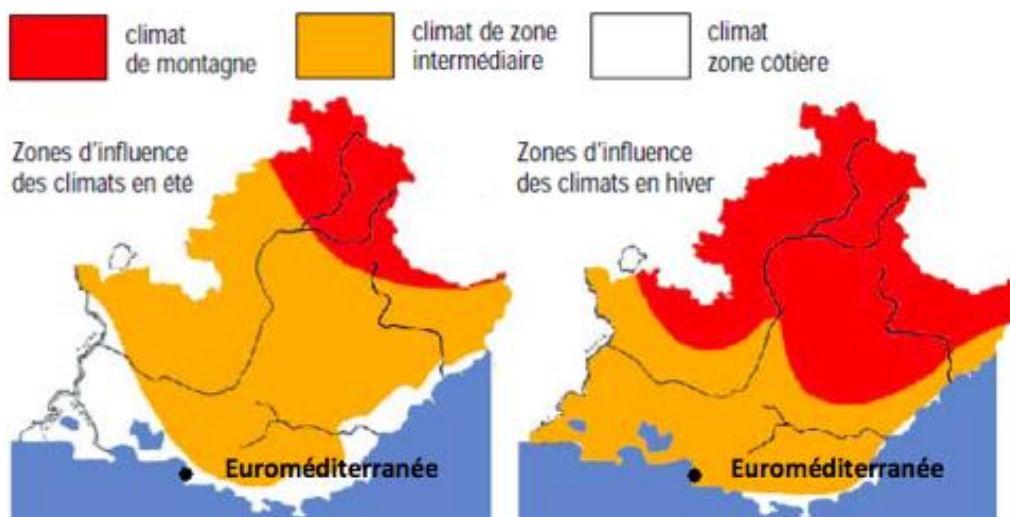


Figure 1- Zones climatiques (source : Euromed)

S'ajoutant à ce phénomène, d'autres paramètres viennent caractériser encore un peu plus les spécificités climatiques : villes ou campagnes, collines, montagnes ou vallées, zone aride ou à proximité de rivières ou lacs.

### 1.2 TEMPERATURES, ENSOLEILLEMENT, PUISSANCE DU VENT ET HUMIDITE

#### 1.2.1 TEMPERATURES

Le climat méditerranéen se caractérise des autres territoires de l'hexagone par ses températures douces tout au long de l'année. Il existe néanmoins des amplitudes de températures importantes en fonction du lieu qui ne peuvent être ignorées. Il n'est donc pas possible de concevoir thermiquement les bâtiments en considérant des températures moyennes appliquées à l'ensemble de la zone méditerranéenne tant les écarts peuvent être notables. Il est donc important de faire appel à une base de données météorologique provenant de stations météo au plus proche de la zone considérée pour caractériser les performances thermiques de bâtiments concernés.

Les moyens de caractériser les zones climatiques sont les suivantes :

- par les températures moyennes annuelles et mensuelles : Cela permet de distinguer fortement les zones montagneuses des autres avec des températures négatives l'hiver. Permet de caractériser également les campagnes, ainsi que les vallées.

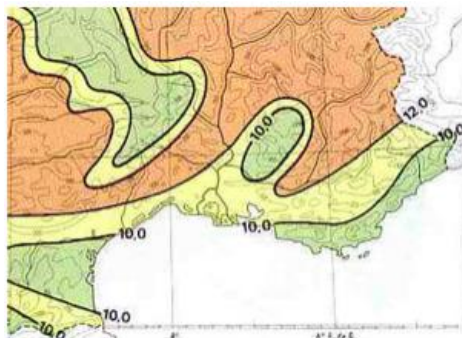


Figure 2 - Amplitudes moyennes Juillet (°C) (source Météorologie Nationale)

- par les DJU (degré-jours unifiés) : qui permet de caractériser les jours de chauffe en fonction des régions et de calculer les consommations de chauffage. Ils représentent l'écart entre une température intérieure (souvent fixé à 20°C moins 2°C d'apports gratuits soit 18°C, et l'on nomme alors les DJU(18)), et la température extérieure moyenne de la journée. Leur unité est le [degré.jour]. Même si la région méditerranéenne possède le plus faible DJU (18) de France, les DJU (18) par microclimat montre des différences notables de 1600 à 2600 voire plus en fonction de l'altitude notamment. De la même manière, on peut considérer des DJU de climatisation en fixant une température intérieure de consigne et en calculant les écarts avec la température extérieure en période estivale. Ces DJU de climatisation permettent de la même manière de caractériser le climat l'été et de calculer les consommations de climatisation.

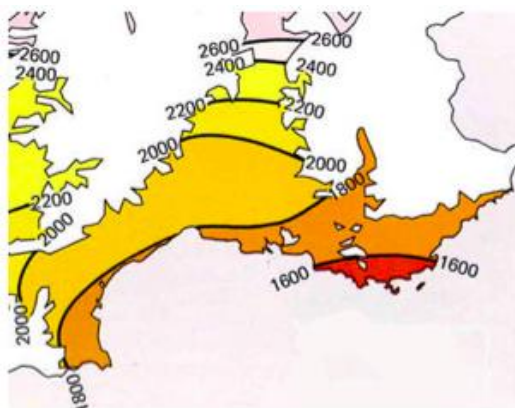


Figure 3 - Degrés-jours saison de chauffage (source CSTB)

- Amplitude annuelle, mensuelle et journalière des températures : cela permet d'identifier les zones de climat montagneuses et de vallées où les amplitudes de températures sont plus importantes que dans les villes et sur le littoral.

## 1.2.2 ENSOLEILLEMENT

L'ensoleillement est un paramètre fondamental du climat méditerranéen, de par son importance. On compte en moyenne 2500 heures d'ensoleillement par an sur l'arc méditerranéen. L'ensoleillement joue un rôle crucial dans la conception des bâtiments, car il permet des apports thermiques importants l'hiver participant de manière passive au chauffage du bâtiment. A l'inverse, il peut provoquer également des surchauffes l'été, source d'inconfort, ce qui entraîne le recours à des systèmes de climatisation le plus souvent énergivores.

La fraction d'insolation (rapport entre durée réelle d'insolation et durée du jour théorique) est en moyenne sur l'année de 56% à 65%, de 54% à 56% l'hiver, à plus de 75% l'été. Cela est un critère important pour déterminer plus précisément l'énergie solaire récupérable.

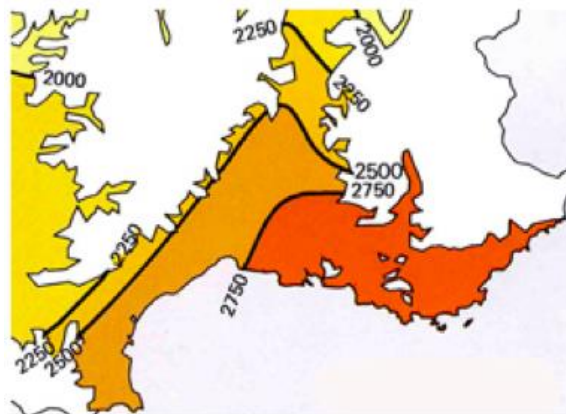


Figure 4 - Nombre d'heures d'ensoleillement annuel (source CSTB)

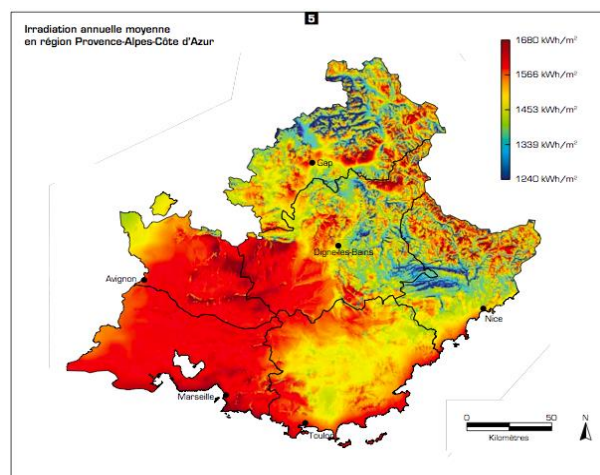


Figure 5 - Irradiation annuelle moyenne en PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source ATLAS des Energies en PACA)

L'irradiation est un paramètre tout aussi important qui permet de quantifier la puissance solaire potentiellement disponible en fonction de la zone étudiée. La région méditerranéenne possède l'irradiation moyenne la plus élevée de France métropolitaine.



---

### 1.2.3 VENT

La région est caractérisée par des vents forts de prédominance Sud-Ouest. Les différents vents qui sévissent peuvent tout aussi bien nuire au confort et accentuer les déperditions thermiques d'un bâtiment en hiver, que d'agir favorablement en apportant un rafraîchissement ou un adoucissement des températures ressenties en été. Les principaux vents sont les suivants :

- Mistral : Vent violent et fréquent avec des vitesses de l'ordre de 5 m/s, sec en été, il permet l'ensoleillement en chassant les masses nuageuses. Il n'a pas beaucoup d'impact sur les zones montagneuses.
- Vent d'Est : Vents marins qui apportent les masses nuageuses et la pluie. Ils sévissent principalement sur le littoral.
- Les vents de vallées : Vents présents dans les zones montagneuses qui ont la puissance du mistral et une fréquence élevée. Permettent de dégager les brumes et d'évacuer l'humidité locale.
- Les brises de mer et de terre : vents de faibles puissances mais fréquents. La journée, les brises de mer apportent sur les terres l'humidité et un certain rafraîchissement l'été et la nuit, les vents de terre soufflent en direction de la mer évacuant la chaleur.

---

### 1.2.4 HUMIDITE

L'humidité relative présente dans l'air joue fortement sur le confort ressenti que ce soit en extérieur ou dans les enceintes des bâtiments.

En été, l'humidité relative est élevée, située entre 70% et 80%. L'hiver également, l'humidité relative atteint 60% à 70% ce qui reste élevé. Des vents chauds et secs tel que le Sirocco venu du Sahara permettent de faire varier ponctuellement l'humidité relative.

Les précipitations sont élevées l'hiver (en moyenne 500 mm de pluie sur une saison d'hiver), mais les jours de pluie sont peu nombreux, (environ 78 par an) et les pluies souvent courtes et intenses. Elles revêtent un caractère orageux l'été.

L'été se caractérise par une sécheresse avec des précipitations en moyenne inférieures à 30 mm.

---

### 1.2.5 IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Afin de pouvoir utiliser cette étude à l'avenir, il est primordial d'y intégrer les changements climatiques observés et de projeter les conclusions obtenues par les experts.

Selon le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE), l'évolution des températures durant les 20 dernières années a permis de constater une augmentation notable surtout concernant les températures maximales. Les prévisions concluent sur une tendance semblable d'augmentation de la température extérieure.

L'évolution des précipitations durant les 20 dernières années note une diminution de la quantité de précipitation, mais pas du nombre de jours de précipitations. Les prévisions pour les prochaines années font état également d'une diminution des précipitations ainsi que des jours de pluies par an, en revanche les phénomènes météorologiques exceptionnels, telles des précipitations intenses, auraient tendance à augmenter.

## 2 ARCHITECTURE TRADITIONNELLE ET MODES DE VIES M »

### 2.1 L'ARCHITECTURE TRADITIONNELLE

Les architectures traditionnelles ont été conçues en accord avec le climat local ainsi qu'avec les matériaux locaux. Leur analyse permet de déceler les influences du climat sur l'architecture.

