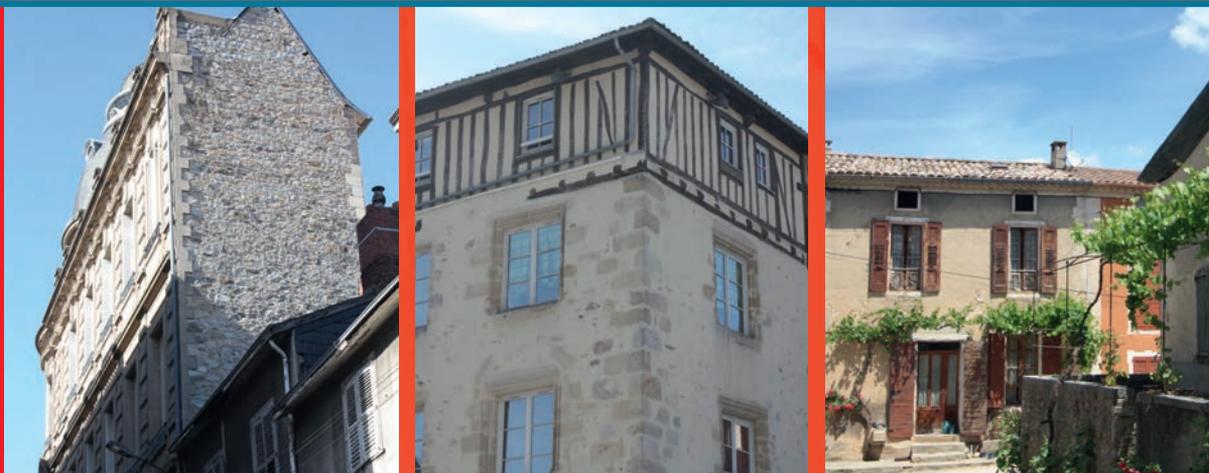


Jean-Pierre Moya

# Isolation thermique durable des bâtiments existants

Choix multicritères • Manuel pratique



EDITIONS  
**LE MONITEUR**



Vos outils  
en  
**VERSION  
NUMÉRIQUE**  
inclus

---

---

# Mode d'emploi du tableau synoptique

---

Cet ouvrage est accompagné d'un tableau synoptique sous la forme de fichier Excel, que vous pouvez obtenir en envoyant un mail à [ressourcesnumeriques@groupemoniteur.fr](mailto:ressourcesnumeriques@groupemoniteur.fr) en joignant votre preuve d'achat (copie du ticket de caisse de librairie ou de la facture si vous avez acheté votre livre en ligne).

Ce fichier Excel est composé des 5 onglets suivants :



1. [**Bases de données**] liste les familles d'isolants disponibles sur le marché et leurs caractéristiques. Il sert également à alimenter les autres onglets.
2. [**Critères de choix**] permet d'ordonner les caractéristiques des familles d'isolants et mettre en place des critères de choix.
3. [**Représentation graphique**] représente les deux caractéristiques (conductivité thermique et masse volumique) des familles d'isolants sélectionnés dans l'onglet [Critères de choix].
4. [**Nouveau coefficient R**] permet de déterminer la résistance thermique  $R$  d'une paroi en fonction du coefficient de transmission surfacique  $U$  initial et du coefficient  $U$  du projet.
5. [**Épaisseur**] permet de déterminer, selon la place disponible (épaisseur) et la résistance thermique  $R$  souhaitée, la conductivité thermique  $\lambda$  de l'isolant.

## Onglet [**Base de données**]

Cet onglet est une base de données comportant les caractéristiques détaillées de 30 familles d'isolants. Ces caractéristiques sont regroupées en 9 critères :

- masse volumique ;
- critères thermiques ;
- critères hydriques ;
- autres critères affectant la vulnérabilité ;
- acoustique et qualité ;
- impact environnemental ;
- coût d'investissement ;
- conditionnement et utilisations ;
- référencement « produits génériques ».



---

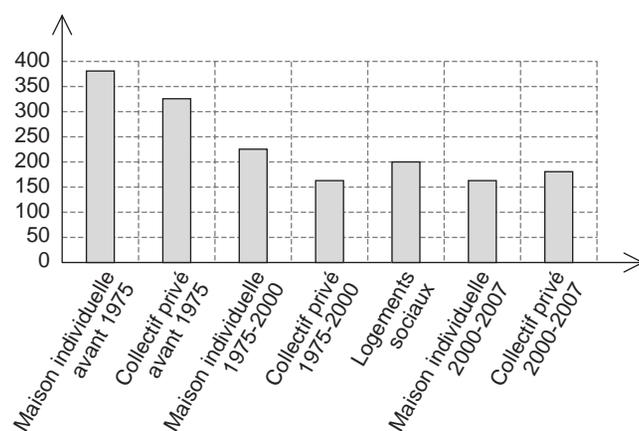
---

# Sommaire

---

	Mode d'emploi du tableau synoptique .....	7
	Préface .....	21
	Avant-propos .....	23
	Sigles et acronymes .....	25
	Introduction.....	27
CHAPITRE 1	COMPORTEMENT DES BÂTIMENTS : MATÉRIAUX CONSTITUTIFS ET ENVIRONNEMENT .....	33
CHAPITRE 2	IDENTIFICATION DES DIFFÉRENTES TYPOLOGIES CONSTRUCTIVES DU BÂTI EXISTANT .....	39
CHAPITRE 3	MÉTHODE DE DIAGNOSTIC ADAPTÉE À L'OPTIMISATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS EXISTANTS .....	67
CHAPITRE 4	ÉTUDE DE CAS : APPLICATION DE LA MÉTHODE DE DIAGNOSTIC THERMIQUE.....	89
CHAPITRE 5	CHOIX MULTICRITÈRES DES ISOLANTS THERMIQUES EN FONCTION DE LA NATURE DES PAROIS.....	123
CHAPITRE 6	FICHES TECHNIQUES.....	171
	Annexes .....	237
	Références et bibliographie.....	281
	Index .....	285
	Table des matières.....	291

Aujourd'hui, la nécessité d'isoler d'un point de vue thermique les parois constituant l'enveloppe des bâtiments existants ne fait plus aucun doute. L'objectif est la réduction des déperditions de chaleur et, le cas échéant, l'amélioration du confort, ainsi que la diminution de la facture énergétique et, par conséquent, la protection de l'environnement (fig. 0.1).



**Fig. 0.1. Consommation moyenne en énergie primaire (kWh/m<sup>2</sup>.an)** (source : Modélisation des performances énergétiques du parc de logements, Anah, 2008)

Le changement climatique nous oblige à repenser, dans l'urgence, nos modes d'utilisation des ressources naturelles et en particulier l'énergie. Pour nos bâtiments, principaux consommateurs d'énergie et émetteurs de gaz à effet de serre, des solutions techniques plus performantes existent en matière de réduction de l'empreinte écologique. Parmi ces solutions, la principale consiste à agir sur les besoins de chauffage en isolant l'enveloppe du bâti.

- Mais comment isoler et avec quel produit ?
- Quelles sont les grandeurs représentatives de la performance thermique d'une paroi ?
- Doit-on et peut-on isoler toutes les parois constituant l'enveloppe du bâtiment ?

Voici trois questions centrales auxquelles ce guide apporte notamment des réponses. Il va de soi que la réponse à ces

interrogations passe, en premier lieu, par un diagnostic global et que la décision d'isoler chaque paroi et la manière de le faire doit s'appuyer sur une méthodologie rigoureuse.

À ce jour, la réglementation<sup>(1)</sup> applicable précise que, pour les bâtiments dont la construction a été achevée avant le 1<sup>er</sup> janvier 1948, seules sont concernées par des travaux d'isolation thermique les parois suivantes :

- murs composés de briques industrielles, de blocs béton industriels ou assimilés, de béton banché, de bardages métalliques ;
- planchers bas composés de terre cuite ou de béton ;
- tous types de toiture.

Aucune obligation n'est imposée pour les murs anciens constitués de pierres, pans de bois, pisé, etc. ; ils doivent être isolés si cela est nécessaire (ou utile) et faisable.

L'article 14 de la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte définit ce que recouvrent les travaux de rénovation énergétique.

## **ARTICLE 14 DE LA LOI N° 2015-992 DU 17 AOÛT 2015**

Tous les travaux de rénovation énergétique réalisés permettent d'atteindre, en une ou plusieurs étapes, pour chaque bâtiment ou partie de bâtiment, un niveau de performance énergétique compatible avec les objectifs de la politique énergétique nationale définis à l'article L. 100-4 du Code de l'énergie, en tenant compte des spécificités énergétiques et architecturales du bâti existant et en se rapprochant le plus possible des exigences applicables aux bâtiments neufs.

## **Par quelle action commencer ?**

- Changer l'équipement de chauffage ? – pour économiser l'énergie. Pas nécessairement.
- Changer l'énergie ? – pour une énergie moins chère et/ou moins polluante. Si possible.

1. Arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants, JO du 17 mai 2007, dernière modification par arrêté du 22 mars 2017, JO du 25 mars 2017.

- Remplacer les fenêtres ? – pour un meilleur confort et une économie d'énergie. Pas nécessairement.
- Isoler le toit ? – pour économiser l'énergie et améliorer le confort. Toujours !

Une facture d'énergie n'est pas une fatalité mais le produit de deux facteurs : une consommation d'énergie (premier facteur) et un prix (deuxième facteur).

Confrontés à cette nécessité d'agir, certains cherchent d'abord comment payer moins cher l'énergie de chauffage injectée dans le bâtiment. À l'image d'un seau percé, ils recherchent comment maintenir le niveau d'eau au moindre coût par le choix d'une eau moins onéreuse. Il conviendrait tout d'abord de boucher les trous.

