

PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DES LOGEMENTS



ARGUMENTAIRE TECHNIQUE ET COMMERCIAL



Ce document a été réalisé à la demande de l'ARENE (Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Énergies) d'Ile-de-France, de l'EPA Sénart (Établissement Public d'Aménagement) et du SAN de Sénart (Syndicat d'Agglomération Nouvelle).

CONTACTS DES ORGANISMES PARTENAIRES

- ARENE
Dominique SELLIER
d.sellier@areneidf.org
- EPA SÉNART
Jean-Paul TRARIEUX
jpt@epa-senart.fr
Emmanuelle DANTON-BIVILLE
edb@epa-senart.fr
- SAN de SÉNART
Sabine BEAUVAIS-DELOUVRIER
s.beauvais-delouvrier@san-senart.fr
Isabelle GAUSSON
i.gausson@san-senart.fr

ONT ASSURÉ SA RÉDACTION

- Mohammed ABDESSELAM, SOLENER,
expert énergie
- Jean-Pierre TRAISNEL, architecte,
spécialiste développement
durable
- André CARON, économiste,
spécialiste en marketing

ONT PILOTÉ LA RÉALISATION DE CET OUVRAGE

- Dominique SELLIER, ARENE
- Isabelle GAUSSON, SAN de SÉNART
- Jacques STÉVENIN, EPA SÉNART
- Jean-Paul TRARIEUX, EPA SÉNART
- François MAGAUD, EPA SÉNART
- Emmanuelle DANTON-BIVILLE, EPA SÉNART

ONT PILOTÉ SA PUBLICATION

- Muriel LABROUSSE, ARENE
- Marylin HUTEAU, EPA SÉNART
- Caroline FÉLINIAK, EPA SÉNART



Abréviations	4
Introduction	5
Labels-certifications et incitations	6
Mode d'emploi de l'argumentaire	8

PARTIE 1

FICHES THÉMATIQUES

À L'ÉCHELLE DE L'OPÉRATION

1.1 Plan de masse et ensoleillement	11
1.2 Spatialité et typologie des logements	13
1.3 Conception bioclimatique	19
1.4 Locaux annexes	23
1.5 Noues végétales	29

PARTIE 2

FICHES THÉMATIQUES

À L'ÉCHELLE DE LA CONSTRUCTION

2 Mode d'emploi des fiches	32
« MTD construction »	
2.1 Conception bioclimatique	de l'enveloppe
2.1.1 L'isolation répartie	37
2.1.2 L'isolation par l'extérieur	41
2.1.3 Les vitrages	45
2.1.4 Les huisseries	47
2.1.5 L'énergie solaire passive	49
2.1.6 Le mur trombe	51
2.1.7 Correction de la perméabilité à l'air	55

2.1.8 Les canons à lumière	57
2.1.9 Le puits canadien	61
2.1.10 Les protections solaires	65
2.2 Équipements énergétiques	
2.2.1 Ventilation double flux	71
2.2.2 Ventilation naturelle	73
2.2.3 Le solaire thermique	77
2.2.4 Le solaire photovoltaïque	81
2.2.5 Le bois énergie	85
2.2.6 La géothermie basse température	89
2.2.7 Aérothermie	95
2.2.8 Chaudière à condensation	99

2.3 Maîtrise de l'eau	
2.3.1 Maîtriser les consommations d'eau	103
2.3.2 Les toitures végétales	107
2.3.3 Les puits d'infiltration	111
2.3.4 Récupération des eaux de pluie	115

2.4 Matériaux santé	
2.4.1 Interrupteur automatique de champ	121
2.4.2 Isolants d'origine végétale	123
2.4.3 Les peintures écologiques	127

2.5 Synthèse	
2.5.1 Les meilleures techniques disponibles (mtd)	133
2.5.2 Capacités des techniques à répondre à la réglementation et aux labels énergétiques	137

PARTIE 3

SCÉNARIOS ÉNERGÉTIQUES

3.1 Caractéristiques générales	des scénarios	141
3.2 Caractéristiques thermiques	des scénarios	145

ANNEXES

« POUR EN SAVOIR PLUS »

1 Informations par thématique	148
2 Informations à caractère général	156
3 Table des illustrations	160

ABRÉVIATIONS

ADEME	Agence de l'Environnement et la Maîtrise de l'Énergie	IAC	Interrupteur Automatique de Champ
AFNOR	Association Française de Normalisation	Ich	Coefficient final de chauffage, appliqué aux besoins de chauffage
AIMCC	Association des Industries de Produits de Constructions	IdF	Ile-de-France
ARENE	Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Énergies en Ile-de-France	INIES	Informations sur l'Impact Environnemental et Sanitaire (base de données)
Cep	Consommation conventionnelle d'énergie primaire (en kWh ep /m ² /an)	ITE	Isolation Thermique par l'Extérieur
Cerqual	Filiale de l'association QUALITEL, élabore et délivre des certifications qui garantissent la qualité des logements neufs	ITI	Isolation Thermique par l'Intérieur
CESI	Chauffe-Eau Solaire Individuel	LOI POPE	Loi de Programme fixant les Orientations de la Politique Énergétique
COP	Coefficient de Performance	MOB	Maison en Ossature Bois
COS	Coefficient d'Occupation du Sol	MTD	Meilleures Techniques Disponibles (fiches construction)
COV	Composés Organiques Volatils	PAC	Pompe À Chaleur
Cref	Consommation d'énergie primaire du bâtiment de référence (en kWh ep/ m ²)	PRE	Plancher Radiant Électrique
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment	PSE	Polystyrène Expandé
DDASS	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales	PV	Photovoltaïque
DPE	Diagnostic de Performance Énergétique (depuis le 1 ^{er} juillet 2007)	PV	Procès Verbal
DV	Double Vitrage	Rair	Taux de renouvellement d'air (en nb Vol/h ég)
ECS	Eau Chaude Solaire	RPE	Revêtement Plastique Épais
EDF	Électricité de France	RT 2005	Réglementation Thermique 2005
EPA	Établissement Public d'Aménagement	SAN	Syndicat d'Agglomération Nouvelle (de Sénart)
FDES	Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires	SAV	Service Après-Vente
Fe	Facteur d'ensoleillement	SHON	Surface Hors Œuvre Nette
GIE	Groupement d'Intérêt Économique	SSC	Système Solaire Combiné
GIFAM	Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'équipement Ménager	STC	Standard Test Conditions (angl) pour Conditions Standards de Test (Mesure de la puissance nominale maximale d'un panneau solaire)
H&E	Habitat et Environnement (certification)	Teq	Tonne équivalent
HPE	Haute Performance Énergétique	THPE	Très Haute Performance Énergétique
HygroB	Ventilation avec boucles hygroréglables en extraction d'air vicié et en entrée d'air frais	U	Coefficient de déperdition thermique de la paroi, du bâtiment, ... (en W/m ² .K)
		VMC	Ventilation Mécanique Contrôlée
		VMC2F	Ventilation Mécanique Contrôlée double Flux



La réalité du changement climatique est aujourd'hui admise, et d'ores et déjà tangible. Le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat) estime que la température moyenne terrestre s'élèvera ainsi de 1 à 6°C d'ici la fin du 21^{ème} siècle.

Contenir la hausse globale de température entre 1,5 et 3,9 °C supposerait de diviser par 2 d'ici 2050 les émissions mondiales de gaz à effet de serre de 1990. Pour la France, cet objectif se traduit par un niveau d'émissions au moins quatre fois inférieur à l'actuel. Il s'agit de passer de 9 tonnes équivalent (teq) CO₂ par habitant à 2 teq en 2050. Ce « facteur 4 » est inscrit en objectif de long terme dans la loi de programme de juillet 2005 qui fixe les orientations de la politique énergétique (loi POPE).

L'amélioration des pratiques dans les domaines de l'aménagement et de la construction constitue un gisement d'économie d'énergie important. En premier lieu, un travail poussé sur la forme urbaine doit contribuer à réduire les besoins énergétiques globaux, et de façon plus générale, à réduire l'impact environnemental d'une opération. Ensuite, il convient de s'attacher à la construction elle-même, et à ses équipements techniques. En effet, et si on s'intéresse en particulier à l'aspect énergétique, les bâtiments représentent le 2^{ème} secteur le plus consommateur d'énergie au niveau national. Le logement émet pour sa part environ 15% des gaz à effet de serre.

Cet exemple souligne le rôle que peut jouer la production de logements neufs dans l'atteinte des objectifs environnementaux nationaux, parallèlement à la réhabilitation des logements anciens. Pour réussir dans cette démarche, les différentes parties prenantes doivent disposer d'outils pratiques et adaptés. En particulier, aménageurs et promoteurs doivent pouvoir accompagner, mais également devancer et développer la demande environnementale émergente, dans le cadre d'une offre structurée.