#### 2.1.1 STRUCTURE

Une typologie de l'architecture traditionnelle méditerranéenne, pré-industrielle et non-monumentale, a été définie dans le cadre du programme "Euromed Héritage". Elle établit 6 types de construction :

- Hôtel aristocratique ou demeure bourgeoise : implantés en zone urbaine, et construits du XVI<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle
- Les immeubles bourgeois : situés dans les villes et les villages moyens, datés essentiellement des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles.
- Les immeubles populaires : situés dans les villes et villages, bâtis essentiellement entre les XVII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles
- Les maisons populaires : dans les villes, villages et hameaux, datées essentiellement des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles
- Les fermes ou mas de plaine : en espace rural, postérieures au XVI<sup>e</sup> et essentiellement au XIX<sup>e</sup> siècle
- Les fermes ou mas de colline ou de montagne, en espace rural d'arrière-pays, postérieures au XVI<sup>e</sup> et essentiellement au XIX<sup>e</sup> siècle

La technique constructive utilisée pour ces bâtiments est essentiellement basée sur la maçonnerie de moellons de calcaire ou d'autres pierres en fonction des spécificités géologiques des lieux (schiste dans les Maures, l'Estérel ou en Corse orientale, granit en Corse orientale, brique pleine en Roussillon, porphyre dans les Maures ou l'Estérel, galets). L'utilisation de pierres de taille en calcaire tendre (ou semi-dure) est plus répandue autour de la basse vallée du Rhône, et plutôt réservée aux bâtiments bourgeois et aristocratiques, de par son coût plus élevé. La pierre est alors appareillée sur toute l'épaisseur du mur ou en parement extérieur. Le pisé est également présent, dans les basses vallées de l'Isère et de la Durance...

Les planchers sont constitués par des poutres ou des solives en bois. La couverture est surtout constituée de tuiles rondes d'argile, de lauzes de schiste (Cévennes, Pyrénées, Corse, ...). Les revêtements extérieurs sont réalisés avec un enduit de mortier de sable et de chaux à finition lissée, parfois revêtu d'une peinture à la chaux. Pour les mas de plaine, comme de collines, la technique des moellons hourdés à joints garnis de mortier de chaux à pierres vues est utilisée.



Le mas provençal est un bon exemple de l'influence du climat sur l'architecture en méditerranée. Sa structure porteuse est composée de pierre calcaires liées la plupart du temps par des enduits locaux (terre, chaux). L'isolation est parfois présente sous les toitures sous forme d'isolant bio-sourcé de type végétal ou minéral. Les ouvertures (fenêtres, porte) sont présentes principalement en façade Sud et quasiment inexistantes au Nord.

Figure 6 - Mas provençal

---

### 2.1.2 INFLUENCES

La structure en pierre possède une forte inertie thermique : forte conductivité, forte chaleur massique, grande surface d'exposition. Cela permet d'éviter les surchauffes en période estivale ou les températures extérieures et l'ensoleillement sont particulièrement importants et caractéristiques du climat méditerranéen.

Le mur régule la température intérieure : il absorbe la chaleur extérieure et la relâche à l'ambiance intérieure des heures plus tard quand les apports solaires sont moins importants.

Les faibles surfaces d'ouvertures permettent de diminuer les déperditions thermiques en hiver qui peuvent s'avérer importantes dans des régions où des micro climats montagneux ou de campagne peuvent sévir et où les températures minimales peuvent être négatives .

L'orientation des ouvertures en façade Sud permet d'optimiser les apports solaires en hiver en augmentant le flux solaire dans l'enceinte du bâtiment.

L'absence d'ouvertures en façade Nord, et des murs de grande épaisseur et de grande inertie permettent de diminuer les déperditions thermiques l'hiver en luttant contre les effets du Mistral qui, par sa vitesse et sa fréquence, augmente les déperditions thermiques par convection.

L'isolation des toitures permet de lutter contre les déperditions hivernales. L'absence d'isolation des parois s'explique par le climat chaud des régions méditerranéennes.

---

### 3 LE MODE DE VIE MEDITERRANEEN

Traditionnellement, les modes de vie méditerranéens ont dû s'adapter aux contraintes climatiques. Les limites constructives, liées à l'utilisation des matériaux et matériels disponibles localement, impactaient de manière forte le confort thermique d'été (absence d'isolation, menuiseries à simple vitrage, ventilation naturelle, pas de système actif de rafraîchissement, ...).

De nos jours, ces contraintes ayant disparu (utilisation de matériaux et de systèmes techniques industriels), le comportement des habitants de la région méditerranéenne est plus libre et influence plus fortement les aspects architecturaux et énergétiques des bâtiments. Cet impact peut s'avérer négatif en termes de consommation énergétique, mais également de confort thermique.

#### 3.1 LES MODES DE VIE TRADITIONNELS

##### 3.1.1 SE PROTEGER DE LA CHALEUR



<http://ann.over-blog.com>

Les possibilités constructives pour se protéger de la chaleur étant autrefois très limitées, les habitants de la région méditerranéenne ont adopté différentes techniques pour se protéger du rayonnement solaire et limiter les surchauffes estivales.

La végétation a été mise à contribution. Les arbres à feuillage caduque, plantés devant les bâtiments offraient une protection efficace en été, tandis que la chute des feuilles en hiver laissait passer le rayonnement. Sur les terrasses, les treilles accueillait fréquemment des vignes qui avaient la même fonction.

Au niveau des ouvertures, des persiennes ont remplacé les volets habituellement présents dans les autres régions. Ce dispositif permet ainsi de laisser rentrer la lumière, tout en se protégeant du rayonnement solaire.

##### 3.1.2 VENTILER ET RAFRAICHIR

D'autres techniques et comportements ont été développés, pour rafraîchir et ventiler.

Plus répandus dans les autres pays méditerranéens, les patios constituaient des espaces extérieurs plus frais. Ils étaient souvent agrémentés de fontaines et de plans d'eau qui apportaient de l'humidité.

Dans les pays arabes, un dispositif de ventilation naturelle forcée était fréquemment utilisé : Le **moucharabieh**. Ces panneaux de bois ajourés forment un maillage qui entraîne une réduction de la surface et accélère le passage du vent. Celui-ci est mis en contact avec des surfaces humides, bassins ou plats remplis d'eau qui diffusent leur fraîcheur à l'intérieur de la maison (source : wikipedia).

Certaines habitudes simples peuvent également être efficaces, comme le fait de verser de l'eau sur les terrasses le soir, ce qui apportait une humidification de l'air par évaporation et un rafraîchissement du sol.

## 3.2 LES MODES DE VIE CONTEMPORAINS

Les matériaux modernes et les systèmes de rafraîchissement actifs permettant de s'affranchir des contraintes du passé, l'architecture en zone méditerranéennes et les modes de vie ont évolué notamment sur plusieurs points.

### 3.2.1 LES OUVERTURES SUR L'EXTERIEUR



Figure 7 - Ouvertures sur l'extérieur

La grande fréquence de sortie du bâtiment durant la période estivale, implique l'ouverture fréquente du bâtiment sur l'extérieur. Les frontières entre le bâtiment et l'extérieur s'effacent, les baies vitrées remplacent les cloisons opaques et restent ouvertes fréquemment afin de faciliter les nombreux passages entre intérieur et extérieur.

Cela engendre un impact non négligeable sur les conditions d'ambiance intérieure du bâti car une quantité importante d'air à température extérieure vient modifier le volume d'air intérieur.



Figure 8 – Terrasses

### 3.2.2 LA TERRASSE, LE PATIO

La terrasse ainsi que le patio sont les prolongements de l'habitat intérieur avec l'extérieur. Ces éléments architecturaux s'accordent avec le mode de vie méditerranéen portée sur l'effacement des frontières entre intérieur et extérieur.

### 3.2.3 LA PISCINE



Figure 9 – Piscines

Les fortes températures de la région et le développement des agglomérations de plus en plus loin de la mer ont favorisé l'augmentation du nombre de piscines chez les particuliers ainsi que dans certaines habitations collectives. Le climat doux permet d'avoir une eau à une température suffisante pour se baigner plusieurs mois de l'année et ainsi de se rafraîchir rapidement et facilement. Les piscines procurent également un endroit de détente personnel au sein de la propriété, afin d'accroître encore un peu plus le confort de vie.

En contrepartie, cette tendance récente entraîne des consommations d'eau importantes. Par ailleurs, le fonctionnement de la piscine entraîne des consommations électriques non négligeables (pompe, éclairage et éventuellement chauffage).

## 4 LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION TRADITIONNELLE EN MEDITERRANEE

De nombreux matériaux sont caractéristiques de l'architecture en climat méditerranéen.

### 4.1 MURS ET MAÇONNERIE

Les murs constituent la plus grande partie de l'enveloppe du bâtiment. Leur rôle structurel de base s'allie avec des caractéristiques telles que l'isolation et la décoration. Les murs assurent le maintien du bâti.

Ils sont composés majoritairement de matériaux minéraux liés par un mortier. La finition est assurée par un enduit extérieur (chaux, plâtre,...) qui protège le mur.

On recense plusieurs types de murs :

- Les murs maçonnés porteurs
  - avec isolation intérieure ou extérieure rapportée
  - à isolation répartie
- Les murs à ossature avec matériaux de remplissage

Ils existent plusieurs types de conditionnement des matériaux de gros œuvre :

- Les briques et blocs : concernent les pierres taillées et sèches, les briques de chanvre, de terre crue,...
- Les bottes pour la paille
- En vrac : matériaux conditionnés dans des sacs
- Prélèvement direct : concerne les pierres sèches, la terre
- Panneaux : plus rare, composés de terre avec une trame armée de matière végétale

Le choix d'un matériau de maçonnerie dépend de plusieurs critères :

- Sa résistance mécanique
- Sa facilité de mise en œuvre
- Ses performances thermiques
- Ses caractéristiques environnementales
- Sa perméance à la vapeur d'eau
- ...

Types	Murs maçonnés avec isolation intérieure rapportée	Murs maçonnés avec isolation extérieure rapportée	Murs à ossature avec matériaux de remplissage	Murs maçonnés à isolation répartie
<b>Avantages</b>	Economies	Suppression des ponts thermiques ; Absence de matériaux isolants dans le volume intérieur donc pas de risque de diffusion de fibres	Epaisseur libre du matériau de remplissage qui est isolant ; Minimisation des ponts thermiques ;	Pas d'isolation rapportée ; Inertie et perméabilité à la vapeur d'eau
<b>Techniques</b>	Traitement plus complexe des ponts thermiques et faible inertie	L'Isolation thermique par l'extérieure peut aussi se poser avec enduit, parement pierre, brique,...Parfois impossible en centre ancien	Perméabilité à la vapeur d'eau selon les matériaux utilisés	Mise en œuvre par un professionnel formé ; Caractéristiques insuffisantes pour bâtiments passifs

Figure 10 - Comparaison types de murs maçonnés

#### 4.1.1.1 LA PIERRE DE TAILLE

La pierre de taille est extraite du sol majoritairement calcaire de la région. On trouve également des pierres en grès, marbre, schiste, volcaniques ou granit. Sa mise en place nécessite un liant tel que la chaux. Son inertie importante permet d'assurer un confort estival très appréciable en vue des forts apports solaires de la région.