Pour ce faire, il convient d'adopter à la fois une véritable démarche interrogative sur ses propres besoins (en chauffage) et une vision globale du fonctionnement thermique du bâtiment et de son enveloppe, car plus nous isolons correctement plus la consommation diminue et donc la dépense de chauffage également. Cela paraît logique !

Ce manuel apporte de précieux conseils en matière d'amélioration du confort hygrothermique des logements, de réduction des charges financières, d'action en faveur de l'environnement, de lutte contre le changement climatique... ou encore sur le moyen de réaliser des économies.

L'enveloppe est constituée des murs, de la toiture, du sol et des fenêtres (sujet non abordé dans le cadre du présent ouvrage), etc. Agir sur l'enveloppe du bâtiment, c'est agir sur les différentes parois qui la composent. Pour les parois des bâtiments existants, plusieurs questions viennent donc à l'esprit au regard de la nécessité d'agir, de la nécessité d'isoler ; le bâtiment doit être analysé dans son ensemble mais une réflexion particulière doit être menée pour chaque paroi.

### **Tout d'abord en situation initiale**

- Quelle est la composition et l'état de la paroi ?
- Quelle est l'efficacité thermique de la paroi étudiée ?
- Quel rôle joue-t-elle dans le fonctionnement thermique du bâtiment ?
- Doit-elle être isolée ?
- Peut-elle être isolée ?

### **Puis en situation future, en cas de projet d'isolation thermique**

- Existe-t-il un indicateur d'une isolation suffisante ?
- L'isolation envisagée ne risque-t-elle pas de générer des dommages ?
- Le système proposé est-il le plus approprié ?

En effet, quelle que soit la décision retenue, celle-ci doit s'appuyer sur de nombreux critères, comme :

- le caractère patrimonial du bâtiment (à valoriser ou à conserver...);
- la situation environnementale (exposition, ensoleillement...);
- la performance énergétique et thermique (mesurée ou calculée...);
- les conditions de confort (été, hiver, lumière, bruit...);
- le mode d'occupation.

La réflexion à mener doit également faire référence à des repères d'ordre financier, normatif mais également philosophique et éthique au sens de la norme NF ISO 16813 (avril 2007).

### **REMARQUE**

Au sens de la norme NF ISO 16813, le maître d'ouvrage et le concepteur peuvent avoir tous deux une éthique et une philosophie de l'environnement des bâtiments en général. Ils peuvent également se référer à des principes architecturaux et environnementaux. La philosophie et l'éthique servent de base pour déterminer l'objectif de chaque thème environnemental et planifier les stratégies de conception. Un bâtiment est évalué sous différents aspects. Le maître d'ouvrage et les concepteurs peuvent vouloir décider quel aspect est plus ou moins important en fonction de leur propre philosophie et de leur propre éthique. Cette problématique est possible à condition de ne pas aller à l'encontre des critères de conception de l'espace intérieur.

Mais avant de répondre à la question : « Faut-il isoler ? » Et, si oui : « Peut-on isoler ? » Puis, dans l'affirmative : « Comment isoler ? », il est essentiel d'avoir en amont une approche globale du bâtiment dans son environnement et du rôle de son enveloppe dans la contribution au confort intérieur.

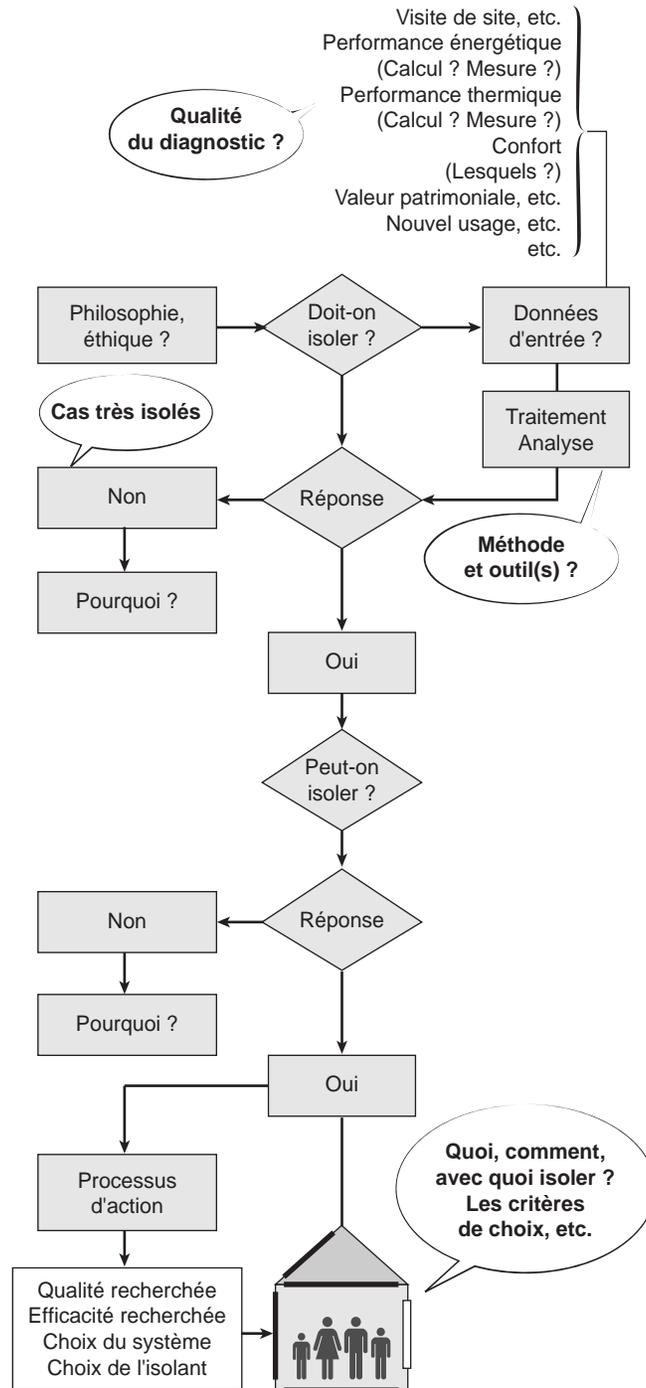
### **IMPORTANT**

Un diagnostic global est donc la condition d'un projet réussi. Au préalable, il convient de se poser les bonnes questions (fig. 0.2).

Avant toute chose, il faut étudier les paramètres de la réponse à la question « Peut-on isoler ? » et les motivations afférentes :

- caractère patrimonial (à valoriser) ;
- qualité environnementale (à valoriser également) ;
- performance énergétique (calculée ou mesurée) ;
- performance thermique (calculée ou mesurée, signature énergétique...);
- charges de chauffage élevées (sur quelles valeurs reposent-elles ?) ;
- conditions de confort médiocres (normatives ou subjectives) ;
- etc.

Pour formuler les réponses, les repères peuvent être tantôt économiques, tantôt normatifs, tantôt éthiques (selon la NF ISO 16813). Dès lors que la possibilité d'isoler est



**Fig. 0.2. Questions à se poser impérativement**

confirmée se met alors en place un processus d'action qu'il convient d'organiser selon la figure 0.3.

À ce processus d'action est associé un processus de décision (fig. 0.4) qui doit apporter une réponse quant aux moyens d'action, selon les données d'entrée et leur traitement/analyse.

Mettre en œuvre l'action consiste alors à choisir les parois à isoler et, compte tenu de leurs caractéristiques, à définir celles du matériau isolant et du procédé le plus adapté à la situation (fig. 0.5).

Le déroulé de l'action suit les étapes recensées dans la figure 0.6.

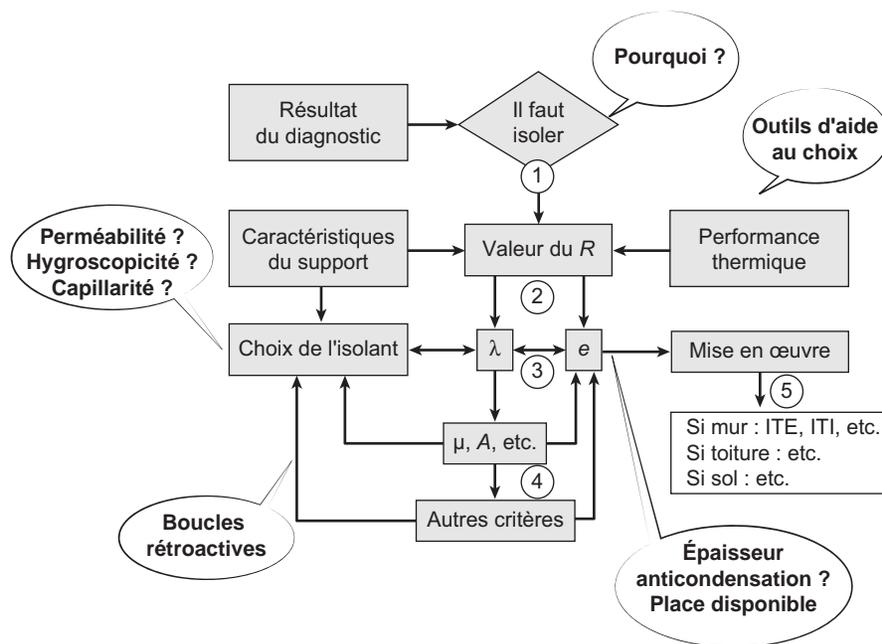


Fig. 0.3. Organigramme du processus d'action (définition des paramètres : voir annexe 1)