C'est pour contribuer à cet objectif qu'a été réalisé le présent guide argumentaire, qui aborde cette démarche selon trois axes distincts mais complémentaires :

- Une approche à l'échelle de l'opération d'aménagement, avec des fiches d'aide à la conception environnementale ;
- Une approche bâtiment, avec des fiches qui présentent les meilleures techniques disponibles en matière de construction environnementale ;
- Une approche « produit logement », qui assemble les solutions techniques selon 4 scénarios d'ambition croissante sur le plan environnemental, correspondant à des segments spécifiques du marché. Ces scénarios font référence à la réglementation thermique 2005 (RT 2005) et aux catégories du Diagnostic de Performance Énergétique (DPE).

Ce guide est le fruit d'un travail conjoint des partenaires de la Ville Nouvelle de Sénart (Syndicat d'Agglomération Nouvelle et Établissement Public d'Aménagement) et de l'ARENE (Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Énergies d'Ile-de-France).

À travers cette publication, l'ARENE souhaite fournir aux professionnels franciliens de l'aménagement et de la promotion immobilière des pistes concrètes de solutions à mettre en œuvre pour un secteur résidentiel neuf plus performant au plan environnemental et énergétique.

De son côté, Sénart, pôle stratégique du développement urbain de l'Ile-de-France, déjà impliqué dans la certification Habitat et Environnement de Cerqual, renforce ainsi son engagement pour la qualité environnementale des logements neufs construits sur son territoire.

LABELS-CERTIFICATIONS ET INCITATIONS



L'ensemble des mutations qui s'imposent dorénavant au secteur du bâtiment prend place dans un horizon de réduction drastique des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre, dont le Plan Climat 2004 révisé en 2006, et la loi POPE de 2005, ont fixé les orientations globales.

De nombreux mécanismes incitatifs et financiers ont été mis en place pour engager le secteur de la construction dans son ensemble : crédit d'impôt, certificats d'économie d'énergie, livret développement durable, bonification de COS – coefficient d'occupation des sols – en cas de performances énergétiques supérieures aux niveaux réglementaires de base.

Si la réglementation thermique en vigueur fixe un seuil minimal d'amélioration, certificats et labels permettent la valorisation des améliorations supplémentaires apportées au logement.

La certification Habitat et Environnement de Cerqual (seuil d'exigence sur le territoire de Sénart) s'inscrit dans une évolution progressive de la réglementation thermique (RT). Le niveau de consommation énergétique doit être inférieur de 10% par rapport à la consommation maximale autorisée (Cmax). Ceci permet d'obtenir le premier niveau de label défini par l'arrêté du 8 mai 2007, soit « haute performance énergétique ».

Label	Conditions d'attribution
HPE 2005	consommation d'énergie au moins inférieure de 10% à la consommation de référence définie par la RT 2005
THPE 2005	consommation d'énergie au moins inférieure de 20% à la consommation de référence définie par la RT 2005.
HPE EnR 2005	consommation d'énergie au moins inférieure de 10% à la consommation de référence définie par la RT 2005 et utilisation d'énergies renouvelables pour le chauffage (générateur biomasse ou réseau de chaleur alimenté par EnR).
THPE EnR 2005	consommation d'énergie au moins inférieure de 30% à la consommation de référence définie par la RT 2005 et utilisation d'énergies renouvelables pour l'eau chaude sanitaire (panneaux solaires) et le chauffage (panneaux solaires, générateur biomasse ou réseau de chaleur alimenté par EnR)
« Bâtiment Basse Consommation » (BBC) ¹	consommation d'énergie pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage intérieur inférieure ou égale à 50 kWh/m² SHON/an en énergie primaire ; moyenne nationale ajustée d'un facteur selon l'altitude et la zone climatique (soit en zone H1 : 65 kWh/m ² SHON/an).

Illustration 1 : Conditions d'obtention des 5 labels de performance énergétique établis par l'arrêté du 8 mai 2007.

¹ Le label national BBC est attribué par différents organismes :
- CERQUAL pour les immeubles de logements collectifs ;
- CEQUAMI pour les maisons individuelles ;
- PROMOTELEC pour l'individuel en diffus.

Les avantages potentiels apportés par le label sont :
- une réduction de taxes foncières ;
- une possibilité de bonification de COS ;
- un crédit d'impôts pour implantation d'équipements EnR.



Ces labels ont été développés afin d'ouvrir la voie aux différentes techniques d'isolation par l'extérieur, de pompes à chaleur, de chaudières à condensation et aux systèmes utilisant les énergies renouvelables, qui seront requis pour atteindre les niveaux de performances de la réglementation thermique 2010.

La loi POPE prévoyait une baisse des coefficients réglementaires de 15% par paliers de 5 ans, mais le rythme devrait en être accéléré. Ainsi, en 2015, la RT pourrait se situer au niveau « Bâtiment Basse Consommation » BBC (soit 50 kWh/m² SHON/an en énergie primaire en moyenne nationale, soit 65 kWh/m² SHON/an en zone climatique H1), et imposer un pourcentage minimal d'énergies renouvelables ainsi qu'une prise en compte de l'énergie grise (contenu énergétique des matériaux et de leur mise en œuvre). Les récentes propositions formulées dans le cadre du Grenelle de l'environnement vont dans ce sens, avec des échéances plus rapprochées.

L'accélération de la réglementation thermique permettrait de rapprocher les performances de la construction neuve des labellisations européennes les plus exigeantes, développées depuis plus d'une dizaine d'années sur le concept de la maison passive : labels Passivhaus® en Allemagne (années 1990) et Minergie® en Suisse (1996). Dans ces constructions, les déperditions thermiques par l'enveloppe sont couvertes par les apports gratuits, constitués des apports internes et des gains solaires passifs par les surfaces vitrées.

Les principes qui régissent les critères d'attributions de ces certifications, par ailleurs marquées par une certaine rigueur et une réalité des vérifications sur chantier, sont cependant différents des nôtres, notamment sur les limites maximales des consommations d'énergie.

Le label Passivhaus® correspond à une consommation totale d'énergie **inférieure à 120 kWh/m²/an** incluant la consommation

d'énergie pour l'eau chaude sanitaire, le chauffage, les consommations pour l'éclairage, la ventilation, les auxiliaires, les équipements électro-domestiques. Les besoins de chauffage ne doivent pas excéder **15 kWh/m²/an**.

Le label suisse Minergie® correspond quant à lui à une consommation totale d'énergie **inférieure à 42 kWh/m²/an**, incluant la consommation d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. En France, le label Minergie® est attribué par l'association Prioriterre.

C'est sur le modèle de Minergie® que l'association Effinergie, en France, a proposé des niveaux de performances qui se retrouvent maintenant dans le label BBC (« Bâtiment Basse Consommation »).

MODE D'EMPLOI DE L'ARGUMENTAIRE



L'argumentaire se compose de trois parties complémentaires, mais indépendantes les unes des autres. Chaque partie peut donc être abordée isolément suivant les centres d'intérêts du lecteur.

PARTIE 1

5 FICHES À L'ÉCHELLE DE L'OPÉRATION

De nombreuses questions doivent être abordées en amont d'une opération de logements groupés, pour faire le lien entre l'application des principes du développement durable à l'échelle du territoire, et l'application *in fine* de la démarche de haute qualité environnementale dans la construction.

Cinq thèmes, déterminants pour la réussite d'un programme immobilier sur le volet environnemental sont présentés : la conception du plan de masse vis-à-vis de l'ensoleillement, la spatialité et la typologie des logements, la conception bioclimatique, le traitement des espaces annexes, la réalisation de noues végétales au sein de l'opération. Ces fiches explicitent ces problématiques, et permettent d'agir en connaissance de cause à l'échelle de l'opération.

PARTIE 2

25 FICHES « MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LA CONSTRUCTION » (MTD CONSTRUCTION) :

Les solutions techniquement performantes et économiquement viables à l'échelle de la construction sont regroupées selon quatre thématiques environnementales (conception bioclimatique de l'enveloppe, équipements énergétiques, maîtrise de l'eau, matériaux et santé). Conçue comme une « boîte à outils » pour une conception durable des logements, cette partie permet de définir le profil de l'offre environnementale visée par la promotion privée.

Ces fiches s'adressent aussi aux commerciaux en charge de la vente de l'opération, et les aident à construire leur argumentaire et leur stratégie d'approche du futur acquéreur. Des tableaux de synthèse donnent une vue d'ensemble et précisent les capacités des différentes techniques à évoluer.

PARTIE 3

4 SCÉNARIOS TYPES :

Ces scénarios de référence sont élaborés selon une approche de gestion patrimoniale, économique et technique.

Ils serviront de points d'appui aux représentants de la promotion immobilière, dans la définition et l'intégration de leur stratégie environnementale. Chaque maître d'ouvrage promoteur témoigne d'un esprit propre à l'entreprise, qui se traduit par l'affichage de priorités, de choix techniques et de management qui lui sont spécifiques.

La souplesse des scénarios proposés facilite l'adaptation aux différentes situations grâce à une palette de choix étendue et une formulation « ouverte » sur plusieurs filières techniques.

« POUR EN SAVOIR PLUS »

Cette annexe oriente le lecteur qui souhaite compléter son information vers des sites internet choisis.