Ces pierres sont utilisées pour répondre :

- à des contraintes structurelles : murs porteurs, dallage, voûte, poteau
- à des besoins d'ornementation : parement

Ses caractéristiques physiques sont les suivantes :

- conductivité thermique :  $1,4 \text{ W}/(\text{m.K})$
- masse volumique :  $1910 \text{ kg}/\text{m}^3$
- chaleur massique :  $1000 \text{ J}/(\text{kg.K})$
- effusivité thermique :  $1844 \text{ (J.K-1)}/(\text{m}^2.\text{s}^{1/2})$



Figure 11 - Pierre de taille

#### 4.1.1.2 LA PIERRE SECHE



La pierre sèche est à l'origine utilisée pour des ouvrages d'aménagement de terrains tels que les terrassements agricoles. Elle est accessible soit par récupération lors de réhabilitation d'anciennes voies de transport, ou bien par extraction réglementée à même le sol.

L'utilisation de ces pierres pour la construction ne nécessite pas de liant, mais un savoir faire bien particulier maîtrisé par des artisans qualifiés. Son utilisation permet une excellente intégration des bâtis dans l'environnement méditerranéen.

Figure 12 - Pierre sèche

Ces pierres sont utilisées pour répondre à des réalisations :

- de soutènement
- de structures porteuses en région hors calcaire ne disposant pas de liants naturels à base de chaux

#### 4.1.1.3 BOIS ET CHARPENTE

Le bois est une ressource très présente en région méditerranéenne. Il permet tous les styles et de nombreuses formes architecturales. Une construction bois permet d'accueillir plusieurs modes constructifs tels que l'enduit à la chaux, les maçonneries utilisant la pierre, la terre cuite,...

Le bois est recyclable et récolté dans le cadre d'une gestion durable de la forêt. Néanmoins cette ressource n'est pas assez exploitée. Les bois disponibles en fortes quantité sont le mélèze et l'épicéa.

Ils peuvent être utilisés :

- en charpente : ossature de poteaux servant à soutenir et/ou couvrir les constructions et faisant partie de la toiture
- en ossature bois : système structurel pour la réalisation des parois verticales
- en poteau poutre : ossature porteuse
- en bardage : couche de revêtement sur les murs extérieurs
- en panneaux massifs

Le bois possède une forte résistance mécanique et au feu, et possède de bonnes caractéristiques (souplesse, résistance) pour les régions sismiques telle qu'en méditerranée.

## 4.2 COUVERTURE

La région méditerranéenne fournit traditionnellement des matériaux de couverture naturels.

- Origine minérale : Lauze, Ardoise
- Origine végétale : Chaume (paille de blé, seigle, genêts, ...)
- Tuile de bois : Tavaillon ou bardeau
- Mixte : Toiture végétalisées

Le choix du matériau s'axe autour de plusieurs points :

- Son intégration architecturale
- Sa résistance mécanique
- Son énergie grise
- Son origine
- Ses aspects sanitaires

Couverture		Energie grise	Filière sèche	Matériaux issus de ressources renouvelables et durables	Matériaux issus de filière de recyclage	Matériaux produits régionalement
Origine	Matériau					
Minérale	Lauze	Pas de données probantes à ce jour	Oui	0% renouvelable à 100% renouvelable	Potentiellement	Oui
	Ardoise		Oui	0% renouvelable à 100% renouvelable	Potentiellement	Non
Végétale	Chaume		Oui	100%	Non	Oui
	Tavaillon		Oui	100%	Potentiellement	Oui
Mixte	Toiture		Non	100%	Non	Potentiellement



	végétalisés					
--	-------------	--	--	--	--	--

Figure 13 - Comparaison types couverture

Types	Avantages
<b>Ardoise</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longévité</li> <li>• Matériau naturel, sain recyclable</li> </ul>
<b>Lauze</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longévité</li> <li>• Matériau naturel et sain</li> <li>• Bon isolant acoustique</li> </ul>
<b>Chaume</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matériau naturel, sain</li> <li>• Fixation du CO2</li> <li>• Supporte de forte variation de températures</li> <li>• Permet une circulation d'air</li> <li>• Bonne isolation thermique et phonique</li> </ul>
<b>Tuile en bois</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Légèreté</li> <li>• Fixation du CO2</li> <li>• Esthétique</li> <li>• Grande variété de formes</li> <li>• Malléable</li> </ul>
<b>Toiture végétalisée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Végétation permanente</li> <li>• Confort phonique et thermique</li> </ul>

Figure 14 - Comparaison matériaux couverture

#### 4.2.1 ISOLATION

Voici une liste non exhaustive des isolants bio-sourcés les plus couramment utilisés en région méditerranéenne. Ils sont d'origines végétales, minérales ou animales. Ils ne représentent cependant qu'une faible part des isolants utilisés tels que les isolants synthétiques qui représentent environ 80% des isolants posés.

- Isolant d'origine végétale : Fibre de bois, Laine de lin, de chanvre, de coton recyclé, liège, ouate de cellulose, Paille de céréales ou de lavande
- Isolants d'origine animale : Laine de mouton, Plume de canard
- Isolants d'origine minérale : Argile expansé, Pouzzolane

Les conditionnements :

- En panneaux
- En rouleaux
- En vrac

Pour choisir l'isolant, plusieurs critères rentrent en compte :

- La résistance thermique qui détermine le pouvoir isolant du matériau
- La capacité thermique, hygrosopique et acoustique à ajuster aux besoins
- Le déphasage qui correspond au temps que met la chaleur pour traverser le matériau
- L'énergie grise
- La facilité de la pose pour l'installation concernée

Le choix de l'isolation s'accorde avec des parements adaptés en fonction du matériau, une bonne étanchéité à l'air, une gestion des ponts thermiques, une ventilation efficace et une bonne protection solaire.

Les tableaux suivants synthétisent certains isolants caractéristiques dans la région méditerranéenne. Les caractéristiques utilisées sont les suivants :

- La conductivité thermique [W/(m.K)] caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction
- La masse volumique [kg/m<sup>3</sup>]
- La chaleur massique [J/(kg/K)] est la quantité d'énergie à apporter par échange thermique pour élever d'un kelvin la température du matériau
- La perméabilité à la vapeur d'eau  $\mu$  qui indique l'épaisseur d'une couche d'air dont la perméabilité à la diffusion est équivalente à la couche d'un mètre du matériau considéré. Plus  $\mu$  est grand, plus le matériau permet un transfert de vapeur d'eau.

Matériaux	Conductivité W/(m.K)	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	Chaleur massique J/(kg/K)	Perméabilité à la vapeur d'eau
Bois	0,038 à 0,055	140 à 280	1600 à 2300	3 à 5
Chanvre	0,039 à 0,042	25 à 40	1300 à 1700	1 à 2
Ouate de cellulose	0,038 à 0,044	25 à 65	1600 à 2100	1 à 2
Laine de lin	0,037 à 0,044	20 à 35	1300 à 1700	1 à 2
Laine de mouton	0,035 à 0,045	3,86 à 9,75		
Liège	0,035 à 0,060	80 à 60	1700 à 2000	1 à 3
Paille de lavande	0,055	130 à 160	1400 à 2000	1 à 2

Figure 15 - Comparaison isolants d'origine végétale

Matériaux	Conductivité W/(m.K)	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	Chaleur massique J/(kg/K)	Perméabilité à la vapeur d'eau
Laine de mouton	0,035 à 0,045	15 à 30	1000 à 1800	1 à 2
Plumes de canard	0,040 à 0,042	30		

Figure 16 - Comparaison isolants d'origine animale

Matériaux	Conductivité W/(m.K)	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	Chaleur massique J/(kg/K)	Perméabilité à la vapeur d'eau
Argiles expansé	0,085 à 0,110	250 à 500	1100	3 à 4

Figure 17 - Comparaison isolants d'origine minérale

## 5 L'ENERGIE DANS LES BATIMENTS EN REGION PROVENCE ALPES-COTE D'AZUR

### 5.1 ETAT DES LIEUX : PRODUCTION ET CONSOMMATION

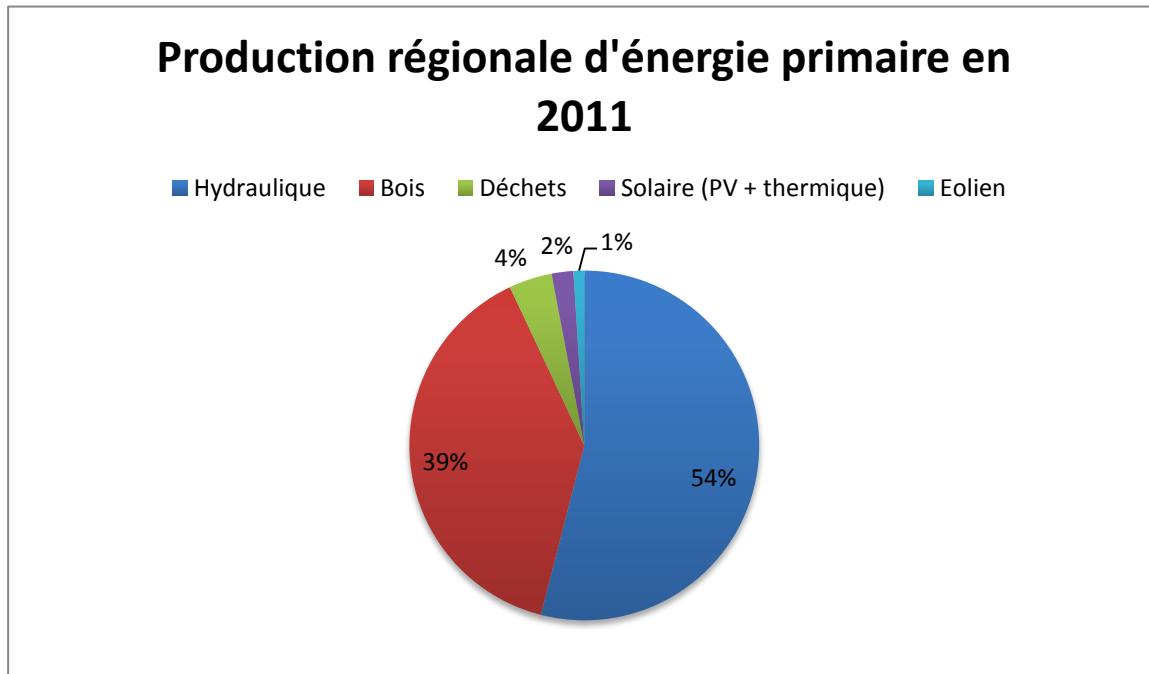


Figure 18 - Production régionale d'énergie primaire en 2011 en PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source ORE bilan 2011)

La région possède une production d'énergie primaire à 100 % renouvelable, ne possédant aucune production à énergie fossile. Elle se caractérise par ce que l'on nomme une "péninsule électrique" dans l'est de la région, qui se trouve éloignée des centrales nucléaires. Ce phénomène entraîne des problèmes de sécurisation, ce qui rend d'autant plus nécessaire la maîtrise de la demande en électricité.

La production régionale d'énergie primaire montre l'influence prédominante de la production hydraulique, suivie par le bois qui possède un fort potentiel mais qui souffre du manque de structure dans la chaîne de production. Un projet phare au niveau national est prévu à la centrale thermique de Gardanne, avec le remplacement d'une tranche par une centrale bois.

Le solaire photovoltaïque et thermique concerne une faible part de la production en quantité, mais l'ensoleillement particulièrement important de la région méditerranéenne en fait la première région solaire en terme de puissance installée.