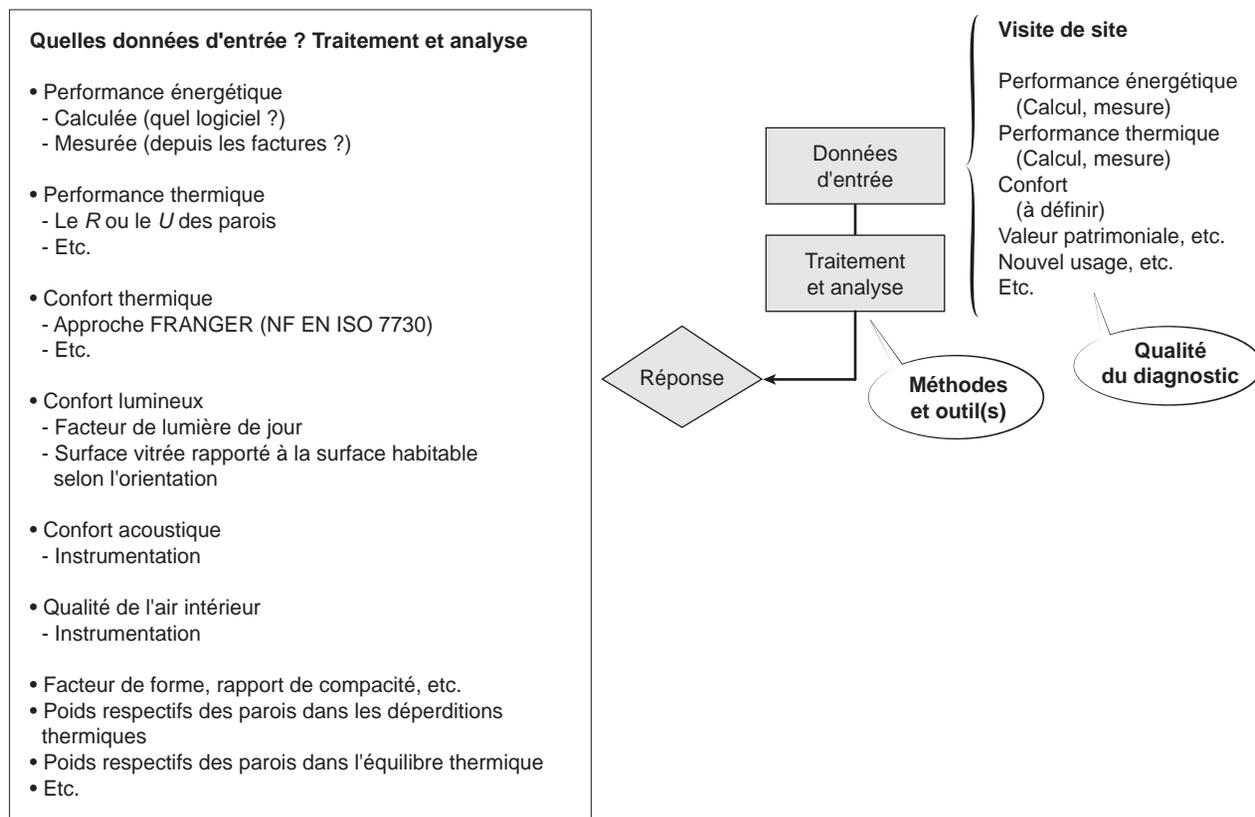
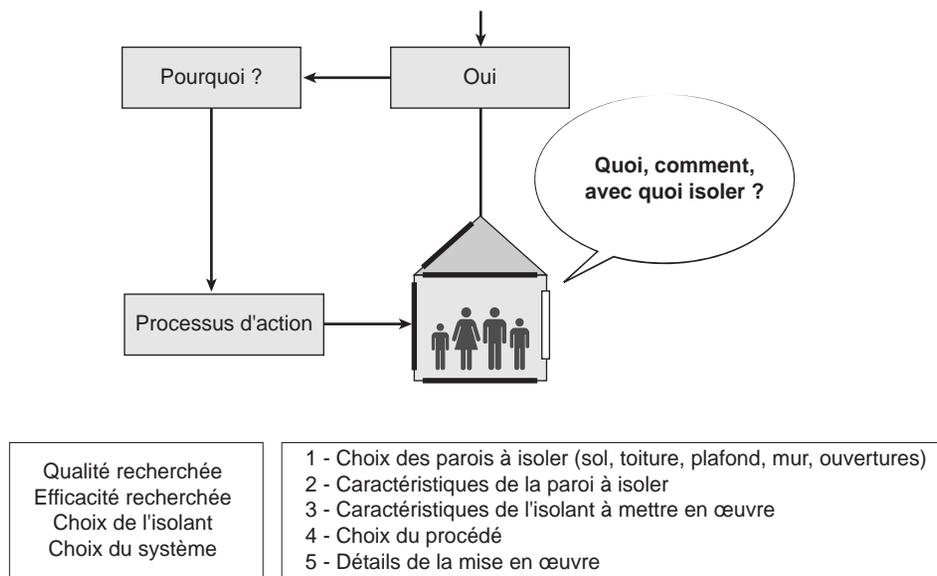
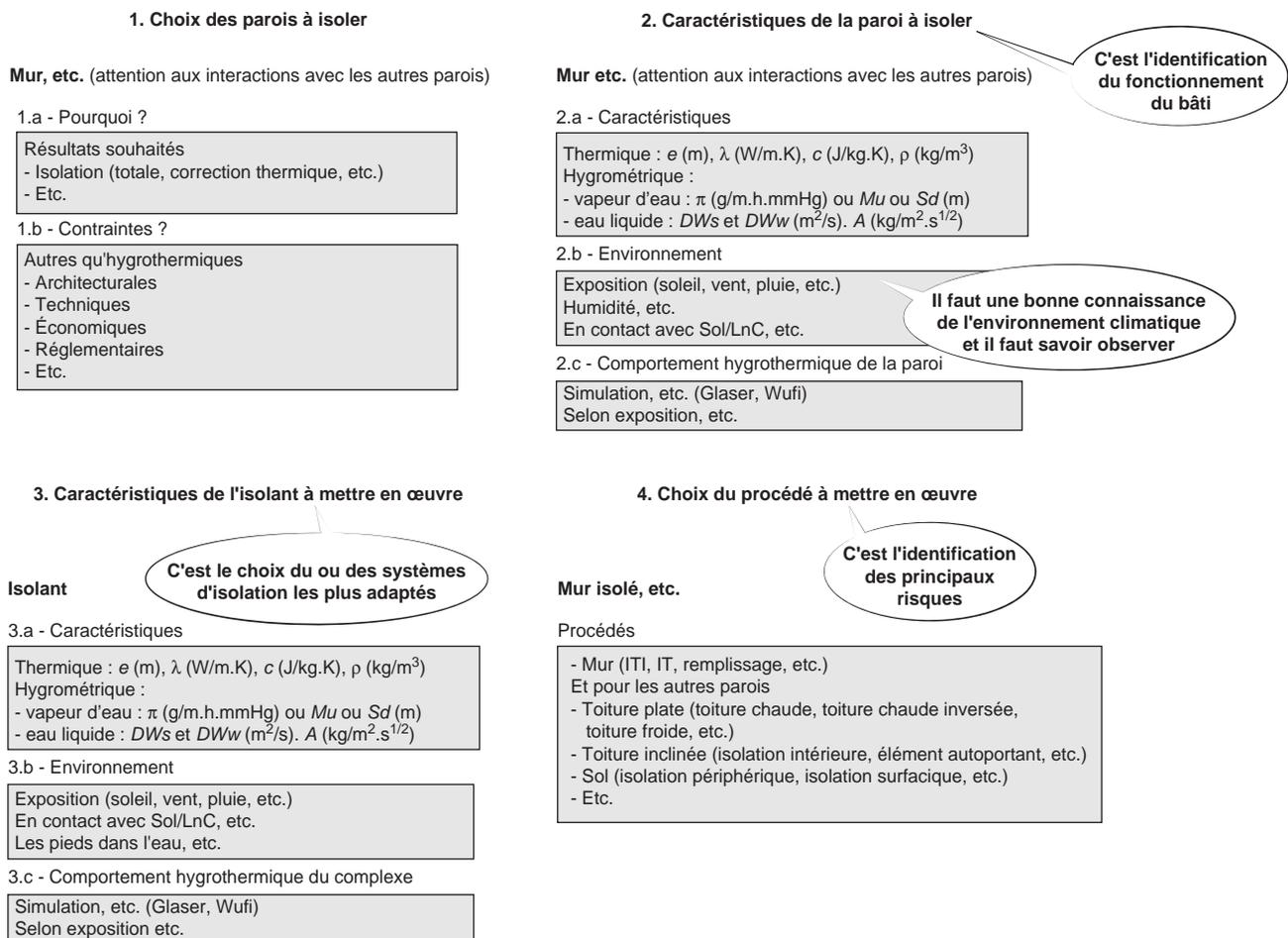


Fig. 0.4. Organigramme du processus de décision



**Fig. 0.5. Mise en œuvre de l'action d'isolation thermique**



**Fig. 0.6. Étapes de mise en œuvre de l'action d'isolation thermique**

## Par où commencer l'analyse ?

Confronté à la question de l'isolation thermique d'une paroi existante, le concepteur, pour y répondre, doit en premier lieu traiter et analyser les données nécessaires pour identifier le fonctionnement du bâti, évaluer les risques, éviter de générer de nouvelles pathologies et proposer le ou les système(s) d'isolation les plus adaptés au bâti analysé.