FICHES THÉMATIQUES À L'ÉCHELLE DE L'OPÉRATION

CHOIX IMPACTANT SUR LE PLAN DE MASSE

À l'échelle de l'opération, les choix retenus en termes de densité (nombre de logements à l'hectare), de typologies de logements, d'organisation spatiale à l'intérieur du périmètre de l'opération (réseaux et voirie), de morphologies et d'orientation des logements conditionnent nombre d'enjeux environnementaux, à savoir :

- L'occupation des sols et la consommation de territoires naturels ou agricoles ;
- L'intégration du logement dans l'écosystème local, qui devrait préserver des corridors écologiques, des milieux humides, et la diversité en faune et en flore ;
- La recharge des nappes phréatiques ;
- La réduction des besoins énergétiques généraux par la mise en œuvre d'une forme urbaine respectant des principes bioclimatiques ;
- La valorisation optimale des ressources énergétiques disponibles localement.

Ces deux derniers points prennent une importance particulière dans la perspective du facteur 4. Leur contribution apparaît décisive dans une optique d'économie des charges d'exploitation du logement, chauffage et production d'eau chaude sanitaire en particulier².

² La maîtrise des consommations d'énergie et des missions de carbone liées aux déplacements motorisés (voiture particulière versus transports en commun) semble plus improbable dans des urbanisations qui poursuivent l'étalement urbain : les alternatives collectives à la voiture particulière nécessitent une densité de logements qui est bien supérieure à celle des lotissements pavillonnaires.

La partie qui suit décline 5 fiches qui relèvent de l'échelle de l'opération. Ces fiches abordent les thématiques suivantes :

- L'ensoleillement, qui contribue au confort des espaces extérieurs selon l'orientation des voies, l'implantation des constructions devant apporter des éléments de réponses selon les différents types de tracé des voies :
Fiche 1.1 ;
- La typologie des logements et la notion de densité permettant de limiter l'étalement urbain et d'accroître la performance énergétique des constructions :
Fiche 1.2 ;
- Les principes de l'architecture bioclimatique et l'orientation des façades propice à la production du confort (d'été et d'hiver), qui doivent guider les choix morphologiques et conduire l'organisation du plan masse :
Fiche 1.3 ;
- La question des bâtis annexes, qui rend compte de l'évolution des pratiques et des modes de vie, tout en contribuant à la qualité environnementale générale de l'opération :
Fiche 1.4 ;

- Les noues végétalisées, qui contribuent au paysage, favorisent le développement de la végétation et interviennent efficacement dans les gestions des eaux pluviales :
Fiche 1.5.

NB : À cette dimension environnementale, s'ajoutent les deux dimensions économiques et sociales du développement durable, non traitées dans le cadre de ce guide, qui concernent :

- La réduction des coûts d'aménagement et des charges d'exploitation des espaces collectifs, des réseaux et des voiries ;
- L'accessibilité aux services (commerces, écoles, poste, services sociaux et culturels, sportifs, santé, etc.) ;
- L'évolutivité et la flexibilité fonctionnelle des espaces.

Les aspects sociaux et culturels doivent également être intégrés à toute analyse, car certaines formes d'habitat éloignées des services peuvent contribuer au sentiment de relégation.

Il faut bien sûr aussi garder à l'esprit que le logement est une «brique» particulière, à l'intérieur d'un ensemble plus vaste (le quartier, la commune, ses équipements publics, ses services de transports en commun), qui forme le cadre des gestes quotidiens : le rôle des collectivités est essentiel dans l'image, vécue par les ménages, du quartier et de ses services.

VOLET DESCRIPTIF

1. Orientation des voies

L'organisation du plan masse, et en particulier l'orientation des rues et des espaces réservés aux piétons, conditionne le confort et l'ensoleillement des rues, lorsque les deux côtés de la rue sont construits.

Les réflexions doivent porter sur un réseau de voies tramées, en écartant les tracés en boucles qui marquent l'urbanisme moderne sous ses deux formes - grands ensembles et lotissements pavillonnaires - et portent l'empreinte de l'automobile. Il apparaît en effet souhaitable de mailler les voies sur le principe des villes piétonnes afin de faciliter les déplacements de proximité (domicile-école, commerces, services, etc.) qui pourront s'effectuer à pied ou à vélo dans les meilleures conditions de sécurité et de confort.

Deux trames rectangulaires sont considérées :

- Lorsque les axes principaux sont dirigés vers les points cardinaux ;
- Lorsque les angles et croisements se situent aux points cardinaux (soit une trame déviée de 45° par rapport à la précédente).

Dans le premier cas – celui d'une trame rectangulaire nord-sud /est-ouest – les conditions de confort des voies nord-sud et des voies est-ouest sont très différentes : le déséquilibre entre les deux trottoirs (côtés nord et sud) est très grand en toute saison, alors qu'il est réparti équitablement entre le matin et l'après midi dans le cas d'une rue d'axe nord-sud.

Une rotation de 45° par rapport aux points cardinaux apporte un compromis satisfaisant. Le total théorique des heures pour lesquelles le soleil direct atteint au moins un point du sol, toutes rues confondues, est ainsi mieux réparti entre les six mois d'hiver et les six mois d'été.

	Hiver	Été
Grille E-O / N-S	3,2	15,5
Grille NE-SO / SE-NO	5,6	12,4

Illustration 2 : Durée journalière moyenne en heures pour laquelle le soleil direct atteint au moins un point du sol pour deux grilles urbaines de maille carrée.

Valeurs théoriques calculées pour une fraction d'insolation = 1 et pour la règle de prospect $H = L$

La grille à 45° présente néanmoins l'inconvénient de favoriser les orientations sud-est et sud-ouest, cette dernière étant plus critique pour le confort d'été, car plus difficile à protéger du rayonnement solaire aux heures les plus chaudes de la journée.

Pour la grille respectant les points cardinaux, on pourra appliquer deux types d'implantation des constructions afin de satisfaire la recherche d'une exposition sud préférentielle :

- En bordure de voie pour les rues d'axe est-ouest ;
- En épi par rapport aux voies d'axe nord-sud.

2. Implantation des constructions

La recherche de l'ensoleillement des façades sud peut conduire à dilater considérablement le tissu urbain, et en particulier les largeurs de rues d'axe est-ouest, si les deux côtés sont construits. Cette configuration introduit une difficulté dans l'aménagement des séjours, lorsque la façade sud se trouve côté rue.

La hauteur du soleil étant inférieure à 20° au zénith (midi solaire) au solstice d'hiver, la distance entre deux façades en vis-à-vis devrait atteindre 2,75 fois la hauteur des façades.



Illustration 3 : Coupe d'une voirie

Schéma d'après document de l'agence SEURA. Largeur des trottoirs : 2x2,50 m, bande plantée de 1,50 m, piste cyclable de 1,50 m, voie de 5 mètres minimum (total : 13 mètres). Les plantations peuvent participer à la protection du soleil en été (trottoir exposé au sud)

PLAN DE MASSE ET ENSOLEILLEMENT



© Photo : Anne-Claire SALOU.

Illustration 4 : Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne).

Exemple de voie d'axe nord sud, bordée de bâtiments en continu, mais générant des volumes exposés au sud, en épi par rapport à la voie.

Pour une hauteur de façade en R+1, la largeur de la rue devrait atteindre 10 à 13 mètres, ce qui permet d'aménager de larges trottoirs, une piste cyclable et une bande plantée, qui devrait cependant encore être élargie pour assurer une fonction de noue végétale.

La configuration en épi, si elle aboutit à des distances entre constructions du même ordre, génère des espaces de jardins intérieurs, privés ou collectifs, sur lesquels peuvent s'ouvrir largement les séjours. Le projet de 31 maisons « Passivhaus » à Saint-Priest (69) du Groupe MCP Promotion adopte cette configuration. Dans ce cas, les façades nord sont aveugles pour respecter l'intimité des jardins protégés de la rue par les locaux annexes, qui

forment un front bâti quasi continu (pignons, entrées, garages, etc.).

Pour des ensembles plus denses, comme à Sutton (Angleterre), le gabarit des espaces au nord est ajusté sur la hauteur du soleil en hiver, et abrite les espaces de travail, qui bénéficient ainsi d'éclairage naturel sous forme de puits de lumière légèrement inclinés vers le nord, ce qui limite les surchauffes en été (sous réserve de mesures de protection solaires complémentaires).

1.1



© Photo : Anne-Claire SALOU.

Illustration 5 : BedZED, Sutton (Angleterre).

Insertion d'espaces de travail, avec sheds vers le nord. Arch. Bill Dunster.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Avantages

- L'ensoleillement contribue au confort des piétons en saison froide, il est mieux réparti entre les deux trottoirs pour les rues d'axe nord-sud ;
- Les expositions sud à l'échelle de l'opération favorisent une conception bioclimatique pour l'ensemble des logements.

Points de vigilance

- Risque de « dé-densification » du tissu urbain, qui peut être atténué en valorisant les espaces au nord ;

- Risque d'orientation systématique au sud, qui peut être atténué en associant plusieurs configurations : constructions parallèles aux voies E-O, et construction en épi sur les voies N-S.

VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- L'orientation préférentielle au sud pour les logements permet de réduire les coûts de chauffage par une bonne exposition au soleil d'hiver ;
- Les coûts de voirie peuvent également être maîtrisés par une optimisation de la forme urbaine (tracé des voies, prospect, etc.).

VOLET DESCRIPTIF

Le choix d'une typologie de logement relève d'un grand nombre d'enjeux environnementaux. Les typologies envisagées comprennent, selon le degré de densité :

- le pavillon isolé ;
- les maisons jumelées ;
- les maisons de ville en R+1 ou en R+2 ;
- les duplex superposés ;
- les immeubles collectifs.

De nombreuses formes d'habitat intermédiaires entre le pavillon et l'immeuble collectif en barre ou en tour ont été développées en Europe et dans le monde, mais elles demeurent peu nombreuses en France.

On pourra s'intéresser en particulier aux typologies du collectif de type villa urbaine, éventuellement sous forme pyramidale, et de l'individuel « machiya » du Japon classique (17^{ème} au 20^{ème} siècle).

1. La référence historique à la maison de ville

Le modèle d'habitation japonais de la machiya apparaît comme « soutenable » encore aujourd'hui, en raison de ses caractéristiques particulières. Il s'agit de maisons de ville à structure originale, comprenant divers jardins et cours qui assurent la continuité de l'espace ouvert, depuis l'îlot, jusqu'à l'espace naturel périphérique.

L'agencement en série des machiya dans l'espace urbain induit une manière d'habiter collectivement dans la ville, grâce à l'équilibre maintenu entre l'indépendance du logement et la collectivité. Deux raisons supplémentaires font de la machiya un modèle d'habitat soutenable :

- L'utilisation de l'espace permet d'atteindre des densités urbaines élevées à partir d'habitations individuelles ;
- Le tissu urbain, d'une maille d'environ 72 mètres x 36 mètres, est compatible avec des activités économiques diverses.

Des parcelles très profondes permettent la recherche d'intimité. On retrouve cette configuration dans nombre de villes occidentales qui se sont développées sur des parcelles agricoles.

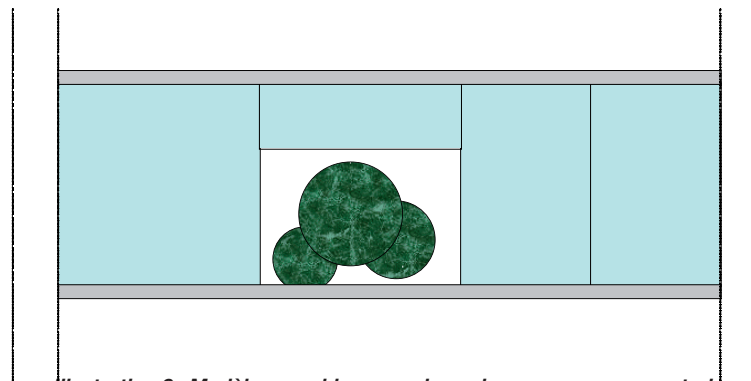


Illustration 6 : Modèle « machiya » sur deux niveaux avec cour centrale

2. Densités urbaines et consommation de territoire

En 2003, 198.000 maisons individuelles ont été construites en métropole, dont 75% en diffus et 25% en lotissement. En dix ans (de 1995 à 2005), alors que la population a crû de 4%, les terres urbanisées se sont étendues de + 17%, soit quatre fois plus vite ; elles ont doublé depuis 1945. Les routes et parkings occupent 3% du territoire .

La consommation de territoire dépend de la forme urbaine développée :

- Individuel groupé en lotissement : en moyenne 10 logements/ha ;
- Individuel dense, avec des maisons accolées par groupes : plus de 20 logements/ha ;
- Ensemble de collectifs regroupés sur un îlot : de 50 à 150 logements/ha.

La maison de ville permet des densités intermédiaires relativement élevées. À Montréal par exemple, si on considère une portion de voie de 5 mètres associée à la façade sur rue, on trouve une densité de 53 logements/ha, avec des parcelles de 6 x 26 m.

Ainsi, pour satisfaire la demande de 1 000 logements par an, l'étalement urbain consommera :

- 100 ha en individuel groupé en lotissement ;
- 50 ha avec des maisons accolées par groupes ;
- 20 ha en maisons de ville denses ;
- 6 à 7 ha en collectifs regroupés en îlots.

À l'échelle de l'organisation urbaine, un autre impact de l'étalement concerne la dépendance à la voiture particulière pour les trajets quotidiens. La densité se rapporte également à la possibilité de desserte par les transports en commun dont la rentabilité requiert une densité d'au moins 37,5 logements par hectare (chiffres canadiens). Une densité supérieure permet aussi d'accroître la quantité d'espaces verts publics.

Individuel groupé en lotissement (10 à 20 logts/ha)



Illustration 7 : Le Clos des Jades, Cesson (77).
Source : EPA Sénart
Atelier BLM-SNC Marignan Résidences.

Individuel dense (20 à 30 logts/ha)



Illustration 8 : La densité des formes du développement résidentiel, 2004.
Source : Document CERTU.

Maisons de ville ou petit collectif (50 à 70 logts/ha)



Illustration 9 : Ilot du quartier de Lille Moulins (59) (vue ext. et int. de l'îlot).
57 maisons de ville sur 1,03 ha, sur des parcelles de 5,30 m de large, réservant un espace public de 3.400 m². (Projet de E. Bouillot et T. Donnadieu. Source : agence TGT).

3. Analyse morphologique et besoins de chauffage

Deux paramètres morphologiques principaux interviennent dans l'estimation des besoins de chauffage :

- La surface de déperditions thermiques par l'enveloppe rapportée à la surface habitable (qui exprime le développé de façades et de toitures) – Se/Sp ;
- Le taux de vitrages sud, qui exprime la capacité à réduire les besoins par captation du rayonnement solaire.

Le second paramètre apporte une correction de 5 à 10% dans les conditions actuelles d'exigences d'isolation du bâti et de performances des vitrages. Les écarts de développé d'enveloppe sont plus importants entre les cas extrêmes.

La comparaison suivante est effectuée sur la base d'un module de 50 m² (6,25 m x 8 m), l'assemblage de deux modules formant soit un pavillon de plain pied (1 et 2), soit un

logement en duplex R+1 (3 et 4), toujours de 100 m² (il s'agit d'une surface hors œuvre brute, incluant les épaisseurs des murs). Six configurations sont étudiées, le calcul des surfaces d'enveloppe extérieure s'effectuant sur la base de série de 10 constructions en bande pour les maisons de ville (5 et 6).

Les extrêmes varient d'un rapport de 1 à 2 entre la maison isolée et les duplex superposés en maisons de ville, si le sol sur terre plein est exclu des surfaces déperditives, et de 1 à 2,5 en prenant en compte le sol, considéré au même titre que les autres parois lorsque des performances élevées sont recherchées.

Le modèle « machiya » (parcelle de 6,25 x 20,25 m avec patio ventral de 6,25 x 4,25 m) sur deux niveaux (200 m² habitables) obtient, pour des bandes de 10 modules mitoyens, une performance proche de celle des maisons de ville en R+1, en raison de plus nombreuses découpes.

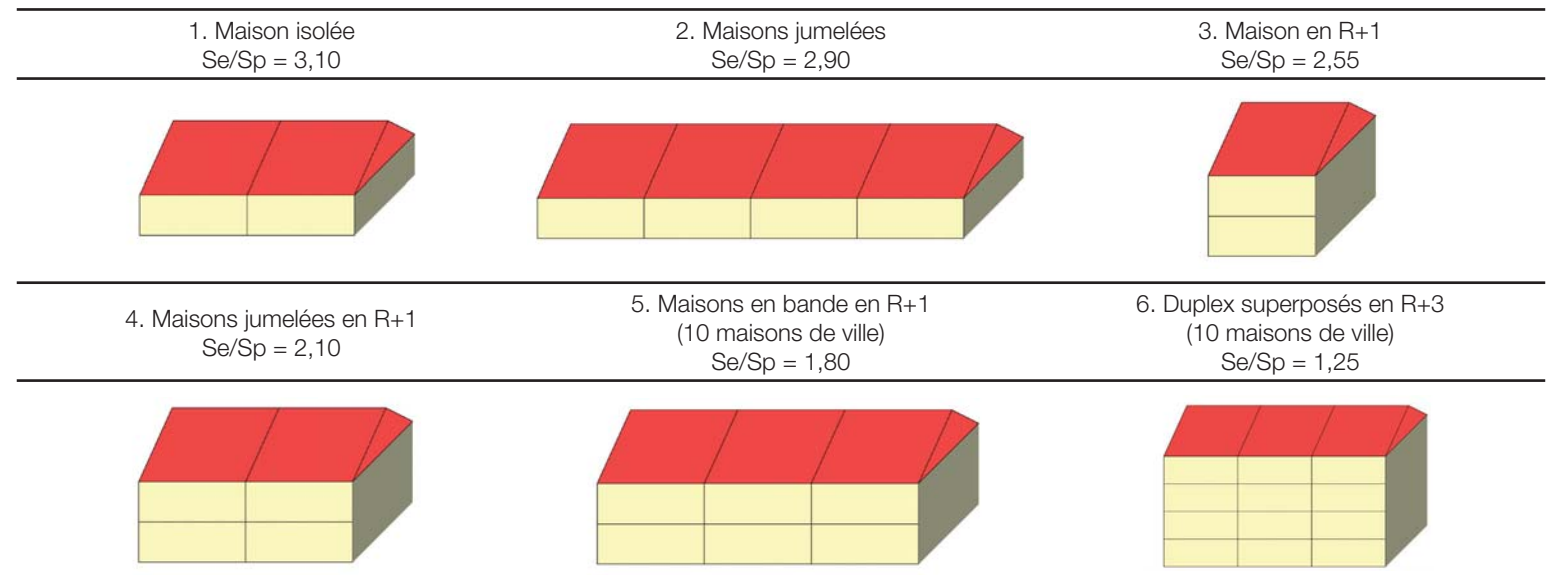


Illustration 10 : Valeurs du rapport Senveloppe / Splancher pour six configurations de logements (sol inclus).