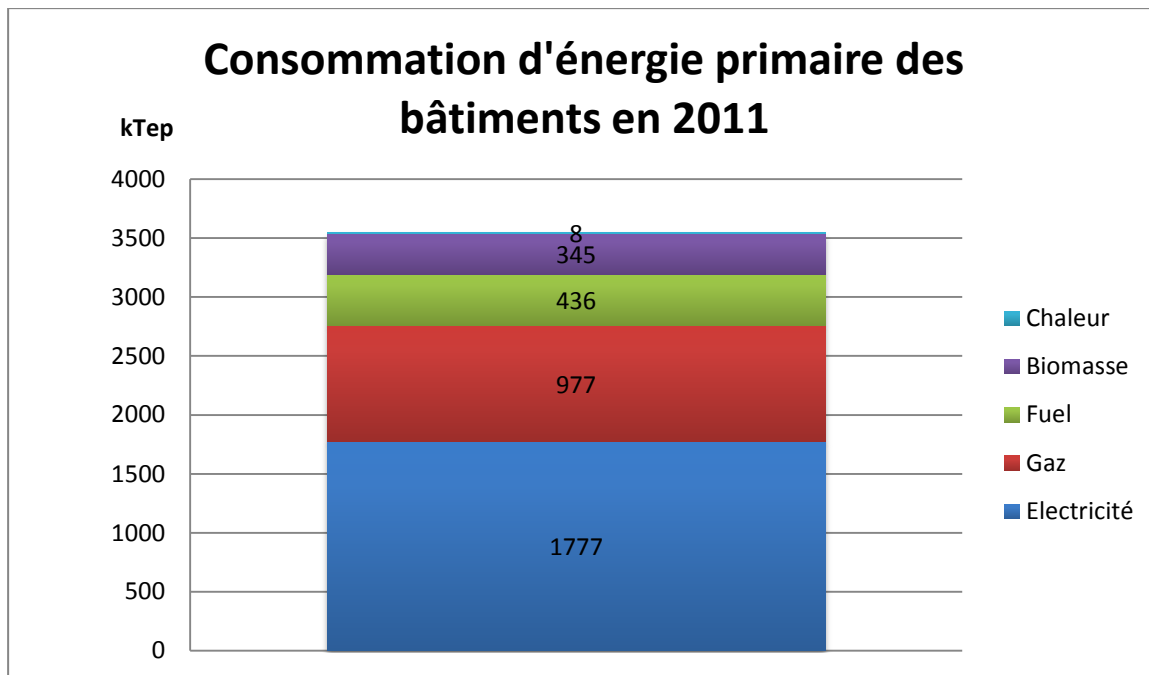


Figure 19 - Consommation d'énergie primaire des bâtiments en 2011 en PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source ORECA)

La répartition des consommations d'énergies finales permet de mettre en valeur la forte proportion des besoins en électricité, suivi par le gaz à des fins de production de chaleur et pour l'alimentaire.

La région étant à fort potentiel touristique possède une consommation d'électricité par habitant supérieure à la moyenne nationale française. Cela s'explique par des exigences de confort et d'équipement supérieures à la moyenne.

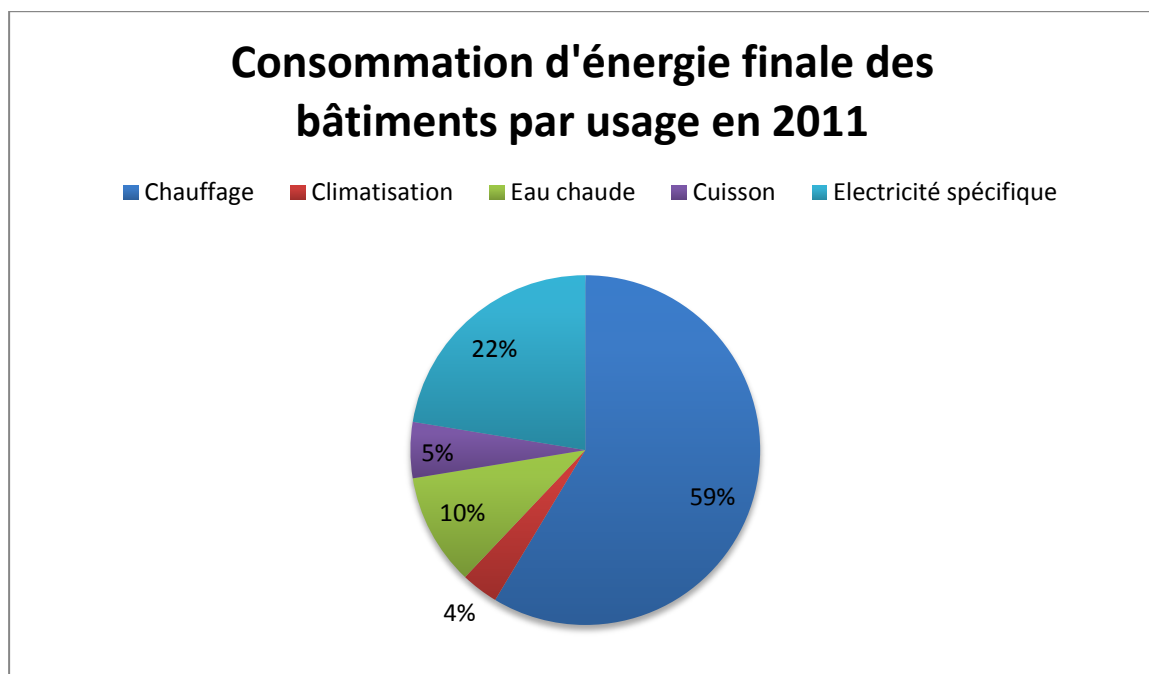


Figure 20 - Consommation d'énergie finale des bâtiments par usage en 2011 en PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source Energ'air 2010)

Les consommations d'énergie finale par usage permettent de mettre en lumière la consommation de chauffage prédominante malgré les faibles besoins liés à la région et à son climat chaud. Les consommations de chauffage

restent néanmoins faibles au niveau national. La diminution des consommations de chauffage est le point sur lequel il faut agir en région méditerranéenne.

## 5.2 LE SOLAIRE THERMIQUE

### 5.2.1 PRINCIPE

L'énergie solaire thermique se récupère par le biais d'installation de panneaux solaires thermiques liés à un système adéquat de distribution, de stockage et de régulation. La zone méditerranéenne représente une part de la production solaire thermique française de 13% en 2010, soit environ 320 000 m<sup>2</sup> en surface de panneaux installés. Cela représente une énergie non négligeable pour le secteur du bâtiment dans le domaine tertiaire, ou le résidentiel collectif et individuel.

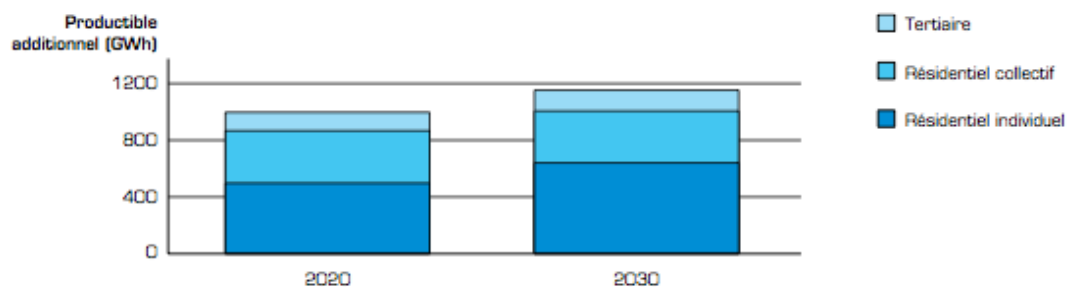


Figure 21 - Potentiel additionnel du solaire thermique en région PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source Atlas de énergies en PACA)

La région PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR et en généralisant, la région méditerranéenne, possède un fort potentiel pour le développement des installations de solaire thermique.

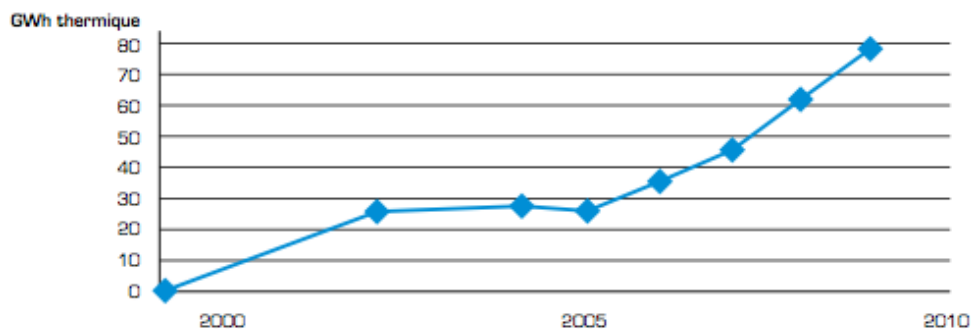


Figure 22 - Production du solaire thermique en région PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR (source Atlas de énergies PACA)

La production du solaire thermique en PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR montre une très forte hausse et une tendance pour les années à venir toujours croissante.

## Répartition des installations solaires thermiques en région PACA fin 2010

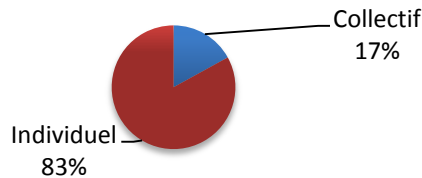


Figure 23 - Répartition des installations solaires thermiques en région PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR fin 2010 (source SRCAE PACA)

Le diagramme ci-dessus met en évidence la part très élevée des installations solaire thermique pour les logements individuels comparés aux logements collectifs.

Plusieurs types d'installations solaires thermiques existent :

- CESC : production du chauffage de l'eau chaude sanitaire collectif
- SSC : système solaire combiné chauffage et eau chaude sanitaire
- CESI : production du chauffage de l'eau chaude sanitaire individuel

Reste également le choix de la localisation de l'appoint et du stockage permettant encore plus de configurations adaptées pour les logements collectifs.

### 5.2.2 CAS D'ETUDE DU CESC

#### 5.2.2.1 COUTS

Le coût d'un chauffe eau solaire est en moyenne de 1000 € HT/m<sup>2</sup>utile.

L'énergie est 100% renouvelable.

L'analyse de cycle de vie montre un temps de retour énergétique faible d'environ 2 ans CESC et 6 ans CESI (hors recyclage).

Le temps de retour économique, après subventions, est de 7 à 10 ans en fonction de l'énergie substituée.

Le coût d'investissement est élevé.

#### 5.2.2.2 COUVERTURE SOLAIRE

Le taux de couverture des besoins en eau chaude sanitaire par l'énergie solaire se situe entre 40% et 70%. L'installation d'un chauffage d'appoint est nécessaire pour couvrir les besoins non couverts par le solaire.

#### 5.2.2.3 SOLUTION TECHNIQUE

Des capteurs autovidangeables (dispositif drain-back) sont disponibles et permettent d'éviter les surchauffes estivales, de diminuer la maintenance tout en évitant d'avoir un circuit sous pression permettant une installation plus simple.

Néanmoins on a une consommation électrique de la pompe de circulation plus élevée ainsi qu'une pente minimale de 3% pour toutes les canalisations.