Les premiers questionnements relèvent à la fois de l'observation (phase de diagnostic) du bâtiment dans son environnement (climat, ensoleillement, type d'occupation...) et de l'apport de connaissances plus larges en relation avec le bâtiment et ses caractéristiques, en particulier pour ce qui est des matériaux constituant l'enveloppe. Dans ces deux phases d'« observation » et de « connaissance » du bâtiment, les questions portent principalement

sur les transformations projetées (redistribution et transformation des espaces, forme... vis-à-vis de l'usage et du confort) mais également sur le bâtiment lui-même (caractéristiques de l'enveloppe...) et sur son environnement proche (topographie, climatologie...).

### **REMARQUE**

La visite de site permet la collecte et le relevé de toutes ces informations qui constitueront les données d'entrée pour répondre à la question initiale, à savoir « Faut-il isoler la paroi ? » puis « Peut-on l'isoler ? » Et, si la réponse est positive, soit dans la très grande majorité des cas, « Comment l'isoler ? »

Dans le cadre du présent ouvrage, l'auteur a choisi de ne pas traiter des fenêtres afin de se focaliser sur les données essentielles des matériaux d'isolation thermique. L'ouvrage ne prétend pas communiquer une vision exhaustive de l'isolation thermique mais proposer un outil simple et efficace d'analyse multicritères.

En effet, dans les deux cas, l'enveloppe est toujours conçue pour contenir une enceinte à l'intérieur de laquelle les conditions de confort doivent être maintenues au moindre coût énergétique et environnemental.

Dans l'habitat ancien, la connaissance acquise construite sur l'empirisme des générations passées a contribué à mettre en valeur – sans le savoir ! – toutes les propriétés des matériaux utilisés et mis en œuvre dans la construction. Nous parlerons des caractéristiques intrinsèques des matériaux, en quelque sorte de leur « carte d'identité ».

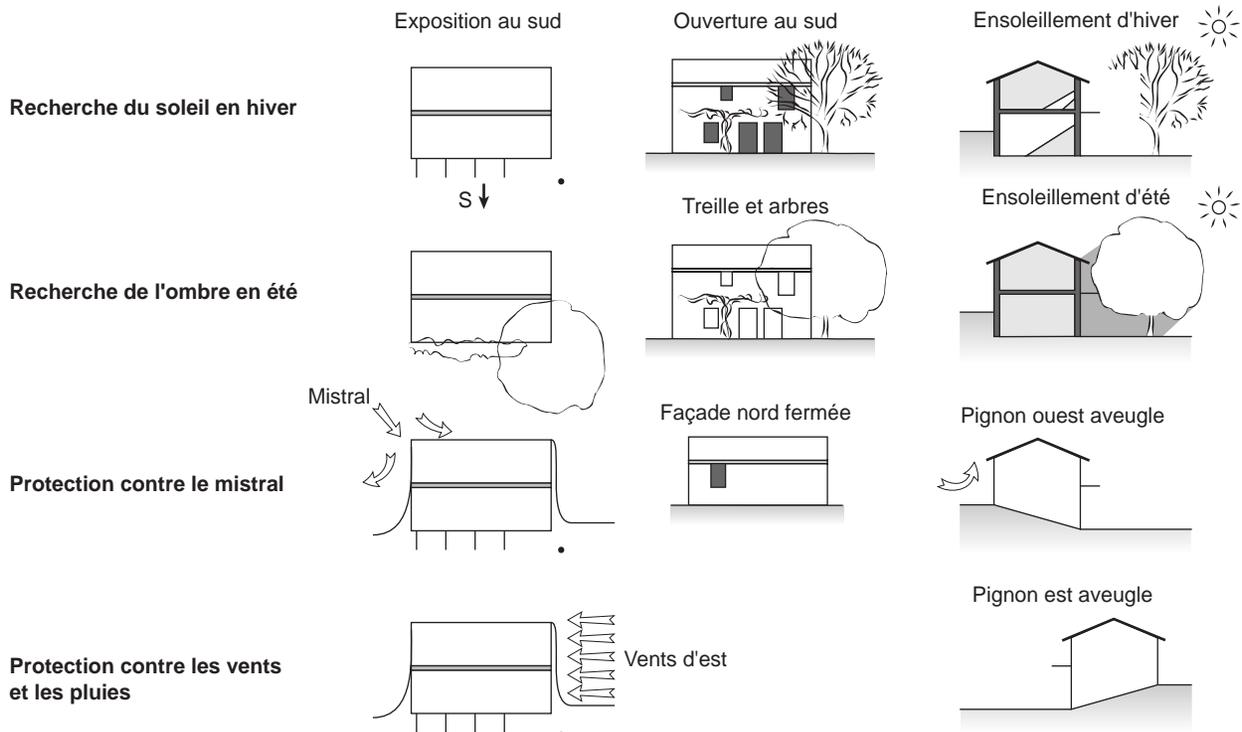
En outre, la forme et la taille du bâtiment (coefficient de compacité), son orientation (récupération des apports solaires), son implantation (protection contre les vents dominants), ses parements de façade (protection contre la pluie et les vents), la conception (agencement des espaces selon les besoins de chaleur, espaces-tampons), les revêtements intérieurs (effusivité des matériaux), les protections solaires (avancée de toit, végétation), etc., concourent également à optimiser les échanges d'énergie, à réduire les pertes de chaleur et à maintenir pour les occupants un confort suffisant en été, et le plus proche possible de « suffisant » en hiver (fig. 1.2).

Les Anciens n'avaient d'autres ressources que le bois de chauffage pour corriger leurs erreurs constructives, ce qui présentait pour eux certainement une corvée et

un travail qu'ils souhaitaient ne pas avoir à faire. Ils tenaient compte de l'environnement et des propriétés et caractéristiques intrinsèques des matériaux mis en œuvre parce que leur confort (au moindre coût énergétique) en dépendait : ils faisaient de l'architecture bioclimatique sans le savoir !

À partir du moment où nous avons disposé de ressources énergétiques abondantes, peu onéreuses et disponibles au pied de la maison, la prise en compte de l'environnement a disparu, ou du moins n'était plus un impératif. Construire sur le versant non ensoleillé d'une colline (ubac) ne repoussait plus grand monde ! L'enveloppe du bâtiment est alors conçue comme une enceinte à l'intérieur de laquelle un climat artificiel est créé. Il suffit tout simplement d'appuyer sur un bouton pour avoir de la chaleur, de la fraîcheur, etc. Et même de la lumière !

Aujourd'hui, la raréfaction des ressources énergétiques de stock (pétrole, uranium...), l'augmentation attendue du prix de ces énergies et le goût pris du « confort moderne » amènent à reconsidérer l'enveloppe et son rôle dans le maintien d'une ambiance intérieure confortable. L'isolation thermique « poussée » est de mise afin de réduire fortement les déperditions des bâtiments ; une certaine inertie doit être assurée en complément afin de garantir le confort.



**Fig. 1.2. Résumé schématique de l'application à l'habitat des stratégies bioclimatiques pour la Provence**  
(source : Jean-Luc Massot, *Maisons rurales et vie paysanne en Provence*, Actes Sud, Arles, 2004, p. 23)

Cependant, dans le cadre de la réhabilitation de bâtiments existants, cette vision du comportement de l'enveloppe oblige à considérer deux situations (fig. 1.3 et fig. 1.4) :

– les bâtiments anciens sont conçus comme des « systèmes respirants », dont l'enveloppe fait écran à la pénétration de l'eau dans le bâtiment mais laisse passer l'air (fig. 1.3a). La ventilation, réelle du fait de l'inétanchéité des fenêtres et de la présence de conduits (cheminées, conduits verticaux de ventilation...), varie en fonction des conditions climatiques. L'enveloppe de ces bâtiments est constituée de matériaux qui semblent « vivants ». Ils sont en général ouverts à la vapeur d'eau et capillaires. En comparaison avec le fonctionnement de la peau humaine, nous entendons alors parler de parois ou de matériaux « perspirants »... Il s'agit principalement des bâtiments d'avant 1948, soit en quelque sorte le bâti ancien ;

– les bâtiments « récents » sont conçus comme des « boîtes ventilées » dont l'enveloppe est imperméable à l'eau et à l'air (fig. 1.3b). La ventilation est, particulièrement depuis 1982, régulée et indépendante des conditions climatiques. Les matériaux sont plutôt moins ouverts à la migration de vapeur d'eau et moins capillaires. Cela concerne principalement les bâtiments construits à partir des années 2000.