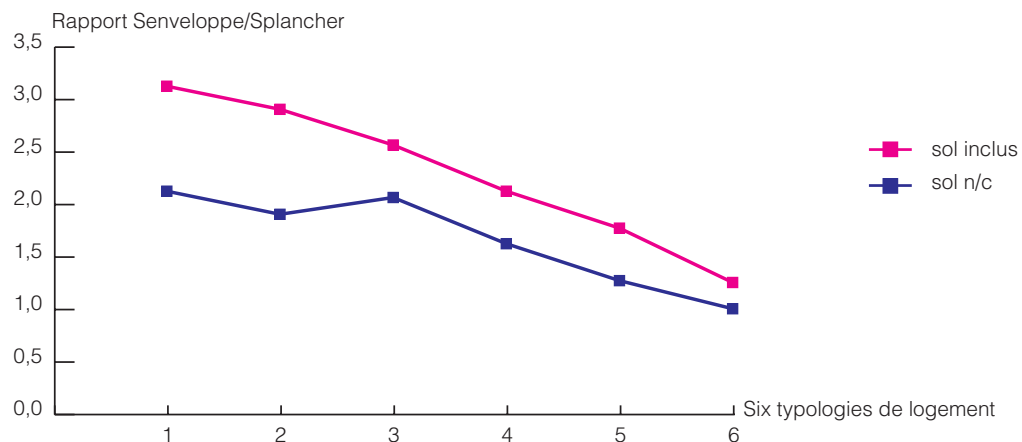


Illustration 11 : Rapport surface de l'enveloppe / surface de plancher pour 6 configurations de logement.

Les besoins de chauffage sont estimés sur les bases suivantes :

- Classe d'inertie = forte ;
- Parois verticales : 12 cm d'isolant, $U = 0,315 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, isolation par l'extérieur avec traitement des ponts thermiques ;
- Toiture : 20 cm d'isolant, $U = 0,170 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$;
- Sol sur terre plein : $U = 0,240 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$;
- Vitrage : $U = 1,50 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$;
- Répartition des vitrages: 50% sud, 50% nord, sur la base de Svitr/Shab = 0,30 ;
- Taux de renouvellement d'air : 0,6 vol/h.

Nb : U = Coefficient de déperdition thermique

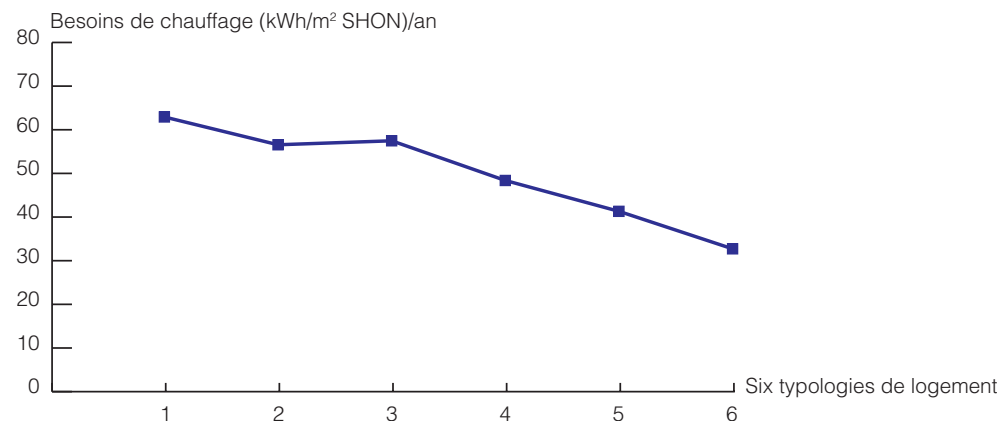


Illustration 12 : Besoins de chauffage pour 6 configurations de logement.

Compte tenu des faibles taux de renouvellement d'air, les besoins de chauffage sont fortement liés aux surfaces déperditives de l'enveloppe. Ainsi, à caractéristiques d'isolation identiques, le modèle de maisons de ville en duplex superposé (type 6) présente des besoins de chauffage unitaires (par mètre carré habitable) réduits de moitié par rapport au modèle de base du pavillon en rez-de-chaussée, sans effet de mitoyenneté (type 1). Les consommations dépendent également du

rendement de l'installation de chauffage. Ainsi, le bois peut conduire à des consommations élevées en raison d'un rendement de génération inférieur à celui de chaudières gaz ou du chauffage électrique. Cependant, la comparaison des niveaux d'émission de CO_2 est à son avantage.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Avantages apportés par la continuité des formes urbaines et par l'augmentation du nombre d'étages

- Meilleure performance bioclimatique :
 - Limitation des surfaces de déperditions thermiques en hiver (rapport $S_{\text{enveloppe}}/S_{\text{habitable}}$ plus faible), donc des besoins de chauffage.
 - Limitation en % des situations sous toitures, plus vulnérables en confort d'été ;
- Limitation des réseaux et voiries (et réduction des fuites d'eau, croissant avec la longueur des conduites) ;
- Mutualisation des emplacements des bacs de stockage d'ordures ménagères, diminution des charges de collecte.

Inconvénients et faiblesses dues à la densité

- Plus grande continuité acoustique des structures, nécessitant un bon traitement des nuisances sonores ;
- Difficulté à bénéficier de la ventilation transversale dans les gabarits importants d'immeubles collectifs de type « plots », avec noyau central ;
- Difficulté à bénéficier d'un éclairage naturel pour les circulations centrales et les salles de bains, si les volumétries et les principes de distribution des appartements sont imposés par les contraintes de parcelle (forme, accès) ;
- Ressources du puits provençal pour le confort d'été limitées par le coefficient d'occupation du sol (COS : surface de terrain ou de sous-sol disponible par mètre de carré habitable).

VOLET CÔÛT GLOBAL

- Avantages/inconvénients: deux niveaux d'analyse souvent opposés, pour le ménage et pour la collectivité ;
- Les inconvénients de la faible densité (extension des réseaux, coût des services) sont majoritairement reportés sur la collectivité ;
- En première analyse, les niveaux de prestations environnementales élevés favorisent les densités moyennes, dans la limite du petit collectif bénéficiant d'un traitement approprié, de l'acoustique, de l'éclairage naturel et de la ventilation traversante.

Les différents postes du coût global

Investissement :

- Le supplément de budget consacré aux voiries et réseaux dans les lotissements pavillonnaires, en comparaison des formes urbaines plus denses, rend plus difficile la prise en compte des investissements nécessaires à la « neutralité en carbone » ;
- L'investissement dans une enveloppe performante décroît avec la contiguïté entre logements : les surfaces verticales sont réduites de 30% entre le pavillon isolé en rez-de-chaussée et la maison de ville en R+1 (en rangée de 10 maisons). Cette différence pourra faciliter l'adoption des techniques d'isolation par l'extérieur, les surfaces de toit et de sol étant par ailleurs réduites de 50%.

Économie de charges :

Les besoins de chauffage peuvent être réduits de moitié par la continuité et la compacité des formes urbaines.

VOLET DESCRIPTIF

1. Principes

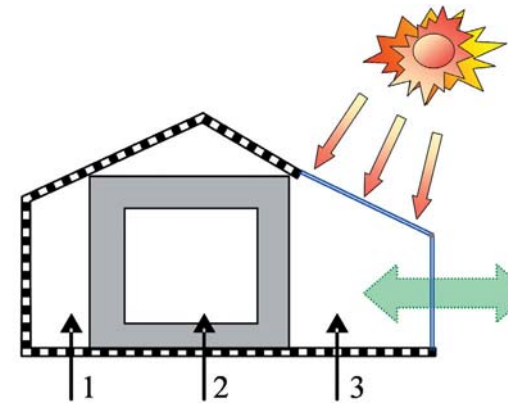
L'architecture bioclimatique permet de réduire sensiblement les besoins énergétiques en partant de principes de base : orientation privilégiée au sud, façades largement vitrées, formes compactes, matériaux de forte inertie thermique, etc. Le seul fait de concevoir une habitation en tenant compte de l'orientation et de l'ensoleillement, diminue de 15 à 30% les besoins de chauffage et donc la consommation d'énergie.