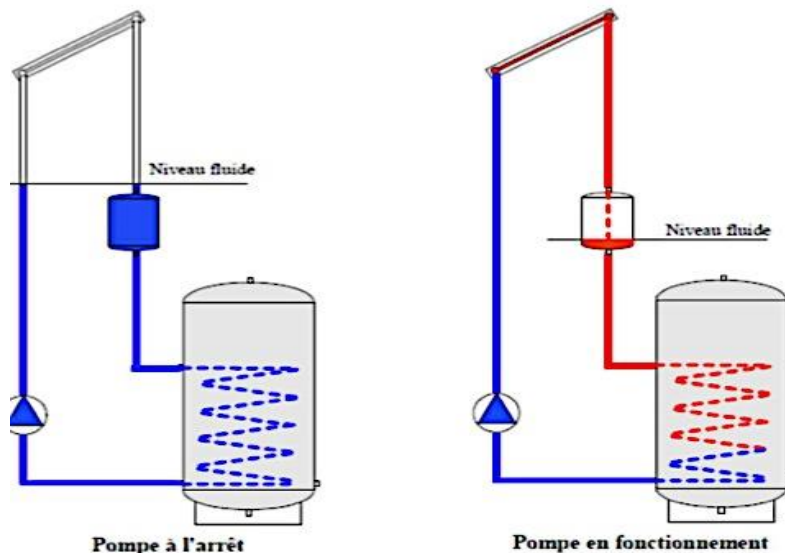


Figure 24 - Schéma comparatif installations solaire thermique (source SOCOL)

La maintenance est primordiale mais son coût ne doit pas dépasser 20% des économies générées par le solaire.

Différentes sources d'énergies renouvelables sont exploitables et représentent un potentiel énergétique important pour le domaine du bâtiment, avec une orientation prononcée pour l'utilisation des énergies d'origines solaires.

### 5.3 LE BOIS ENERGIE

La région PROVENCE ALPES-CÔTE D'AZUR représente la troisième région la plus boisée de France, soit un potentiel pour l'utilisation du bois énergie importante. Le taux d'accroissement est de 1% par an, avec une ressource à plus de 70% vouée au bois d'industrie et de chauffage (source SRCAE paca).

Le prix du bois est compétitif comparé aux autres énergies, estimé entre 2,8 à 6,2 centimes d'euros TTC par kWh PCI livré contre 5,8 c€/kWh PCI pour le gaz naturel, et jusqu'à 12,9 c€/kWh PCI pour l'électricité (source ADEME coûts 2011).

Le bois possède des atouts environnementaux, à savoir le recyclage du CO<sub>2</sub> qui est recyclé à l'échelle de la croissance d'un arbre, comparé aux énergies fossiles dont le temps de recyclage s'effectue en milliard d'années. Pour information, 1 m<sup>3</sup> de bois représente 1 tonne de CO<sub>2</sub>.

Le bois énergie se retrouve sous différentes formes : plaquettes, pellets, bûches.

Les chaudières automatiques bois utilisant l'une des sources précédemment citées permet une optimisation de la combustion et un haut rendement de l'ordre de 80% à 90%.

Il reste cependant à améliorer la structure de la filière, de la récolte, à l'approvisionnement en passant par le conditionnement.

#### 5.4 LA BOUCLE A EAU DE MER

Autre caractéristique de la région méditerranéenne, le potentiel d'utilisation de l'eau de mer. En effet, la température stable en toute saison (à partir d'une certaine profondeur) de la mer permet d'y implanter des échangeurs d'une installation thermodynamique (pompe à chaleur). Cela participe donc à la production de chaud l'hiver, et de froid l'été. Selon des estimations, la consommation d'énergie liée au chauffage et à la ventilation en serait réduite de trois quart.

Le projet "boucle d'eau de mer" à Marseille est un projet de thalassothermie permettant d'alimenter en énergie plusieurs programmes de rénovation urbaine de la cité phocéenne.

#### 5.5 LE PUIITS CLIMATIQUE

Le principe du puits climatique (traditionnellement appelé puits provençal) est de faire circuler de l'air neuf dans un conduit enterré dans le sol avant d'être introduit dans le bâtiment grâce au couplage avec un système de ventilation mécanique. L'air est ainsi préchauffé l'hiver ou refroidi l'été grâce à la température du sol stable en toute saison, situé entre 12°C et 14 °C.

Lorsque l'air est refroidi l'été par ce système, on nomme ce dernier puits provençal. Ce système doit nécessairement être accompagné d'une enveloppe de bâtiment performante.

Néanmoins, aucune offre industrielle d'installation n'existe, même si des kits sont disponibles mais nécessitent des frais annexes d'ingénieries diverses. Du fait de la difficulté de concevoir et de gérer un tel système, le puits climatique ne réduit pas énormément les consommations d'énergie alors qu'il reste complexe de le mettre en œuvre.



## 6 CONCEPTION BIOCLIMATIQUE MEDITERRANEENNE

### 6.1 DEFINITION

Le bioclimatisme a pour but de lier l'architecture, le mode de vie et le contexte géographique afin de réduire au maximum l'emploi d'énergies.

Dans le cas particulier de la région méditerranéenne, il s'agit de lier une architecture spécifique constituée de matériaux et de savoirs faire locaux, avec un mode de vie porté sur l'extérieur, au sein d'une région à climat chaud généralement, mais possédant également des micros-climats bien particuliers. Les potentiels énergétiques sont orientés principalement vers l'exploitation de l'énergie solaire, du bois, vers l'exploitation de la thalassothermie et la production d'électricité solaire et hydraulique.

Chacun des trois aspects du bioclimatisme méditerranéen a été traité précédemment. Il s'agit ici de combiner ces aspects de façon à réduire au maximum les consommations d'énergies tout en préservant l'environnement et les valeurs de confort et d'esthétisme locales.

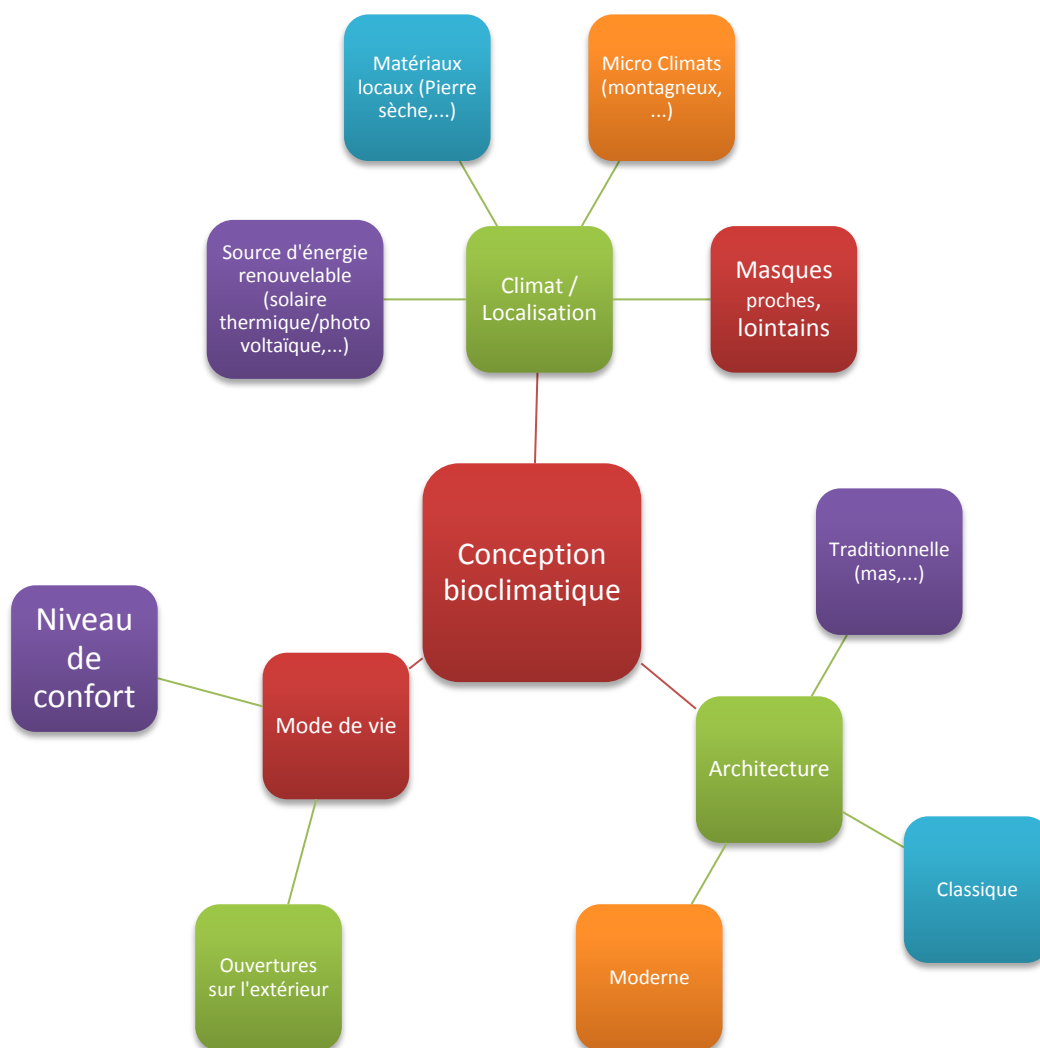


Figure 25 - Graphique de conception bioclimatique en Méditerranée

## 6.2 CONFORT D'ETE

### 6.2.1 PRINCIPE

Le confort d'été est une notion essentielle dans la région méditerranéenne. En effet, le climat chaud et le fort ensoleillement créent des surchauffes à l'intérieur des bâtiments.

Pour améliorer le confort d'été et éviter des solutions actives de climatisation, les techniques passives primordiales à respecter sont les suivantes :

- limiter l'apport solaire extérieur
- limiter les apports internes
- Favoriser une bonne inertie thermique afin de :
  - pouvoir stocker la chaleur transmise dans les parois (inertie par absorption élevée)
  - assurer un déphasage et un amortissement de la longueur d'onde de chaleur entre l'extérieure et l'intérieur (inertie de transmission et résistance thermique de la paroi élevés)
- Favoriser la surventilation nocturne

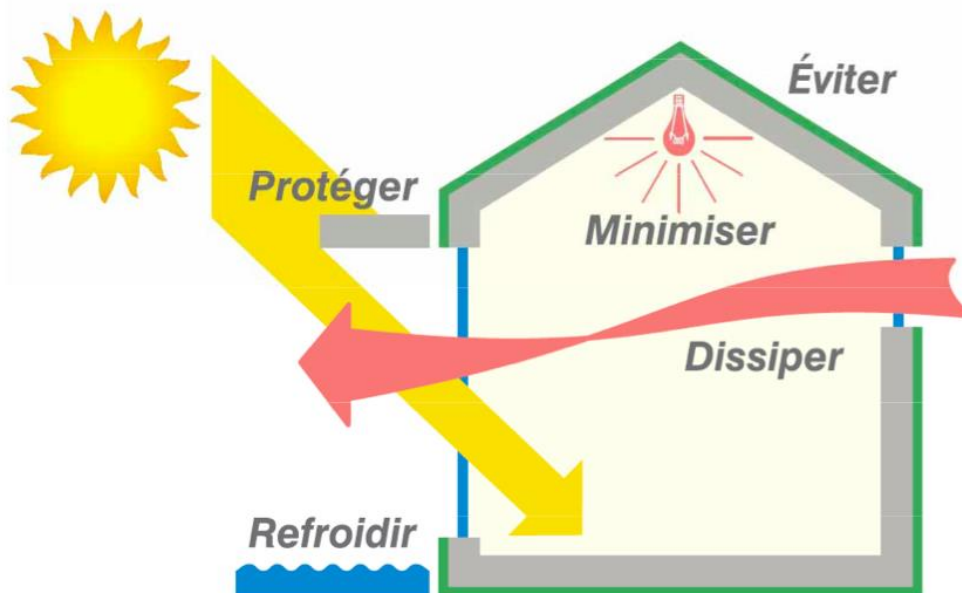


Figure 26 - Principes du confort d'été (source ENVIROBAT)

### 6.2.2 LIMITER L'APPORT THERMIQUE SOLAIRE

Le climat méditerranéen ayant pour particularité un très fort ensoleillement, il est nécessaire de réduire ces apports l'été afin de ne pas créer de surchauffe dans l'enceinte des bâtiments.