Nous percevons, parmi les bâtiments qui n'ont pas d'isolation thermique ou si peu, deux architectures différentes par leur conception et par le choix des matériaux mis en œuvre :

– dans l'une, l'architecture (l'orientation, la forme, l'agencement des pièces intérieures, les matériaux, l'inertie thermique...) et la prise en compte de l'environnement (soleil, vent...) participent au maintien du confort au moindre coût énergétique ;

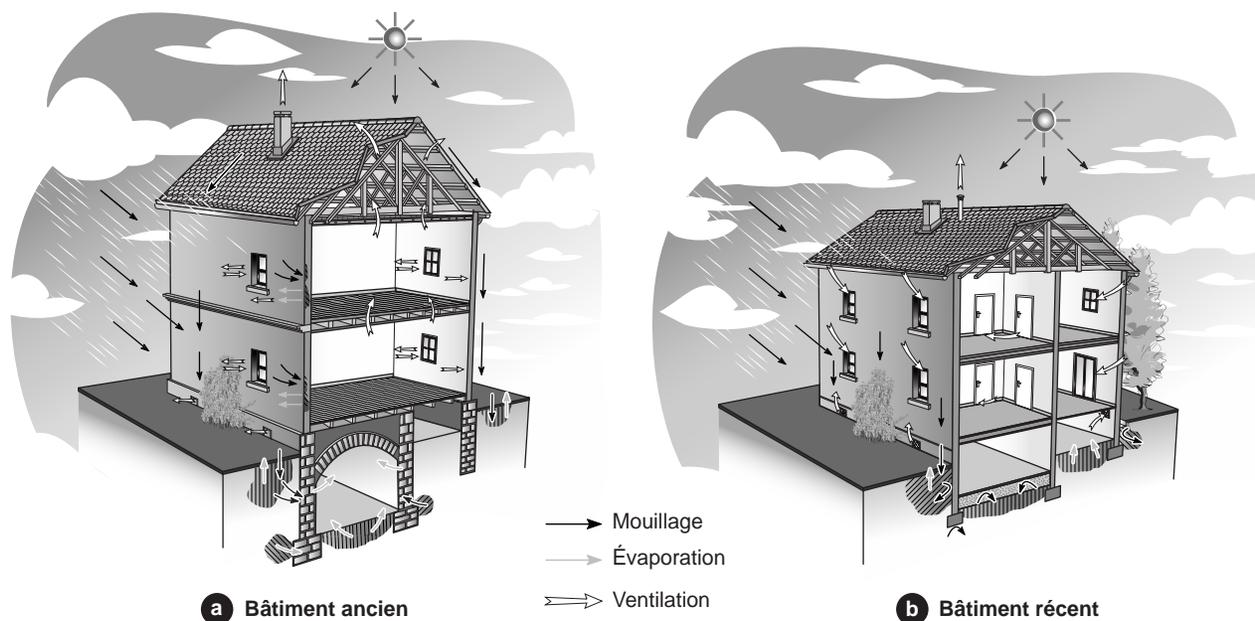
– dans l'autre, l'enveloppe ne joue qu'un rôle mécanique, les équipements de chauffage et de climatisation tentant d'assurer le confort.

Nous comprenons dès lors l'intérêt qu'il y a à connaître les caractéristiques intrinsèques des matériaux en général et tout particulièrement ceux qui ont présidé aux constructions anciennes afin :

- de mieux connaître leur comportement ;
- de comprendre le rôle qu'ils font jouer à l'enveloppe dans sa contribution au maintien du confort et aux échanges énergétiques et hygrométriques ;
- de saisir l'interaction, le « bon mariage » des matériaux et des systèmes constructifs.

Au final, cette connaissance constitue une aide précieuse pour l'élaboration de la réponse à la question initiale : « Faut-il isoler ? » Et à celles qui suivent si la réponse est positive : « Peut-on isoler ? » Si oui : « Comment le faire ? Sur quels critères faire des choix ? Quelle hiérarchie appliquer à ces mêmes choix ? » Etc.

La connaissance complète des propriétés et des caractéristiques intrinsèques des matériaux de construction entrant



**Fig. 1.3. Conception des bâtiments** (source : *Prévention et lutte contre les mères dans l'habitat*, Anah, 2006)

- a. Les bâtiments anciens sont conçus comme des systèmes « ouverts » : « respirants » (ventilation naturelle), « perspirants » (ouverts à la vapeur d'eau) et capillaires.
- b. Les bâtiments récents sont plus conçus comme des volumes « fermés » ventilés : étanches à l'air, à la vapeur d'eau, constitués de matériaux non capillaires et munis d'une ventilation mécanique centralisée

#### 4.1.3.2 Conclusion (partielle)

On observe entre le rez-de-chaussée et l'étage un comportement différent, trait commun à nombre de maisons paysannes traditionnelles :

- Pouvons-nous bien cibler les besoins par saisons ?
- Pouvons-nous imaginer, pour chacun de ces deux espaces, dont les comportements thermiques sont différents au cours des saisons, un agencement différent et au moindre coût énergétique ?

#### 4.1.4 Exposition du site et du bâtiment au vent

Nous devons maintenant déterminer si le site est venté et si le bâtiment est exposé. Pour ce faire, il convient de déterminer les vitesses moyennes du vent (éventuellement, le nombre annuel de jours avec vent violent) et les directions dominantes selon les saisons<sup>(1)</sup>.

##### 4.1.4.1 Confort selon les saisons

En hiver, nous avons tout intérêt à nous protéger du vent qui augmente les déperditions thermiques du bâtiment

ainsi que la sensation thermique de froid. En revanche, en été, compte tenu de la température extérieure, nous avons intérêt à capter les brises qui procurent du confort dans les périodes de forte chaleur. Il faut d'abord déterminer si des protections particulières contre le vent ont été mises en œuvre. Sur le site Wunderground.com, la figure 4.13 peut être générée (diagramme du vent).

On découvre ainsi qu'il y a du vent presque en permanence et que sa vitesse moyenne est inférieure à 4 m/s (14,4 km/h). En revanche, on note peu de jours caractérisés par des vents violents. Si, en hiver, le vent vient principalement du nord et de l'ouest, en été, on note principalement un vent du nord, ce qui est important car le bâtiment est entouré d'une plaine.

Nous avons également observé sur le terrain (voir la photo aérienne 4.12 dans le cahier couleur) la présence d'un bosquet d'arbres situé du côté ouest du bâtiment et, bien en avant de la façade nord, une haie importante d'arbres feuillus, peut-être trop loin pour protéger efficacement la façade nord. Le bosquet d'arbres constitue néanmoins une protection naturelle contre le vent et permet de préserver

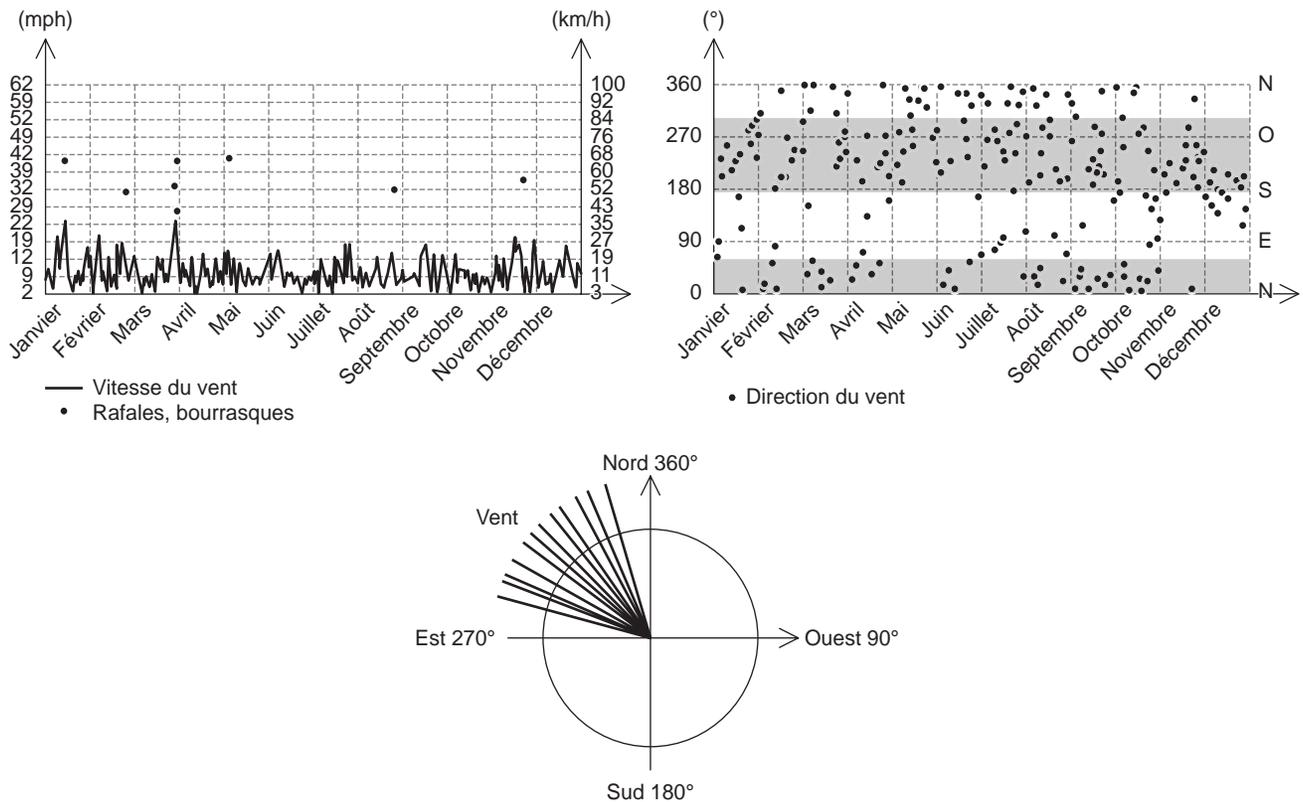


Fig. 4.13. Diagramme du vent (vitesse et direction)

1. Le diagramme du vent peut être obtenu directement sur le site Wunderground.com/.

un espace à l'abri devant la façade sud du bâtiment, du côté de la partie habitée.

La figure 4.14 montre :

- sur les points 1 et 2, une haie brise-vent imperméable au nord, du fait de la mixité entre grands arbres qui dévie les vents et arbustes et qui protège le passage du vent au niveau du sol ;
- sur le point 3, des arbres près de la maison qui protègent une partie du versant nord de la toiture ;
- sur le point 4, une zone protégée des vents par la maison ;
- sur le point 5, un parc nettement protégé près des arbres et peu protégé près de la maison.