Quelques principes doivent être appliqués dès la phase de conception en plan masse :

- Orientations préférentielles du bâti (vitrages sud, pan de toiture sud +/- 25° en azimut) ;
- Prospects permettant un captage du rayonnement solaire optimal en hiver ;
- Bonne protection aux vents dominants en hiver (masques naturels ou construits, volumes tampons, faibles ouvertures) ;

- Surfaces de toiture sud pouvant recevoir les panneaux solaires thermiques pour l'eau chaude sanitaire (ECS) : 4 à 5 m² par logement, des panneaux photovoltaïques (PV) complétant éventuellement les équipements.

Un des points importants consiste, dans le cas de volumes captants, à gérer et distribuer l'air chaud, car les niveaux de températures (air et parois) sont très différenciés côté sud et côté nord.



- (1) les volumes tampons au nord protègent l'espace central des déperditions thermiques, et du vent froid d'hiver ;
- (2) l'espace central, compact et à forte inertie reçoit la chaleur captée (transmission par conduction et convection) ;
- (3) les volumes vitrés au sud captent le soleil pendant la saison froide (vérandas, serres et jardins d'hiver).

Illustration 13 : Principes de la maison solaire passive
Source : SOLENER.

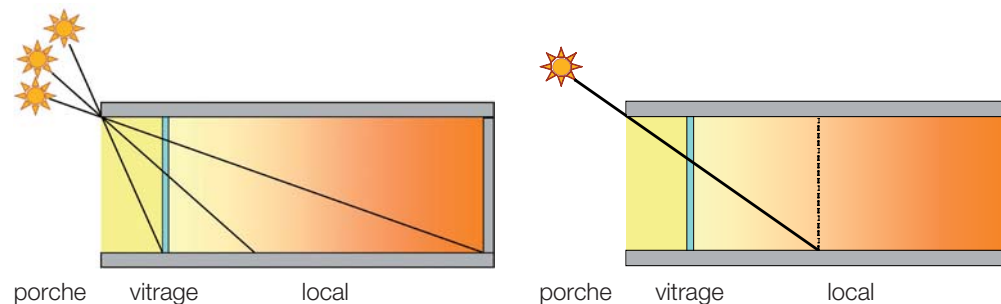
2. Façades et protections solaires

L'orientation sud est préférée aux autres orientations, en raison de la course du soleil :

- En saison de chauffage (octobre à mars), l'énergie solaire reçue par les vitrages sud dépasse d'environ 20% celle qui atteint les façades sud-est ou sud-ouest, et de plus de 70% celle qui est reçue en est ou ouest ;

- À l'inverse, en saison d'été (juin à août), les façades est, sud-est, sud-ouest et ouest reçoivent de 11% à 12% d'irradiation supplémentaire, comparativement à la façade sud.

Les protections solaires fixes, de type auvent ou débord de toiture, sont également plus efficaces en façade sud.



Effet d'un auvent dimensionné pour le solstice d'été, pour un vitrage sud.

Position du soleil à midi solaire pour les trois situations caractéristiques : solstice d'hiver, équinoxes, solstice d'été.

Illustration 15 : Effet des protections solaires.

Local identique, orienté à l'ouest.

Position du soleil à 16h30 solaire au solstice d'été (le soleil est dans l'axe du local). L'avancée de l'auvent devrait être trois fois plus prononcée pour s'opposer à la pénétration du rayonnement solaire direct dans le local.

Moyennes mensuelles de l'irradiation solaire incidente en kWh/m².j

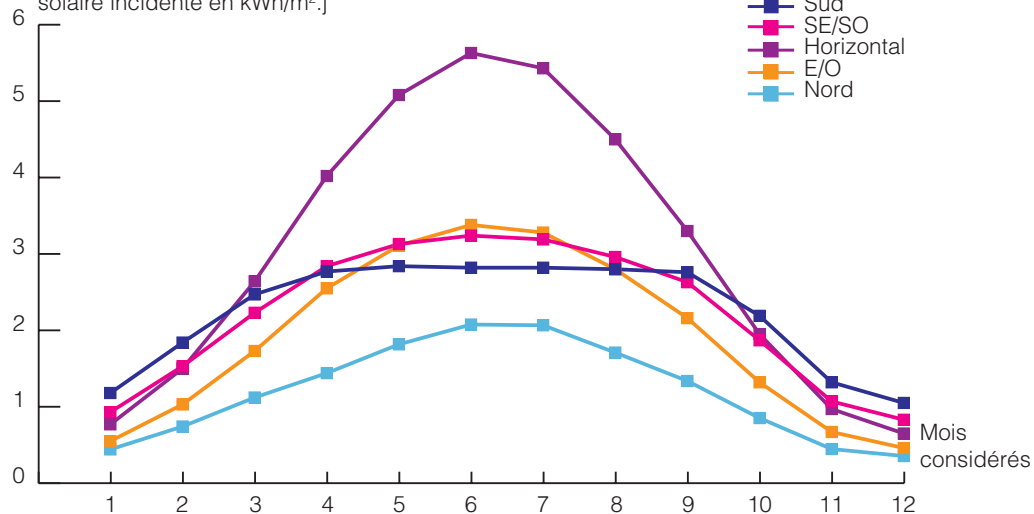


Illustration 14 : Irradiation solaire incidente sur différentes façades.

Source : ATLAS SOLAIRE FRANÇAIS, Latitude 49°N.



Illustration 16 : Volets bois persiennés conjugués à une loggia en façade sud, immeuble du quartier Vauban, Fribourg (Allemagne).

© Photo : Anne-Claire SALOU.

3. Aspects paysagers

Pour le confort d'été et de mi-saison, une attention particulière doit être accordée au traitement paysager : les revêtements de sols aux abords du logement en façades ensoleillées doivent éviter la réflexion du rayonnement solaire, ce qui atténuerait l'efficacité des protections solaires. Un sol végétal réduit considérablement la part du flux incident qui est renvoyé dans toutes les directions par réflexion et diffusion, ce qu'exprime l'albédo. Il faut cependant écarter les revêtements sombres, qui absorbent le rayonnement solaire et émettent du rayonnement infrarouge : l'herbe fraîche est le meilleur compromis, car le rayonnement absorbé (80%) est utilisé par la photosynthèse et l'évapotranspiration.

La végétation doit également contribuer à la protection des façades exposées en été, afin de ménager des zones d'ombres à proximité des pièces de vie.

herbe fraîche	0.20
terre cultivée nue	0.16
terre sableuse	0,20
sable clair	0.32
asphalte	0.19
glace	0,30
neige fraîche	0.85

Illustration 17 : Valeurs d'albédo de différentes surfaces.

4. Exemples en France

Hameau bioclimatique, à Boqueho (Côtes d'Armor), d'une dizaine de maisons.

La forme compacte adoptée pour les logements facilite l'obtention d'une performance proche du label « Passivhaus », pour un surcoût initial estimé à 10%, qui devrait être rapidement amorti par les économies d'énergie. Le projet intègre la gestion collective, visant à « réinventer une manière de vivre ensemble », qui sera matérialisée par une charte du « bien vivre ensemble » en projet. Le hameau est situé à deux pas du bourg pour éviter le recours à la voiture.

Projet de 31 maisons « Passivhaus » sur la ZAC des Hauts de Feuilly à Saint-Priest (69).

Le Groupe MCP Promotion a entrepris un projet exemplaire à l'échelle nationale, en proposant des maisons de ville répondant à des performances équivalentes au label Passivhaus. Afin d'atteindre un objectif de 15 kWh/m²/an maximum pour le chauffage et 25 kWh/m²/an pour l'ECS, une méthode de conception globale a été mise en œuvre, en privilégiant un travail d'équipe dès l'origine

du projet (Atelier Roche, Ossabois, TRIBU, Cabinet Olivier Sidler, Agence Didier Larue Sud, Bastide & Bondoux, Medieco).

Trois principes sont retenus :

- La réduction de tous les flux du bâtiment : énergie (grâce à une conception architecturale adaptée et une isolation renforcée), eau et matières premières ;
- Le développement d'une approche « matériaux » fondée sur la mise en œuvre de produits à faible impact sur la santé et sur l'environnement ;
- L'optimisation des confort visuel, acoustique, d'hiver et d'été. Les très faibles besoins de chauffage prévus seront couverts par un système de récupération de chaleur sur l'air extrait. Un accompagnement pédagogique des futurs occupants est également prévu : vivre dans un logement à très faible consommation suppose une adaptation des comportements des usagers.