Les protections solaires permettent de réduire les surchauffes, d'améliorer l'isolation thermique en augmentant le pouvoir isolant des fenêtres, et de limiter les éblouissements.

Les protections solaires les plus efficaces sont généralement situées en dehors du bâtiment. Ces protections peuvent être mobiles afin de s'adapter aux rayonnements en fonction des saisons, et sont exposées au Sud, Sud-Est et Sud-Ouest et possèdent une couleur claire qui reflète les rayonnements.

On considère les apports solaires directs par les baies et les fenêtres (traités par les protections solaires), et les apports solaires indirects dus à la transmission de la chaleur solaire par l'enveloppe du bâtiment (murs, toits).

Les éléments de protection aux apports solaires directs :

- Stores
- Vitrages spéciaux
- Brise soleil et toit dépassant
- Persiennes
- Rideaux
- Volets (et volets roulants)
- Végétation

Les éléments de protection aux apports solaires indirects :

- Auvents
- Débords de toits
- Végétation
- Couleurs claires
- Murs massifs et toitures lourdes

---

### 6.2.3 PROTECTION THERMIQUE DES TOITURES

La toiture est le composant de l'enveloppe qui reçoit le plus d'apports solaires de par sa grande surface d'exposition à l'ensoleillement et son inclinaison. Une forte isolation au niveau de la toiture permet de réduire l'impact des conditions de températures extérieures sur l'intérieur et contribue donc au confort d'hiver et d'été, ainsi qu'au confort acoustique.

Plusieurs préconisations sont à suivre pour améliorer la protection thermique des toitures :

- Isolation thermique des toitures : isolant recouvert d'une étanchéité
- Isolation thermique des combles perdus : directement sur le plancher en plaques souples ou vrac
- Isolation des combles aménagés : pose entre les chevrons d'isolant et permettant d'avoir une lame d'air d'épaisseur suffisante pour éviter entre autre la condensation
- Pare-vapeur placé du côté du volume chauffé
- Le recours à une toiture végétalisée, qui apporte une inertie supplémentaire et permet de réduire l'îlot de chaleur

---

### 6.2.4 LIMITER LES APPORTS INTERNES

Pour limiter les apports internes, il faut :

- Eviter la sur-occupation et adopter des comportements adaptés (gestion des ouvrants, des protections solaires, ...)
- Limiter et choisir un éclairage à faible puissance type LED par exemple
- Limiter l'utilisation d'appareils ménagers fortement exothermiques

---

## 6.2.5 UTILISER L'INERTIE

---

### 6.2.5.1 LA DEFINITION

L'inertie est une grandeur physique qui permet en thermique de caractériser le comportement d'un élément lorsqu'il stocke de l'énergie et lorsqu'il la restitue.

Cette grandeur est intrinsèque au matériau et dépend de plusieurs propriétés :

- la chaleur massique, exprimé en  $J/(kg.K)$ , qui représente la capacité à « stocker » l'énergie thermique
- la conductivité, exprimée en  $W/(m.K)$ , qui représente la capacité du matériau à transmettre l'énergie
- la masse volumique, exprimée en  $kg/m^3$ , qui permet de caractérisée la densité du matériau

A partir de ces données, il est possible de caractériser l'inertie d'un matériau grâce à deux valeurs :

- la diffusivité :  $conductivité / (masse\ volumique \times chaleur\ massique)$  en  $m^2/h$

Elle permet de caractériser la vitesse à laquelle la chaleur se propage par conduction dans un corps. Plus elle est faible, plus le déphasage entre les températures extérieure et intérieure d'un bâtiment est important. Une faible diffusivité est caractéristique d'une grande inertie par transmission.

- l'effusivité :  $\sqrt{conductivité \times masse\ volumique \times chaleur\ massique}$ , en  $J/(K.m^2.s^{1/2})$

Elle permet de caractériser la capacité plus ou moins rapide du matériau à réagir à un apport de chaleur. Plus elle est grande et plus la chaleur d'une ambiance sera « absorbée » par le mur, et l'influence de la température sur l'autre face sera minime. Une grande effusivité caractérise une grande inertie par absorption (on oppose ainsi souvent une maison en pierre et une maison en bois)

---

### 6.2.5.2 L'USAGE EN MEDITERRANEE

L'inertie des composants de la structure du bâtiment est utilisée afin d'obtenir une température à l'intérieur agréable et quasi constante, malgré les fluctuations de température extérieure.

Le climat méditerranéen a pour particularité un été chaud et donc des températures élevées.

Les amplitudes de températures entre jour et nuit peuvent être importantes.

Il est nécessaire, pour conserver un confort intérieur, de limiter ces influences extérieures sur l'ambiance intérieure.

C'est pour cela qu'une forte inertie des parois permet majoritairement de conserver un confort durant l'été en maintenant une température intérieure stable et peu élevée.

---

## 6.2.6 L'ENJEU DE LA VENTILATION

Le mode de vie méditerranéen implique des ouvertures entre l'intérieur et l'extérieur, surtout en période estivale.

La ventilation permet de renouveler l'air d'un bâtiment.

La ventilation agit directement sur la température en apportant un volume d'air à température extérieure, mais également en créant des effets de convection sur les parois qui affectent leur température.

Les courants d'air en période estivale permettent d'acquérir une température ressentie plus faible et donc plus confortable, d'où l'utilité d'une sur-ventilation, spécifiquement nocturne pour un rafraîchissement efficace.

Néanmoins cela ne suffit pas pour abaisser suffisamment la température l'été car le débit n'est souvent pas assez important et la température extérieure trop élevée. Il faut donc jouer sur la capacité inertielle des parois : la ventilation nocturne permet de rafraîchir l'ambiance intérieure les parois qui conservent cette fraîcheur la journée et lutte ainsi contre les surchauffes journalières.

Il existe plusieurs types de ventilation :

- La première est naturelle, traditionnellement utilisée dans les bâtis anciens. Elle utilise la différence de pression causée par l'impact du vent sur une paroi et dont la paroi opposée a des ouvertures. Elle utilise également le phénomène de tirage thermique qui utilise le gradient de températures créant une convection naturelle par différence de masse volumique.
- La seconde est mécanique. Elle utilise des systèmes artificiels pour créer le soufflage et/ou l'aspiration. Elle est utilisée principalement pour un souci hygiénique mais également de confort car elle permet d'associer les traitements de l'air en hiver avec une stratégie de ventilation pour le confort d'été. Depuis quelques années, l'apparition des ventilations double-flux (en distinction des ventilations simple flux classiques) permet de récupérer les calories ou les frigorifiques de l'air intérieur pour le réchauffer ou le rafraîchir et ainsi économiser de l'énergie.

Concernant la spécificité méditerranéenne qu'est le confort d'été, la ventilation adaptée suit certaines règles qui permettent de conserver le confort estival. Tout d'abord, la ventilation pour le confort d'été est efficace majoritairement la nuit ou l'air est rafraîchi et avec des parois inertes (voir le sujet de l'inertie). Elle peut ainsi être couplée à une surventilation qui permet d'augmenter le rafraîchissement. Le jour, la ventilation pour le confort d'été n'est efficace qu'en demi-saison avec une régulation sur les températures exigeante.

---

## 6.2.7 L'ISOLATION GENERALISEE

Même si le climat doux en Méditerranée permet de conserver des températures en moyenne positives l'hiver, il reste toujours de limiter les déperditions de chaleur.

Utiliser des épaisseurs d'isolants suffisantes et possédants des caractéristiques isolantes fortes.

L'isolation conséquente, de préférence une isolation extérieure, permet également de limiter les apports de chaleur extérieure en été.

De la même manière que l'isolant permet de contenir la chaleur intérieure de se transférer vers l'extérieur en hiver, il ralentit la pénétration de la chaleur estivale dans l'enceinte intérieure plus fraîche l'été.

En plus des propriétés permettant de réduire le flux de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur, l'isolant possède des propriétés inertielles qui régulent la diffusion du flux (voir page précédente).

## 6.2.8 LA GESTION DE L'HYGROMETRIE

La gestion de l'humidité est un paramètre important dans l'approche des bâtiments, même dans une région méditerranéenne où la fréquence des précipitations reste statistiquement très faible.

### 6.2.8.1 LA THEORIE

Les matériaux de construction réagissent différemment à l'humidité. Ils peuvent entre autres se dégrader et nuire aux performances énergétiques et structurelles des bâtiments. Les défauts d'étanchéité permettent l'apport d'une grande quantité de vapeur d'eau et représentent la cause principale d'infiltration d'humidité.

Concernant les isolants, s'ils sont confrontés à une trop grande humidité et trop fréquemment, cela peut :

- diminuer leur pouvoir isolant
- les déstructurer de façon irréversible s'ils sont peu denses (laines minérales et végétales par exemple) et soumis à une grande quantité d'eau (durant une inondation par exemple),
- engendrer des moisissures en cas de persistance de l'humidité.

Les sources d'humidité sont :

- les précipitations, qui restent peu fréquentes en Méditerranée mais déversent une grande quantité d'eau,
- l'eau en provenance du sol qui s'infiltré par les parois liées au sol,
- l'humidité accidentelle, due aux fuites de canalisation, de défauts des gouttières,
- l'humidité contenue dans les matériaux,
- l'humidité présente dans l'air qui peut se condenser sur ou dans les parois. Cela est dû à la différence de pression entre intérieur et extérieur, qui crée un flux de migration de la vapeur d'eau qui peut condenser si la température, et donc la pression atteint celle de la saturation,
- Les usages (cuisson, séchage du linge, ...)

Il existe plusieurs paramètres qui permettent de qualifier le comportement des matériaux à la migration de la vapeur d'eau.

- le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau  $\mu$ , fixé à 1 pour une progression de la vapeur d'eau dans l'air immobile.
- la résistance à la vapeur d'eau  $S_d = \mu \cdot e$  avec  $e$  l'épaisseur du matériau (en mètre). Elle représente l'épaisseur de lame d'air possédant la même résistance à la vapeur d'eau que le matériau.
- la perméance et la perméabilité à la vapeur d'eau, qui sont des qualificatifs à attribuer aux matériaux en fonction de leur comportement face à la migration de la vapeur d'eau.

### 6.2.8.2 LA PRATIQUE

La gestion de l'humidité dans les parois peut s'effectuer de plusieurs façons.

Traditionnellement, la méthode consistait à composer le bâti avec l'humidité :

- limiter les pénétrations d'eau : en utilisant des matériaux tels que les enduits extérieurs par exemple, ou bien la pose de soubassements moins capillaires

- permettre le stockage temporaire de l'humidité : parois composées de matériaux hygroscopiques, qui permettent le stockage et le déstockage de l'humidité dans l'air
- faciliter le transit : utilisation de matériaux capillaires et ouverts à la vapeur d'eau
- favoriser l'extraction : utilisation de parements intérieurs et extérieurs capillaires et très ouverts à la vapeur d'eau associé à une forte aération des espaces intérieurs.