Comme il s'agit d'arbres à feuilles caduques, cette protection reste très faible en hiver. On peut alors imaginer une protection efficace contre les vents d'hiver en plantant des arbres à feuilles persistantes du côté nord, en hauteur et à distance du bâtiment raisonnées pour ne pas générer des zones d'inconfort, sans oublier des arbustes pour concevoir une véritable protection. Seulement, cette idée de plantation d'arbres à feuilles persistantes présente un inconvénient majeur ; il conduit à détruire la vue et à diviser le parc. Cette idée est néanmoins à travailler, avec l'aide d'un spécialiste du bioclimatique et avec un paysagiste pour bien choisir les essences locales... Il serait intéressant de conjuguer ces savoirs au service de la protection des espèces locales, non seulement végétales mais aussi animales. Ces haies constituent des espaces de survie (et donc de protection de la biodiversité), un habitat et un corridor pour les oiseaux et la vie sauvage en général. En effet, une haie protège de l'érosion, du vent, réduit les bruits, synthétise certains polluants, donne de l'intimité au-delà de la simple quête du confort dans les espaces extérieurs et de la réduction des coûts éner-

gétiques par diminution des pertes par convection dues aux effets du vent. Nous avons observé sur place, lors de la phase de recueil d'informations, qu'il y avait une haie d'arbres au nord et un bosquet d'arbres du côté ouest du bâtiment. Nous savons à présent que le vent provient du nord-ouest en hiver et que la façade nord est exposée au vent. Or les ouvertures sur cette façade sont minimales. Nous savons également que les jours marqués par un vent violent se comptent sur les doigts de la main.

#### 4.1.4.2 Conclusion (partielle)

Nous pouvons dire que l'environnement, l'orientation du bâtiment et la protection contre le vent entretiennent une relation harmonieuse :

- la façade sud (celle de la partie réservée à l'habitation à savoir la partie ouest du corps du bâtiment) est protégée contre le vent d'hiver par la présence d'un bosquet d'arbres à l'ouest. Le vent ne la refroidit pas quand elle est ensoleillée ;
- le côté ouest du bâtiment est lui aussi protégé par des arbres mais, encore une fois, il s'agit d'arbres à feuilles caduques.

#### 4.1.5 Ambiance bioclimatique

Toutes ces premières informations ont été utiles et intéressantes, mais elles ne sont pas suffisantes. Il nous reste à établir le diagramme d'ambiance bioclimatique (diagramme dit « ABC ») qui permet de définir des stratégies architecturales (inertie, ventilation, etc.) assurant un confort thermique au moindre coût énergétique.

Le diagramme ABC constitue un outil d'intelligence thermique d'un bâtiment face aux conditions climatiques du site : il aide à déterminer les réponses architecturales

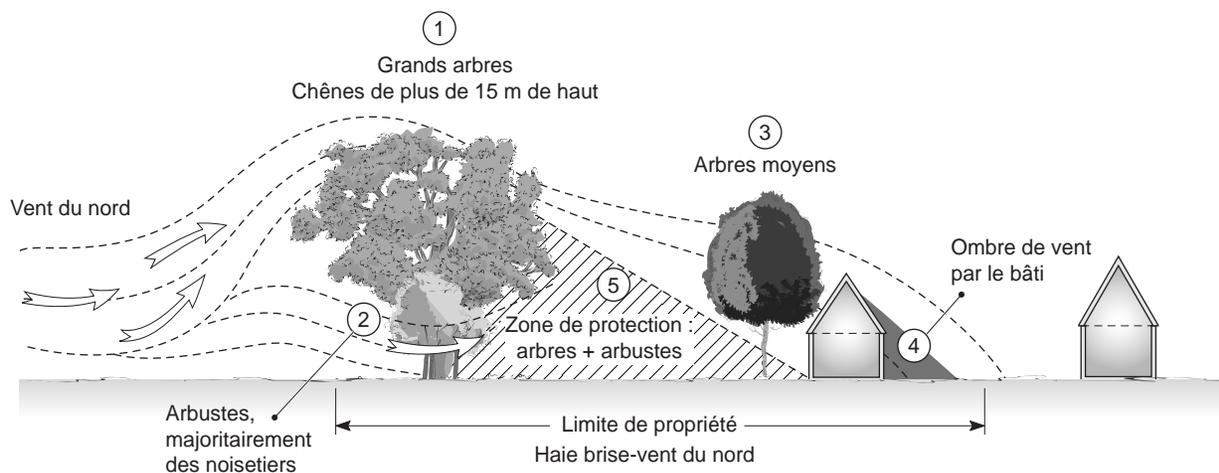
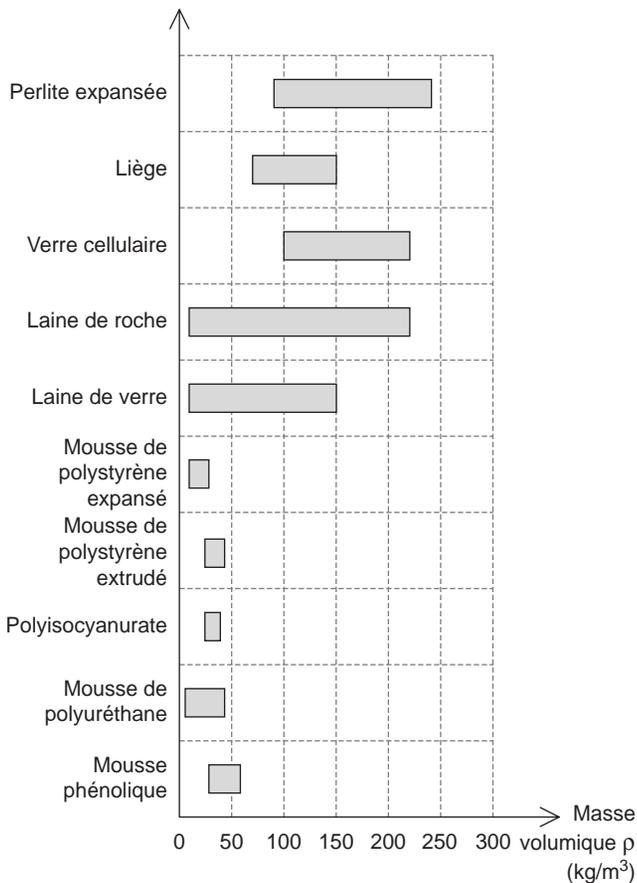


Fig. 4.14. Coupe AA



**Fig. 5.6. Masse volumique maximale et minimale d'isolants thermiques** (source : base de données matériaux, Jean-Pierre Moya)

estival grâce au déphasage et à l'atténuation de l'amplitude de flux de chaleur qu'ils entraînent, notamment en isolation de rampant de toiture lorsque sa partie supérieure n'est pas ventilée. On observe qu'un même produit peut présenter des masses volumiques différentes.

Connaître la masse volumique des isolants est également nécessaire dans deux autres situations :

- pour définir la résistance des structures supportant l'isolant ; par exemple, certains plafonds acceptent une isolation de 10 kg/m<sup>2</sup> et pas nécessairement une autre qui en ferait 50 ;
- pour calculer l'incidence environnementale des solutions retenues ; cela parce que les bases de données renseignent sur l'incidence des matériaux au kilogramme, et qu'il faut donc, chaque fois, pouvoir calculer la masse d'isolants mis en œuvre (§ 5.4).

#### IMPORTANT

Cet indicateur constitue donc souvent un critère de choix d'isolant.

#### 5.2.1.2 Coefficient de conductivité thermique ( $\lambda$ )

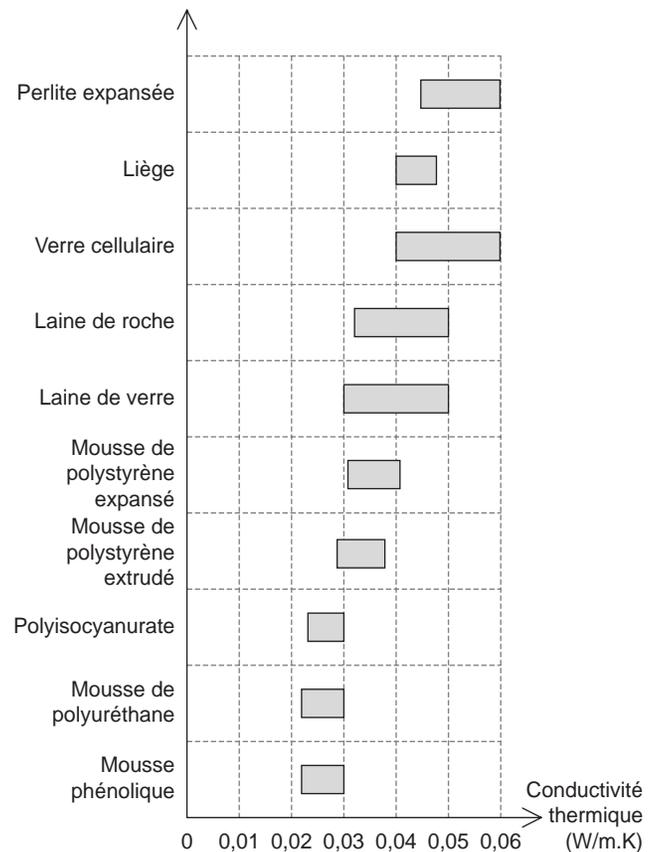
Le coefficient de conductivité thermique  $\lambda$  (*lambda*) est exprimé en watt par mètre kelvin (W/m.K). Valeur mesurée propre à chaque matériau, la conductivité thermique exprime la quantité de chaleur qui traverse un mètre carré de matériau d'un mètre d'épaisseur lorsque la différence de température entre les deux faces est d'un degré. Plus le  $\lambda$  d'un matériau est grand, plus ce dernier est conducteur ; à l'inverse, plus le  $\lambda$  est petit, plus le matériau est isolant (fig. 5.7).

Le coefficient  $\lambda$  est une valeur quantitative et non qualitative et doit-on nécessairement choisir l'isolant  $\lambda$  le plus faible ?