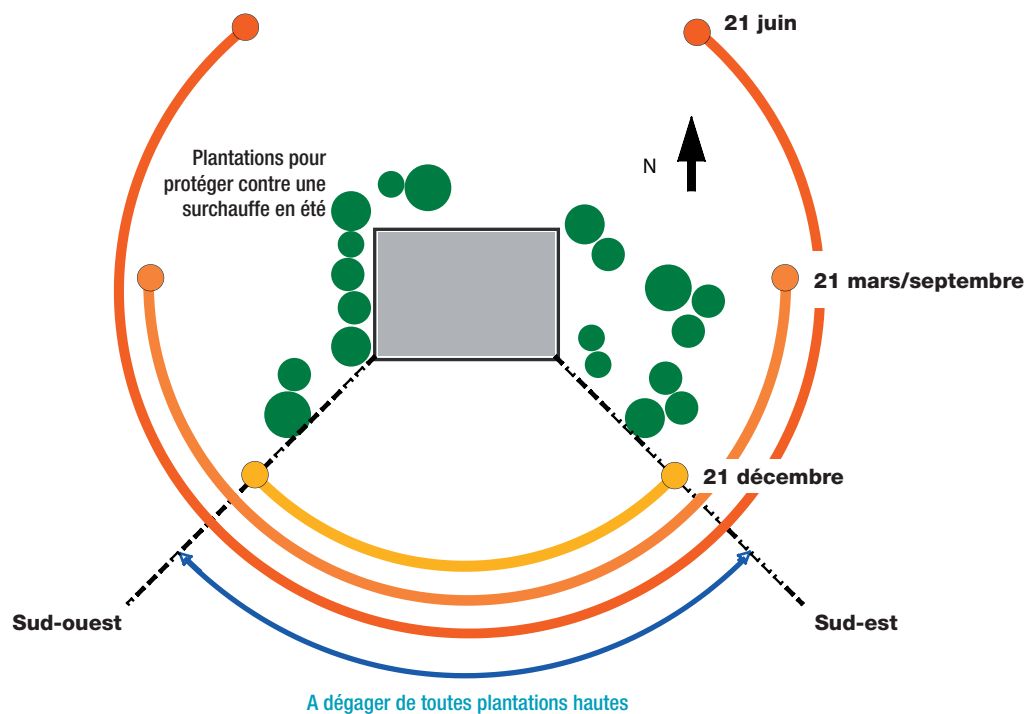


Illustration 18 : Schéma de conception bioclimatique appliquée au label Passivhaus.
 Les protections végétales, écartées pour le secteur sud-est à sud-ouest, pourraient s'avérer utiles en été dans la région Ile-de-France – Schéma d'après PHI & Passivhaus Luxembourg.

VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- C'est un système peu coûteux et efficace pour réaliser des économies d'énergie et améliorer le confort, puisqu'il se résume à la prise en compte, en amont du projet, des aspects bioclimatiques dès la conception du plan masse, par une approche environnementale (ou bioclimatique) de l'urbanisme.

Points de vigilance

- Nécessité d'une bonne cohérence dans la conception (volumétrie, orientations, matériaux, protections solaires, gestion de l'air), nécessitant une compétence en thermique (par mise en œuvre d'une simulation dynamique de préférence).

Les différents postes du coût global

Investissement :

Les règles volumétriques de compacité tendent plutôt à réduire les surfaces d'enveloppe à volume donné, donc les coûts associés. La végétation doit être mise en terre le plus rapidement possible, à partir de plants présentant un développement suffisant, ce qui peut représenter un investissement important.

Entretien maintenance :

Aucun entretien ou maintenance spécifique n'est nécessaire, en dehors des protections solaires extérieures, en particulier si elles sont mobiles.

Économie de charges :

Principalement réalisées sur le poste chauffage, elles peuvent représenter de 10 à 30% d'économie.

VOLET DESCRIPTIF

Le local attenant au logement est traditionnellement affecté au stationnement d'un ou de plusieurs véhicules, et éventuellement aux équipements de lavage du linge (lave-linge, sèche-linge). Le temps accordé aux activités de loisir s'étant accru considérablement en quelques décennies, les besoins d'espace d'activité et de rangement (salle de jeux, local de bricolage, stockage du matériel de sport, de jardinage) ont peu à peu empiété sur la place occupée par le véhicule.

Par ailleurs, en raison de l'importance croissante accordée aux questions environnementales, les fonctions des locaux annexes se sont élargies. Il est aujourd'hui nécessaire de disposer d'espaces destinés à faciliter les gestes quotidiens liés à la gestion des ressources et qui concernent :

- Le tri des déchets et le stockage en vue de la collecte sélective ;
- L'utilisation quotidienne du vélo, en alternative à la voiture particulière pour les déplacements de proximité ;
- Le séchage du linge dans un local aéré, sans recours à l'équipement électroménager, car c'est un poste gros consommateur d'électricité ;

- Le stockage du bois, pour l'utilisation en insert ou en poêle à bois, qui constitue un appoint significatif dans le cas d'un chauffage électrique (exemple du plancher radiant électrique, PRE) ; compte tenu de l'élévation du coût des énergies fossiles, le bois est devenu le combustible le plus économique, à condition de l'employer dans des appareils de très bon rendement et de faible émission de particules.

Toutes ces fonctions doivent être analysées, afin de faire l'objet de réponses appropriées. Les critères de conception reposent principalement sur les points suivants :

- Une taille suffisante pour les fonctions abritées ;
- Une facilité d'accès selon les trajets les plus appropriés ;
- Une facilité d'entretien et de maintenance ;
- Des conditions de confort et de santé suffisantes (lumière et ventilation naturelles, températures d'air) ;
- Un impact environnemental réduit envers le voisinage immédiat, qu'il s'agisse du logement lui-même ou des parcelles voisines (nuisances sonores et olfactives) ;

- Une flexibilité des usages (exemple du garage, si le nombre de véhicules abrités est réduit) ;
- Une contribution à la qualité spatiale et à la performance bioclimatique du logement : protection climatique en volume tampon au nord, masque vis-à-vis du rayonnement solaire à l'ouest, marquage de la frontière public – privé de la parcelle, réduction des vis-à-vis, etc.

La question des locaux annexes, fortement liée au mode de vie actuel, introduit le débat sur le produit logement : en quoi les logements projetés aujourd'hui, apportent-ils des réponses à des aspirations contemporaines d'habiter, dans une forme urbaine appropriée ?



Illustration 19 : Stationnement engazonné, détail – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne).

1. Le stationnement des véhicules

Les typologies de garages et de surfaces de stationnement, multiples, comprennent également les solutions collectives, à l'échelle d'une opération.

Surface de stationnement extérieure au logement

Cette solution, qu'elle soit ou non associée à un garage, permet de limiter la minéralisation du sol.

Inconvénient

- Les pavés poreux et les joints engazonnés peuvent devenir imperméables au terme de cinq ans.

Pergola ou auvent

Un abri d'une place, matérialisé sous forme légère (pergola ou auvent) est une configuration courante pour les maisons de ville ;

Avantage

- Coût réduit, minéralisation totale du sol non indispensable ;

Inconvénients

- Protection climatique limitée pour la pergola (ombre liée à la végétation) ;
- Usage complémentaire limité éventuellement au stockage du bois pour l'auvent.

Garage attenant sur cour, maison de ville

Un volume construit d'une place (ou plus rarement deux places), attenant à l'entrée, peut matérialiser le front bâti, et permet l'ajustement de la forme urbaine à l'orientation des voies : dans le cas de voies d'axe nord-sud, le logement peut être en épi (avec pignon sur rue), les garages et les entrées assurant la continuité du front bâti.

Conception du garage

Prévoir dans certains cas la reconversion en local d'activité attenant à la maison (atelier par exemple), à condition de disposer de lumière naturelle (des châssis de toits pouvant être

ajoutés si besoin) et de distribution de chauffage, dans de bonnes conditions de confort et d'économie (isolation extérieure ou intérieure).

Avantages des volumes fermés

- Meilleure protection contre les intempéries et le vol ;
- Possibilités de reconversion multiples ;
- Création possible d'une zone tampon sur la rue.

Points de vigilances

- Coût plus élevé ;
- Artificialisation du sol supérieure, qui peut être atténuée par le traitement de la toiture en surface végétalisées.

Des modèles préfabriqués sont disponibles en Allemagne, avec collecteur d'eaux de pluie intégrés, ou pouvant être semi-enterrés, avec toitures végétalisées.

Intégration au volume bâti

Dans le cas de lotissement classique avec maisons isolées, le garage peut être intégré au volume général, ce qui facilite les liaisons avec le logement.

Avantages

- Volume tampon pouvant réduire les surfaces donnant directement sur l'extérieur (le taux de réduction des déperditions par cette partie d'enveloppe étant limité à 10 ou 20% entre le volume chauffé et le volume non chauffé du garage) ;
- Possibilité d'inclure différentes fonctions, directement ou en annexe, si le volume est suffisant (chaudière, buanderie et séchage du linge, stockage du bois, vélo, matériel de jardin, etc.) ;
- Possibilité de continuité du front bâti, en associant deux garages par symétrie, ou en alternant logements et garages.