Les techniques modernes mettent en avant le barrage à l'humidité. Les matériaux plus récents ainsi que les nouvelles techniques de pose plus performantes permettent de réduire les défauts d'étanchéité à l'air et donc de réduire les sources de condensation. En plus d'une étanchéité à l'air, il est nécessaire de gérer la migration de l'humidité à travers les parois et dû à la différence de pression intérieure/extérieure. Pour cela, les parois sont conçues pour que l'eau condensée puisse migrer par capillarité jusqu'au parement extérieure, ou revenir vers l'intérieur et s'évaporer.

Cependant, l'isolation intérieure très fréquente en France et donc en région méditerranéenne, est sujette à de forts problèmes de condensation. En effet, ce type d'isolation localise le point de rosée (nd: point de condensation) à l'intérieur de la paroi (dans l'isolant ou à la jonction isolant/paroi). Une des solutions a été d'appliquer un pare vapeur, membrane permettant de bloquer le passage de la vapeur d'eau. La pose n'étant pas parfaite, les fuites se concentrent alors au niveau des défauts et dégradent les matériaux.

La paroi perspirante est un concept de paroi permettant la gestion du transit de la vapeur d'eau. Il se compose en trois principes :

- Limiter la pénétration de la vapeur d'eau en installant une très bonne étanchéité à l'air côté intérieur. Le matériau utilisé doit opposer une certaine résistance à la migration de vapeur d'eau avec un  $S_d$  limité ce qui permet à l'éventuelle humidité présente de s'évaporer vers l'intérieur quand les conditions le permettent. Un frein vapeur respecte la condition suivante  $1m < S_d < 5m$ , un pare vapeur respecte  $S_d > 10$  à  $15 m$ .
- Choisir des matériaux pour la paroi suffisamment capillaires pour permettre à l'éventuelle eau condensée de se déplacer pour rejoindre les parements et se ré-évaporer.
- Disposer les matériaux en couches de perméabilité croissante de l'intérieur vers l'extérieur

## 7 UNE RENOVATION PERFORMANTE

Le bâti existant représente la majeure partie du parc qui ne se renouvelle que de quelques pourcents chaque année. La plupart de ces bâtiments ayant été construits avant l'avènement des réglementations thermiques, leur rénovation constitue de fait une priorité pour économiser l'énergie.

### 7.1 ETAT DU PARC RESIDENTIEL MEDITERRANEEN

#### 7.1.1 REPARTITION DU PARC SELON L'ANCIENNETE

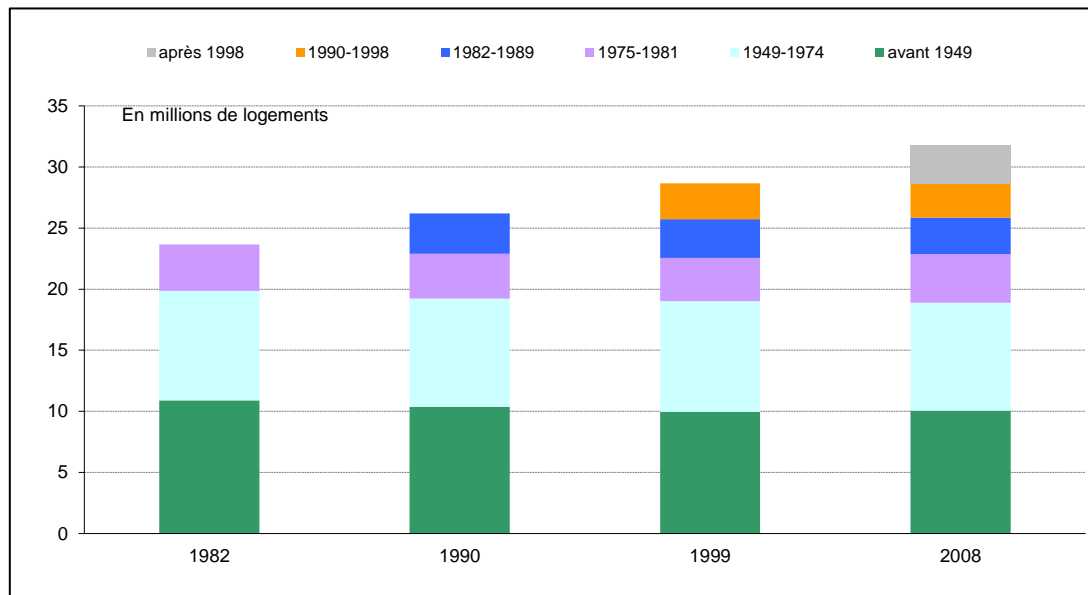


Figure 27 - Répartition du parc selon l'ancienneté (source INSEE)

Ce graphique montre la part importante des bâtis anciens au sein du parc global résidentiel méditerranéen, d'où l'importance de la rénovation en France et en Méditerranée.

#### 7.1.2 PART DES LOGEMENTS COLLECTIFS ET INDIVIDUELS

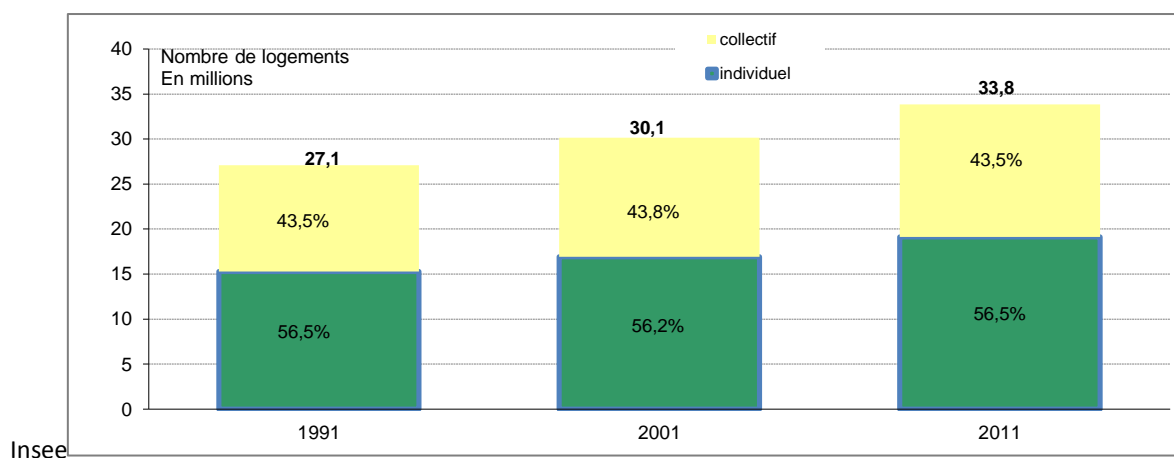


Figure 28 - Part des logements collectifs et individuels (source INSEE)



Afin de cibler le marché de la rénovation, ce graphique illustre les parts de logements collectifs et individuels. En 2011, les parts sont quasiment égales avec une légère prédominance concernant les logements individuels. Les méthodes de rénovation concernent donc quasiment autant les deux secteurs.

### 7.1.3 LOCALISATION

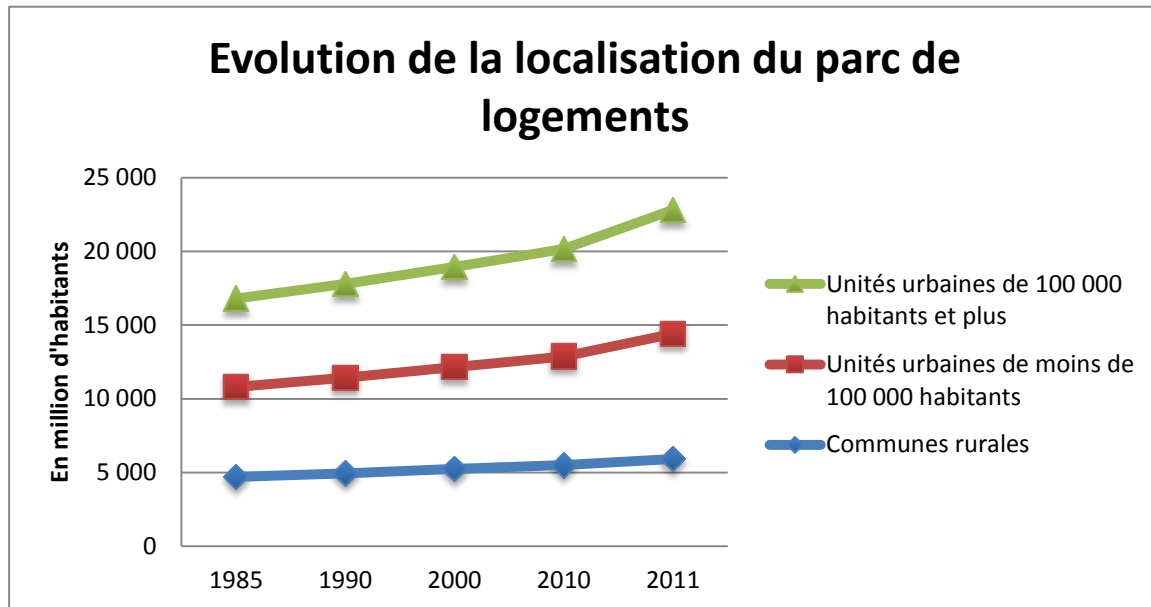


Figure 29 - Evolution de la localisation du parc de logements (source INSEE)

Concernant l'évolution du parc résidentiel, on observe une forte tendance de croissance pour les unités urbaines de 100 000 habitants et plus. C'est une information importante car elle permet de cibler les caractéristiques d'approvisionnement d'énergies, de climat (ou micro climat), de type d'architecture et de mode de vie. Autant de paramètres indispensables afin de réaliser des rénovations performantes.

### 7.1.4 PRINCIPAUX PRINCIPES DE RENOVATION BIOCLIMATIQUE

L'intervention sur un bâtiment existant nécessite l'analyse du fonctionnement de ce dernier afin de conserver son équilibre et sa durabilité.

#### 7.1.4.1 RENOVATION DES MURS

Dans le cadre de la rénovation, les murs existants ont pour la plupart d'entre eux été construits sans isolation thermique spécifique permettant de répondre aux besoins de confort et aux économies d'énergies à atteindre.

La rénovation des murs se traite le plus efficacement par l'isolation extérieure. Or ce procédé se heurte à plusieurs problèmes :

- la qualité esthétique ou la morphologie de certains murs de bâtiments empêchent la pose de l'isolation extérieure
- l'habitude française de poser de l'isolation par l'intérieure, qui se heurte aux risques de condensation accrue par l'obligation de la pose d'isolants d'épaisseurs toujours plus importantes pour satisfaire aux nouvelles exigences thermiques basse consommation.

Une attention toute particulière doit être menée concernant le fonctionnement des parois au niveau des transferts thermiques dynamiques et hydriques dans l'épaisseur des parois.

Les murs anciens ont des capacités plus importantes de transfert d'humidité que les parois plus récentes dont les matériaux sont conçus pour faire barrière à l'humidité. Les travaux de rénovation de doivent pas canaliser vers eux plus d'humidité par l'ajout d'isolant intérieur ou d'enduits de finition qui leur enlèvent leur capacité de drainage de l'eau. Des travaux en amont sur les sources d'humidité sont préférables comparé aux traitements ponctuels sur les parois.