Pour les isolants, particulièrement dans le bâti existant où l'épaisseur disponible pour « ajouter » des matériaux aux parois d'origine est généralement limitée, un  $\lambda$  faible est ouvertement séduisant parce qu'il permet d'obtenir une résistance thermique maximum.

#### EXEMPLE

Un isolant crédité d'un  $\lambda$  de 0,03 W/m.K permettra d'atteindre une même performance thermique avec deux fois moins d'épaisseur qu'un autre ayant un  $\lambda$  de 0,06 W/m.K. Par ailleurs, un même matériau peut présenter des conductivités thermiques différentes.



**Fig. 5.7. Conductivité thermique maximale et minimale d'isolants thermiques** (source : base de données matériaux, Jean-Pierre Moya)

---

---

# Table des matières

---

Mode d'emploi du tableau synoptique.....	7
Sommaire .....	19
Préface.....	21
Avant-propos .....	23
Sigles et acronymes .....	25
Introduction .....	27

## Chapitre 1

### **Comportement des bâtiments : matériaux constitutifs et environnement** .....

1.1	Fonctionnement du bâtiment : importance du diagnostic préalable.....	34
1.2	Bâtiments et environnement.....	34
1.3	Enveloppe du bâtiment.....	34
1.4	Caractéristiques des matériaux.....	37

## Chapitre 2

### **Identification des différentes typologies constructives du bâti existant** 39

2.1	<b>Murs</b> .....	40
2.1.1	Murs en terre crue.....	40
2.1.2	Murs en pierres .....	40
2.1.2.1	Roches magmatiques.....	41
2.1.2.2	Roches sédimentaires .....	41
2.1.2.3	Roches métamorphiques.....	41
2.1.3	Murs en bois.....	42
2.1.4	Murs en briques de terre cuite.....	43
2.1.5	Murs en béton .....	43
2.2	<b>Toitures et couvertures</b> .....	44
2.2.1	Toitures inclinées (bois).....	44
2.2.2	Planchers des combles non aménagés.....	44
2.2.3	Toitures plates .....	44
2.2.3.1	Toiture plate chaude.....	44

2.2.3.2	Toiture plate chaude inversée .....	45
2.2.3.3	Toiture plate combinée .....	45
2.2.3.4	Autres types de toitures plates .....	45
<b>2.3</b>	<b>Sols</b> .....	47

**Chapitre 3**

	<b>Méthode de diagnostic adaptée à l'optimisation thermique des bâtiments existants</b> .....	67
<b>3.0</b>	<b>Étape 0. Recueil des informations</b> .....	69
<b>3.1</b>	<b>Étape 1. Le bâtiment dans son environnement proche</b> .....	70
3.1.1	Analyse du bâtiment dans le site .....	70
3.1.2	Intérêt de l'analyse du bâtiment dans le site et précisions sur les outils .....	70
3.1.2.1	Localisation .....	70
3.1.2.2	Emplacement .....	70
3.1.2.3	Diagramme solaire .....	70
3.1.2.4	Diagramme d'éclairement énergétique .....	70
3.1.2.5	Données hygrothermiques liées au site .....	70
3.1.2.6	Vent .....	70
3.1.2.7	Ensoleillement .....	72
3.1.2.8	Utilisation des données climatiques .....	72
<b>3.2</b>	<b>Étape 2. Critères morphoénergétiques</b> .....	78
3.2.1	Analyse du bâtiment selon des critères morphoénergétiques .....	78
3.2.2	Intérêt de l'analyse morphoénergétique – Outils à utiliser .....	78
3.2.2.1	Forme, compacité et taille du bâtiment .....	78
3.2.2.2	Orientation, exposition, masque solaire et rapport de surface .....	78
3.2.2.3	Enveloppe, mitoyenneté, exposition au vent .....	78
3.2.2.4	Usages .....	79
<b>3.3</b>	<b>Étape 3. Contraintes d'intervention</b> .....	80
3.3.1	Relevé des freins à la mise en place d'une isolation .....	80
3.3.2	Analyse du bâtiment en fonction d'éléments susceptibles d'empêcher la mise en place d'une ITE/ITI .....	80
3.3.2.1	Repérer les éléments architecturaux spécifiques .....	80
3.3.2.2	Identifier les contraintes techniques .....	80
3.3.2.3	Maintenir les signes des pathologies visibles .....	80
<b>3.4</b>	<b>Étape 4. Distribution et caractéristiques des espaces</b> .....	82
3.4.1	Dresser la cartographie des espaces .....	82
3.4.2	Ajuster la cartographie des espaces au diagnostic des besoins .....	82
<b>3.5</b>	<b>Étape 5. Analyse du confort ressenti et du confort programmé</b> .....	83
3.5.1	Analyse du confort ressenti .....	83
3.5.2	Distinction des différents types de confort .....	83
<b>3.6</b>	<b>Étape 6. Principes des solutions de rénovation thermique</b> .....	85
3.6.1	Repérage des matériaux constituant les parois .....	85
3.6.2	Conception architecturale .....	85

<b>Chapitre 4</b>	<b>Étude de cas : application de la méthode de diagnostic thermique</b> .....	89
<b>4.0</b>	<b>Étape 0. Recueil des informations</b> .....	90
<b>4.1</b>	<b>Étape 1. Le bâtiment dans son environnement proche</b> .....	90
4.1.1	Le diagramme ombrothermique .....	94
4.1.1.1	Analyse des précipitations : régime des pluies .....	94
4.1.1.2	Analyse des températures .....	94
4.1.1.3	Conclusion (partielle).....	94
4.1.2	L'évolution mensuelle des températures d'air .....	95
4.1.2.1	Analyse du diagramme .....	95
4.1.2.2	Conclusion (partielle).....	96
4.1.3	Les humidités relatives .....	97
4.1.3.1	Analyse du diagramme .....	97
4.1.3.2	Conclusion (partielle).....	101
4.1.4	Exposition du site et du bâtiment au vent.....	101
4.1.4.1	Confort selon les saisons.....	101
4.1.4.2	Conclusion (partielle).....	102
4.1.5	Ambiance bioclimatique.....	102
4.1.5.1	Valeurs moyennes des maximales et des minimales des températures et humidités relatives.....	103
4.1.5.2	Conclusion (partielle).....	106
4.1.6	Diagramme solaire .....	106
4.1.6.1	Le masque solaire.....	106
4.1.6.2	Diagramme des masques solaires .....	106
4.1.6.3	Conclusion (partielle).....	107
<b>4.2</b>	<b>Étape 2. Critères morphoénergétiques</b> .....	107
4.2.1	Le coefficient de forme.....	107
4.2.2	Conclusion (partielle).....	109
<b>4.3</b>	<b>Étape 3. Contraintes d'intervention</b> .....	110
4.3.1	Synthèse des contraintes.....	110
4.3.2	Conclusions (partielles) et pistes d'amélioration .....	110
<b>4.4</b>	<b>Étape 4. Distribution et caractéristiques des espaces</b> .....	112
4.4.1	Cartographie des espaces.....	112
4.4.1.1	Problématique centrale.....	112
4.4.1.2	Problématiques subsidiaires .....	112
4.4.2	Conclusion (partielle).....	114
4.4.2.1	Lumière naturelle .....	114
4.4.2.2	Enveloppe du bâtiment.....	114
<b>4.5</b>	<b>Étape 5. Analyse du confort ressenti et du confort programmé</b> .....	115
4.5.1	Problématique centrale.....	115
4.5.1.1	Évaluation du déphasage et de l'amortissement du mur extérieur sud .....	115
4.5.1.2	Expression graphique.....	116
4.5.2	Problématiques subsidiaires .....	116
4.5.2.1	Comment peut-on réduire, voire effacer, l'effet de paroi froide ? .....	116
4.5.2.2	A-t-on intérêt à isoler tous les murs ? .....	116
4.5.2.3	Que peut-il bien se passer si l'on isole le côté intérieur ?.....	118

<b>4.6</b>	<b>Étape 6. Principes de solutions de rénovation thermique</b> .....	119
4.6.1	Première sélection (large) .....	119
4.6.2	Seconde sélection (critères resserrés) .....	121

**Chapitre 5****Choix multicritères des isolants thermiques en fonction de la nature des parois** .....

123

<b>5.1</b>	<b>Fonctions hygrothermiques des parois opaques susceptibles de recevoir une isolation thermique</b> .....	124
5.1.1	Stopper tout flux d'air .....	124
5.1.2	Arrêter, réguler ou faciliter les flux d'humidité potentiels (selon les systèmes constructifs) .....	125
5.1.2.1	Remontées capillaires (humidité ascensionnelle) .....	125
5.1.2.2	Infiltrations d'eau de pluie .....	125
5.1.2.3	Condensation de vapeur d'eau dans la masse des parois (condensation interstitielle) .....	125
5.1.2.4	Condensation superficielle .....	125
5.1.3	Limiter les flux thermiques .....	126
5.1.4	Proposer du côté intérieur une paroi lourde effusive ou, au contraire, un parement à faible effusivité .....	128
<b>5.2</b>	<b>Caractéristiques techniques des isolants thermiques</b> .....	128
5.2.1	Critères thermiques .....	128
5.2.1.1	Masse volumique ( $\rho$ ) .....	128
5.2.1.2	Coefficient de conductivité thermique ( $\lambda$ ) .....	129
5.2.1.3	Chaleur spécifique ( $c$ ) .....	130
5.2.1.4	Épaisseur ( $e$ ) .....	130
5.2.1.5	« Carte d'identité thermique » des matériaux .....	130
5.2.2	Critères hygrométriques .....	131
5.2.2.1	Caractère hydrophile .....	131
5.2.2.2	Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau ( $\mu$ ) .....	131
5.2.2.3	Coefficient d'absorption d'eau ( $A$ ) et coefficient de transport d'eau liquide par redistribution ( $D_{ww}$ ) .....	131
5.2.2.4	Comportement hygroscopique .....	133
5.2.2.5	« Carte d'identité hygrométrique » des matériaux .....	133
5.2.3	Autres critères influençant la performance thermique ou la pérennité des isolants .....	133
5.2.3.1	Perméabilité (sensibilité) plus ou moins importante aux flux d'air .....	133
5.2.3.2	Imputrescibilité, résistance aux moisissures et micro-organismes .....	134
5.2.3.3	Sensibilité à l'eau, aspect plus ou moins altérable ou résilient .....	134
5.2.3.4	Réaction au feu des isolants .....	134
5.2.3.5	Sensibilité au tassement .....	135
5.2.3.6	Sensibilité aux insectes et aux rongeurs .....	136
<b>5.3</b>	<b>Confort acoustique et qualité sanitaire</b> .....	136
5.3.1	Acoustique .....	136
5.3.1.1	Indices de performance acoustique des produits .....	137
5.3.1.2	Incidence des isolants thermiques sur la performance acoustique des parois .....	137
5.3.2	Aspect sanitaire, qualité de l'air intérieur .....	137
<b>5.4</b>	<b>Approche environnementale</b> .....	138
5.4.1	Impact sur le changement climatique .....	139

5.4.2	Bilan de l'énergie du procédé .....	139
5.4.3	Épuisement des ressources naturelles (non énergétiques) .....	140
5.4.4	Durée de vie (typique) .....	140
5.4.5	Bilan « Gestion de fin de vie » .....	140
<b>5.5</b>	<b>Développement durable</b> .....	<b>140</b>
<b>5.6</b>	<b>Critères financiers : coûts du matériau, frais de mise en œuvre, aides...</b> .....	<b>141</b>
<b>5.7</b>	<b>Notion d'adaptation à l'usage et mise en œuvre</b> .....	<b>141</b>
5.7.1	Certification Acermi .....	141
5.7.2	Avis d'experts et procédures d'appréciation .....	142
5.7.3	Documents de référence .....	143
5.7.3.1	Documents spécifiques aux murs et parois verticales .....	143
5.7.3.2	Documents spécifiques aux toitures et combles .....	146
5.7.3.3	Documents spécifiques aux toitures-terrasses .....	148
5.7.3.4	Documents spécifiques aux planchers et soubassements .....	149
<b>5.8</b>	<b>Situation vis-à-vis de l'assurabilité professionnelle</b> .....	<b>149</b>
<b>5.9</b>	<b>Hiérarchisation des critères pour un choix raisonné</b> .....	<b>150</b>
<b>5.10</b>	<b>Synthèse des critères de choix des isolants</b> .....	<b>153</b>
5.10.1	Colonne n° 1. Masse volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) .....	153
5.10.2	Critères thermiques .....	153
5.10.2.1	Colonne n° 2. Conductivité thermique $\lambda$ (W/m.K) .....	153
5.10.2.2	Colonne n° 3. Chaleur spécifique $c$ (J/kg.K) .....	153
5.10.3	Critères hydriques .....	153
5.10.3.1	Colonne n° 4. Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$ (sans unité) .....	153
5.10.3.2	Colonne n° 5. Comportement capillaire .....	154
5.10.3.3	Colonne n° 6. Teneur en eau de référence $w_{80}$ (kg/m <sup>3</sup> ) .....	154
5.10.4	Autres critères affectant la vulnérabilité .....	154
5.10.4.1	Colonne n° 7. Sensibilité aux flux d'air .....	154
5.10.4.2	Colonne n° 8. Sensibilité à l'eau. Putrescibilité / Altérabilité .....	154
5.10.4.3	Colonne n° 9. Réaction au feu .....	155
5.10.4.4	Colonne n° 10. Type de pose et sensibilité au tassement .....	155
5.10.4.5	Colonne n° 11. Sensibilité aux rongeurs .....	155
5.10.5	Acoustique et qualité sanitaire .....	155
5.10.5.1	Colonne n° 12. Aspect acoustique .....	155
5.10.5.2	Colonne n° 13. Aspect sanitaire – Étiquette « Émissions dans l'air intérieur » .....	155
5.10.6	Impact environnemental .....	155
5.10.6.1	Colonne n° 14. Impact sur le changement climatique .....	155
5.10.6.2	Colonne n° 15. Énergie consommée par le procédé – Énergie grise .....	155
5.10.6.3	Colonne n° 16. Épuisement des ressources non énergétiques .....	156
5.10.6.4	Colonne n° 17. Durée de vie typique .....	156
5.10.6.5	Colonne n° 18. Fin de vie – Séparativité .....	156
5.10.6.6	Colonne n° 19. Fin de vie – Potentiel de valorisation .....	156
5.10.7	Colonne n° 20. Coûts d'investissement – Aides potentielles .....	156
5.10.8	Conditionnement et utilisations .....	157
5.10.8.1	Colonne n° 21. Conditionnement usuel .....	157

5.10.8.2	Colonne n° 22. Utilisations courantes .....	157
5.10.9	Colonne n° 23. Référencement « produits génériques » .....	157
<b>5.11</b>	<b>Choix des systèmes et matériaux isolants thermiques les plus adaptés .....</b>	<b>157</b>
<b>5.12</b>	<b>Exemple d'utilisation pratique du tableau Excel multicritères .....</b>	<b>158</b>
5.12.1	Calcul du coefficient de transmission thermique surfacique $U$ .....	158
5.12.2	Critères de choix applicables à l'isolant .....	159
5.12.2.1	Critère thermique .....	159
5.12.2.2	Autres critères de l'isolant .....	162
5.12.2.3	Risques de condensation .....	163

<b>Chapitre 6</b>	<b>Fiches techniques .....</b>	<b>171</b>
	Annexes .....	237
	Références et bibliographie .....	281
	Index .....	285

# Isolation thermique durable des bâtiments existants

Choix multicritères • Manuel pratique

La France s'est engagée à diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050. Avec 43 % des consommations énergétiques, le secteur du bâtiment est concerné au plus haut point. Pour être efficace et compte tenu du faible taux de renouvellement du parc immobilier français, l'effort doit porter principalement sur les bâtiments existants. Si l'isolation thermique est devenue une priorité, elle intervient néanmoins dans un contexte délicat (risque de fragilisation des parois recevant l'isolant, respect du patrimoine et des bâtiments classés, préservation de la surface habitable, etc.).

Basé sur une méthode d'analyse originale, complète et détaillée d'un contexte de rénovation ou de réhabilitation (maisons individuelles, bâtiments collectifs, etc.), l'ouvrage :

- décrit le fonctionnement des parois, la contribution à l'enveloppe et à l'isolation des divers matériaux les composant ;
- propose, à partir d'une approche par « familles de produits », de choisir les isolants adaptés, en optimisant les propriétés intrinsèques des matériaux en place ;
- détaille la mise en place, en respectant le bâti et les normes en vigueur ;
- explique comment tirer parti du contexte dans lequel s'insère le bâtiment (climat, exposition, vent, végétation...).

L'étude de cas permet de décliner concrètement la méthode de diagnostic inédite exposée. Les fiches techniques et annexes synthétisent les caractéristiques des produits courants et les valeurs communément observées.

Véritable méthode de diagnostic et d'accompagnement, cet ouvrage présente une méthode de choix multicritères des isolants en vue d'une rénovation réussie. Cette démarche est complétée par un outil opérationnel contenant un tableau synoptique (tableur Excel) de l'ensemble des isolants disponibles sur le marché, y compris les isolants dits « biosourcés » ; il est muni de critères de tri et de filtres permettant d'aboutir rapidement à une liste réduite d'options dans une situation donnée.

L'**Agence nationale de l'habitat (Anah)** est un établissement public placé sous la tutelle des ministères en charge du Logement, du Budget et de l'Économie. Sa mission depuis près de 50 ans est d'améliorer le parc de logements privés existants, en particulier en ce qui concerne la lutte contre l'habitat indigne et très dégradé, le traitement des copropriétés en difficulté, la lutte contre la précarité énergétique et l'adaptation du logement aux besoins des personnes âgées ou handicapées. À cet effet, elle encourage et facilite l'exécution de travaux par l'octroi d'aides financières sous conditions à des propriétaires occupants, bailleurs et copropriétés en difficulté. Elle est partenaire des collectivités territoriales pour des opérations programmées (OPAH) et opérateur de l'état dans la mise en œuvre de plans nationaux. Elle mène également des actions d'études ayant pour objet d'améliorer la connaissance du parc privé existant et d'assistance pour accompagner les territoires dans la mise en œuvre des politiques d'amélioration de l'habitat.

Fondateur du cabinet Jean-Pierre Moya Énergie Consultant, **Jean-Pierre Moya** est consultant spécialisé dans la rénovation thermique du bâti ancien. Il intervient également, en tant qu'architecte - thermicien et docteur en urbanisme, spécialiste du bioclimatisme, dans le cadre de formations et d'opérations de sensibilisation des acteurs du BTP aux enjeux de l'isolation thermique, du développement durable et à la problématique de la précarité énergétique. Il est l'auteur de nombreux rapports pour le compte de diverses institutions nationales (Ademe, Anah...).

Cet ouvrage est destiné aux gestionnaires de parc immobilier (Opac, OPHLM, etc.), syndicats de copropriété, gestionnaires de bien, propriétaires fonciers, aménageurs, promoteurs, architectes, bureaux d'études, entreprises et consultants en BTP, ainsi qu'aux collectivités territoriales.

EDITIONS  
**LE MONITEUR**