RENOVATION	Avantages	Limites
Isolation par l'intérieur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilite l'isolation d'un bâtiment par étape pièce par pièce</li> <li>Permet une amélioration thermique des murs sans modification des façades et sans besoin d'échafaudages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perte de l'inertie apportée par les murs périphériques (inconfort en été, moins bon rendements thermiques en hiver)</li> <li>Besoin impératif de traiter les ponts thermiques</li> <li>Risques de condensation au niveau des ponts thermiques</li> <li>Risque de condensation dans l'isolant</li> </ul>
Isolation par l'extérieur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas de pertes de surfaces habitables</li> <li>Pas de réfection des équipements intérieurs</li> <li>Pas de déménagement des habitants</li> <li>Une seule opération quand le ravalement des façades est envisagé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esthétique des parois</li> <li>Aspects réglementaire (alignement sur rue, règlements de copropriété)</li> <li>Techniques (débords de toit insuffisants)</li> </ul>

Figure 30 - Comparatifs techniques isolation intérieur/extérieur

A défaut de ne pouvoir mettre en place une isolation conséquente, il est conseillé d'effectuer une correction thermique des murs maçonnés :

- pose d'isolant de faible épaisseur côté intérieur et/ou extérieur
- projection d'un enduit isolant côté intérieur et/ou extérieur
- pose côté intérieur d'un parement à faible effusivité

Le cas particuliers du mur exposé sud est un élément indispensable afin de traiter notamment du confort en été. Plusieurs solutions existent en rénovation afin d'optimiser les performances du bâtiment :

- créer une surélévation ou une extension très vitrée, quitte à reléguer en espace tampon une partie des volumes de la bâtisse originelle
- réaliser une serre solaire, ce qui permet de créer une ouverture vers l'extérieur, en cohérence avec le mode de vie méditerranéen (attention aux surchauffes, prévoir les protections solaires adéquat)
- améliorer le captage des surfaces aveugles du mur sud par la pose d'un double vitrage ou d'un isolant transparent (attention aux surchauffes, prévoir les protections solaires adéquat)
- protéger les parois du vent (murs, haies,...)

## 7.1.5 RENOVATION DES PLANCHERS

La configuration des sols se fait selon plusieurs critères :

- niveau d'inertie recherché (important en climat méditerranéen)
- fonction thermique du sol (passive, active, plancher chauffant,...)
- type de revêtement intérieur (traditionnellement pierre avec une forte effusivité en méditerranée pour optimiser les sensations de rafraîchissement et donc de confort l'été)

En rénovation s'ajoute les aspects :

- de la typologie du sol en place
- de l'état de sa qualité
- de l'importance et de la nature des travaux envisagés
- de la migration de l'humidité du bâti afin de conserver le même comportement que les autres parois afin de ne pas déséquilibrer les transferts d'eau et créer de la condensation
- du traitement des ponts thermiques de liaison avec la façade
- mettre en place des ruptures thermiques entre les zones d'étages à utilisation discontinues de celles continues afin de réduire les zones à chauffer à la saison froide (concept du bioclimatisme)

---

### 7.1.6 LES TOITURES

Les toitures étant les surfaces les plus exposées aux variations thermiques, elles représentent un point sensible à traiter.

Deux solutions les plus courantes sont à exploiter en réhabilitation : l'isolation du toit ou la surélévation, qui dépendent des contraintes architecturales, financières et réglementaires du bâtiment.

En climat méditerranéen, la bonne isolation des toitures est un critère indispensable pour un bon confort d'été.

---

### 7.1.7 LES BAIES

Plusieurs configurations existent afin de ne changer qu'un élément de la baie. Ces modifications ont pour objectif d'optimiser les apports solaires ainsi que l'isolation

En climat méditerranéen, il est nécessaire de traiter le confort d'été et donc d'utiliser des protections solaires afin de limiter le flux solaire entrant. Pour cela, le choix de vitrages (multiples), dont certaines faces sont traitées afin de renvoyer une partie de l'énergie solaire, sont préconisés, associés à des protections solaires pour les baies exposées plus ou moins au Sud.

## 8 SYNTHÈSE SUR LES SPECIFICITES MEDITERRANEENNES DU BATIMENT

D'après les constats effectués préalablement, les spécificités méditerranéennes du bâtiment s'organisent autour de l'architecture (et de ses interactions avec le climat local), du comportement, et de l'exploitation des sources d'énergies prédominantes, tout cela dans l'optique d'une diminution des consommations énergétiques et du respect de l'environnement (bioclimatisme).

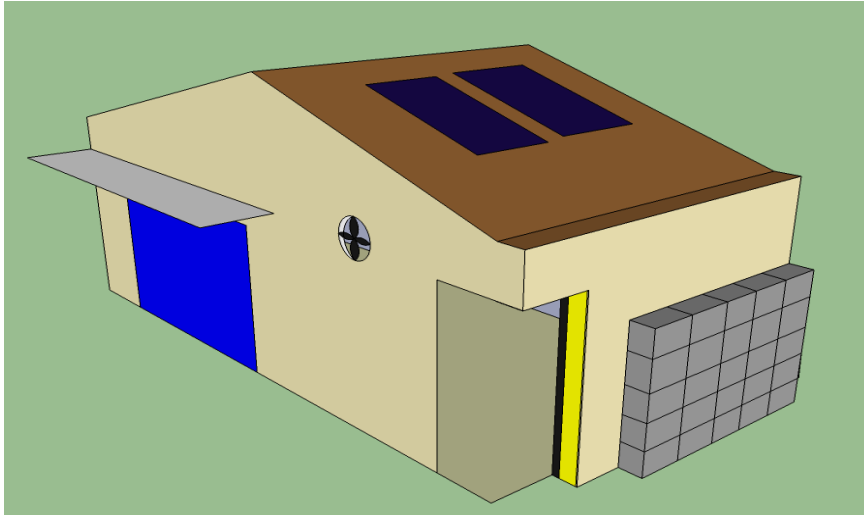


Figure 31 - Synthèse des spécificités du bâtiment en Méditerranée (modélisation sous Google Sketchup)

1. Le climat spécifique en Méditerranée est caractérisé par de fortes températures l'été associées à un fort ensoleillement. Il est nuancé localement par les micro climats, ayant pour origine la disparité des reliefs.
2. Le fort ensoleillement permet d'exploiter efficacement les apports solaires à travers des systèmes solaires thermiques et photovoltaïques.
3. Les matériaux locaux de construction sont principalement les pierres (de taille, sèches,...), le bois et des enduits naturels à la chaux et terre. La forte inertie de la pierre permet de réguler la température intérieure en fonction des aléas extérieurs et permet d'éviter les surchauffes des bâtiments l'été.
4. L'utilisation de matériaux intérieurs à forte effusivité permet de conserver une sensation de fraîcheur et donc un confort supplémentaire en période estivale.
5. Les isolants traditionnels d'origine animale, végétale et minérale tels que laine de chanvre, paille de lavande, panneaux de bois et possèdent des caractéristiques isolantes très performantes.
6. L'ouverture sur l'extérieur est un trait du comportement typique en méditerranée et implique de grandes ouvertures sur l'extérieur, la présence de terrasse et de piscine pour un souci de rafraîchissement.
7. Les protections solaires permettent de lutter contre les surchauffes l'été en bloquant le flux solaire.
8. Une ventilation efficace traversante naturelle ou mécanique joue pleinement le rôle de régulateur thermique en plus de compétence hygiénique. L'été, la ventilation nocturne permet d'évacuer la chaleur accumulée la journée, et permet aux murs à forte inertie de capter cette fraîcheur pour la conserver le jour suivant et rafraîchir l'ambiance pendant les heures chaudes.
9. L'utilisation de méthodes modernes, en neuf ou rénovation, aussi bien dans le logement collectif qu'individuel, permet d'allier les performances d'une enveloppe isolée, étanche, respectueuse des migrations de l'humidité tout en utilisant les matériaux traditionnels et disponibles en région.
10. L'exploitation de l'énergie solaire, du bois, de la thallassothermie et de l'électricité produite par l'énergie hydraulique, tous possédant un fort potentiel dans la région, permet de limiter les consommations d'énergies fossiles d'autant plus que l'enveloppe du bâtiment sera thermiquement traitée. Cette adéquation entre l'architecture, l'environnement et le mode de vie est la base d'une conception bioclimatique méditerranéenne performante.

## 9 REFERENCES

Les ouvrages suivants ont permis la synthèse des informations sur les bâtiments en méditerranée de manière exhaustive, et sont à recommander pour l'approfondissement des connaissances.

### Ressources ENVIROBAT utilisées :

- Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments
- Dossier « Paysages de la pierre sèche » de l'Observatoire du Paysage de Catalogne
- Conséquences constructives du climat méditerranéen
- Le jardin d'hiver - serre bioclimatique
- L'inertie thermique en climat méditerranéen
- Les protections solaires
- Construire en climat chaud - caractéristiques du climat méditerranéen
- Le Climat méditerranéen et ses conséquences constructives
- L'Inertie thermique en climat méditerranéen. Confort et consommations d'énergie
- Les fondamentaux du bioclimatisme
- EnviroDEBAT « Etanchéité à l'air. Du concept à l'application en climat méditerranéen »
- Isolants bio-sourcés et confort d'été - synthèse du groupe de travail Envirobat
- Isolant - Paille de lavande, riz, canne
  
- Vitrage - Vitrage à store intégré
- Toiture - Ardoises et lauzes naturelles
- Revêtement - Pigments naturels
- Revêtement - Enduit à la chaux
- Isolant - Le liège
- Isolant - Laine de mouton
- Structure - La pierre de taille
- Structure - La pierre sèche
- Isolant - Laine de lin
- Isolant - Laine de chanvre
- La ventilation naturelle
- Puits climatique
- La ventilation naturelle des bâtiments
- Ventilation pour le confort d'été
- Le solaire thermique en PACA
- Le bois énergie en PACA
- La boucle à eau de mer
- Choix de cuves ou citernes de récupération d'eau de pluie
- Récupération des eaux pluviales
- Survivre à la canicule sans climatisation !
- Fiches « Confort d'été en Provence Alpes Côte d'Azur »

- Guide « Agir pour le confort d'été, équipements d'accueil du jeune enfant »
- Confort d'été
- Confort thermique, généralités
- Cahiers HYGROBA : réhabilitation hygrothermique des parois anciennes
- Amélioration thermique du bâti ancien
- Comportement et compatibilité des matériaux pour le bâti ancien
- Les 3 fenêtres Marseillais

#### **Autres sources :**

- L'Architecture Traditionnelle Méditerranéenne (extrait), CASANOVAS Xavier, GRAZ Christophe, NOURISSIER Gilles, REGUANT Joan (programme EUromed Héritage)
- L'isolation thermique écologique, *Jean-Pierre Oliva Samuel Courgey, Techniques de pro, édition terre vivante*
- Guide régional des matériaux Eco-performants, *La chambre de Métiers et de l'Artisanat des Alpes-Maritimes*
- ATLAS des énergies en Provence Alpes Côte-d'Azur
- SRCAE Schéma Régional Climat Air Energie PACA, volets 1, 2 et 3
- Fiches techniques ANAH
- Sites Internet suivants :
  - ADEME
  - ORECA PACA
  - Energ'Air
  - ORE



Les actions d'Envirobat Méditerranée sont cofinancés par l'Union Européenne. L'Europe s'engage en Provence-Alpes-Côtes d'Azur avec le Fonds européen de développement régional.