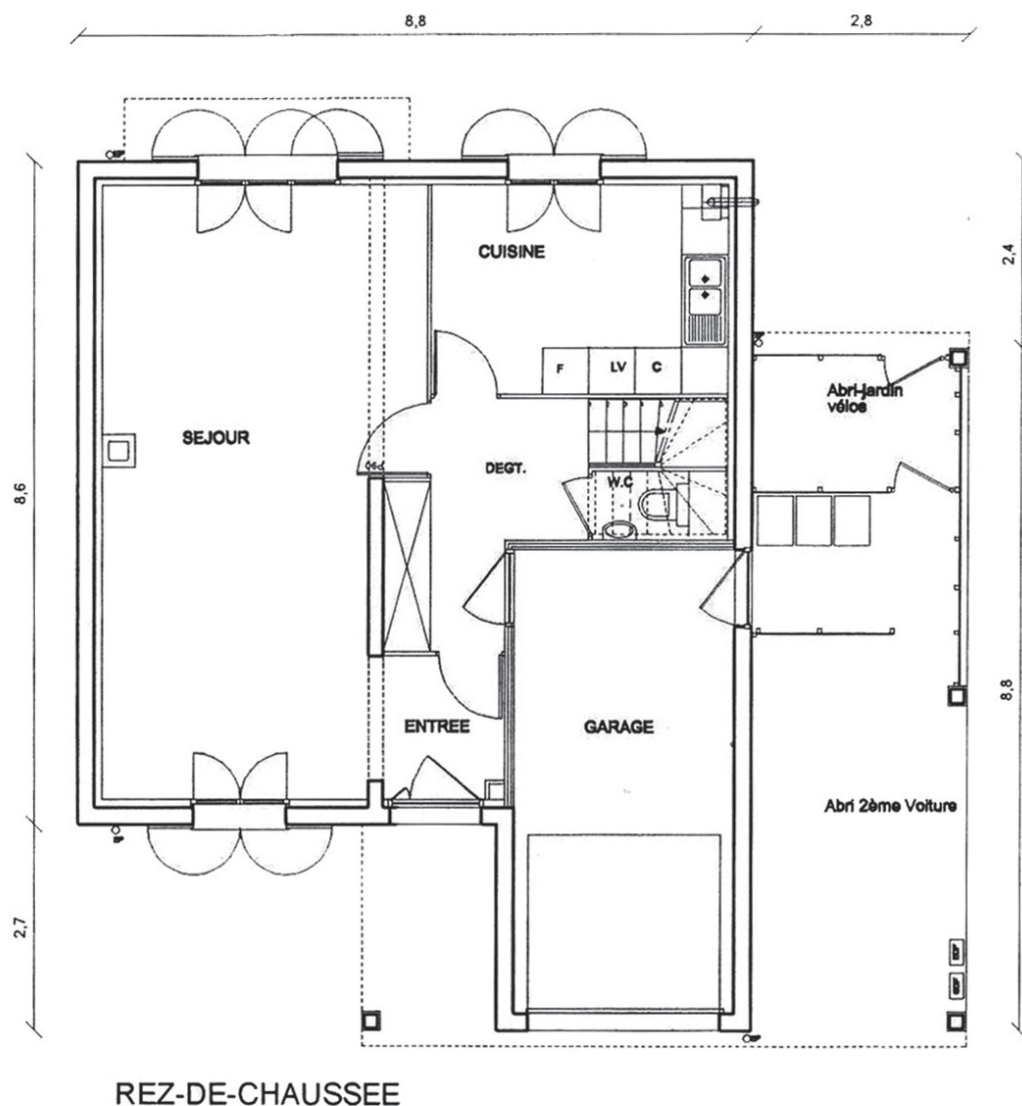
Points de vigilance

- Considérer également les nuisances liées à la multiplication des mouvements de voiture à l'entrée des parcelles.



© Photo : Anne-Claire SALOU.

Illustration 20 : Stationnement sous pergola – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne).



Solutions collectives

Le stationnement des véhicules en surfaces regroupées (garages ou parkings collectifs) à l'extérieur de la zone résidentielle permet d'affirmer le caractère piétonnier du quartier, où les jeux d'enfants peuvent trouver place en écartant les risques d'accidents. Une des premières réalisations pilote est celle de Louvain-la-Neuve (parkings en petites poches entourées de talus plantés). Le quartier Vauban à Fribourg est également équipé d'un parking collectif couvert de panneaux photo-voltaïques.

Avantages

- Réduction des coûts, des surfaces minéralisées, des nuisances générées par les mouvements quotidiens.

Point de vigilance

- Plus grande vulnérabilité aux dégradations, dépendant du mode de contrôle collectif.

Illustration 21 : Garage et espaces annexes. Opération Marignan, Cesson (77), plan de Rez-de-chaussée.

Source : EPA Sénart- Atelier BLM-SNC Marignan Résidences.

Trois possibilités de stationnement VP : Garage fermé (3,00 x 5,30 m), porche (3,00 x 4,50 m), surface extérieure (3,00 x 5,50 m). Espaces de rangements associés (bois, vélos, matériels de jardin : 2 fois 1,50 x 3,00 m).

Surface parcelle : 12,8 x 25 m = 320 m².



© Photo : Philippe LAUJUS.

Illustration 22 : Parking collectif enterré – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne).

2. Les annexes à usage multiple

La conception et la localisation des locaux annexes jouent un rôle important dans la modification des comportements environnementaux. Ces locaux peuvent être situés en continuité avec le logement, d'accès direct, ou à l'inverse, placés en continuité avec l'espace public, et assurer la transition public-privé. La première solution permet d'utiliser les locaux annexes comme volumes tampons, éventuellement implantés au nord.

À l'inverse, la deuxième attitude prévaut dans les écoquartiers, afin de conférer une empreinte domestique à l'espace public (lieu des déplacements doux, éventuellement des jeux d'enfants, etc.).



© Photo : Anne-Claire SALIOU.

Illustration 23 : Parking collectif avec toiture photovoltaïque – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne).



© Photo : Anne-Claire SALIOU.

Illustration 24 : Locaux annexes participant à la privatisation des espaces extérieurs attenants au logement – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne).

3. Le stockage des déchets pour collecte sélective

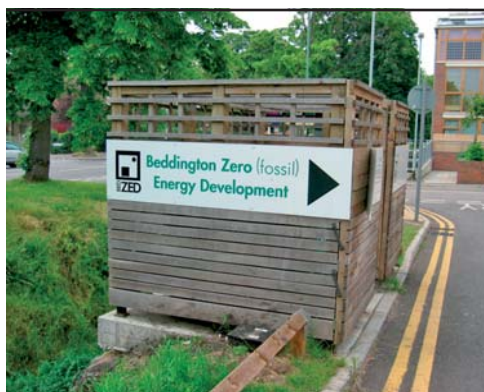
Le regroupement des aires de stockage des conteneurs d'ordures ménagères par îlot facilite et réduit les charges de collecte. Les aires de stockage doivent être implantées sur les trajets empruntés quotidiennement par les piétons ; elles peuvent être ou non couvertes. Les abris permettent de limiter les odeurs des bacs en été, sous l'action du rayonnement solaire ; ils doivent alors être parfaitement aérés. Des systèmes de compostage peuvent également être installés, soit à la parcelle, soit dans

les espaces collectifs. La quantité de déchets de jardins + légumes + fruits est d'environ 90 kg/pers./an. Pour une collecte par la municipalité, le volume doit être de 0,25 m³ par logement.

Pour une production de compost, il faut prévoir :

- Une zone ombragée, et protégée de la pluie ;
- Une installation comprenant au moins trois compartiments ;
- Un remplissage alternant déchets secs (bruns) et déchets humides (verts), ce qui réduit les odeurs.

Pour les logements pourvus de jardins de surface inférieure à 200 m², un volume de 200 à 500 litres est suffisant.



© Photo : ARENE.

Illustration 25 : Edicules de stockage des bacs de tri sélectif – BedZED (Angleterre).



© Photo : ARENE.

Illustration 26 : Stockage des bacs de tri sous pergolas – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne).

4. Les abris vélo

Un local vélo devrait avoir une taille minimale 3m². Dans l'habitat collectif, une surface de 1 à 1,5 m² par logement est recommandée par la Communauté Urbaine de Strasbourg. A défaut de local affecté à chaque logement, il est possible d'implanter des boîtes collectives, le plus souvent entourés par une cloison ou un grillage, protégés des intempéries, bien éclairés.

Un emplacement vélo sous abri peut coûter de 250 à 500 €, selon la qualité du modèle retenu (Source : Geneviève Laferrère, Stationner en ville : quelle place pour le vélo ? 2002, <http://www.echosvelo.net>).

Les principes à retenir sont les suivants :

- Pouvoir attacher le cadre et une roue de vélo à un point fixe ;
- Pouvoir accéder aisément et rapidement au garage à vélo (local accessible, à niveau, avec portes faciles à ouvrir en tenant le vélo par la main).



© Photo : ARENE.

Illustration 27 : Abri vélo et bacs de collecte de déchets, Vesterbro – Copenhague (Danemark).



© Photo : ARENE.

Illustration 28 : Abri vélo – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne).

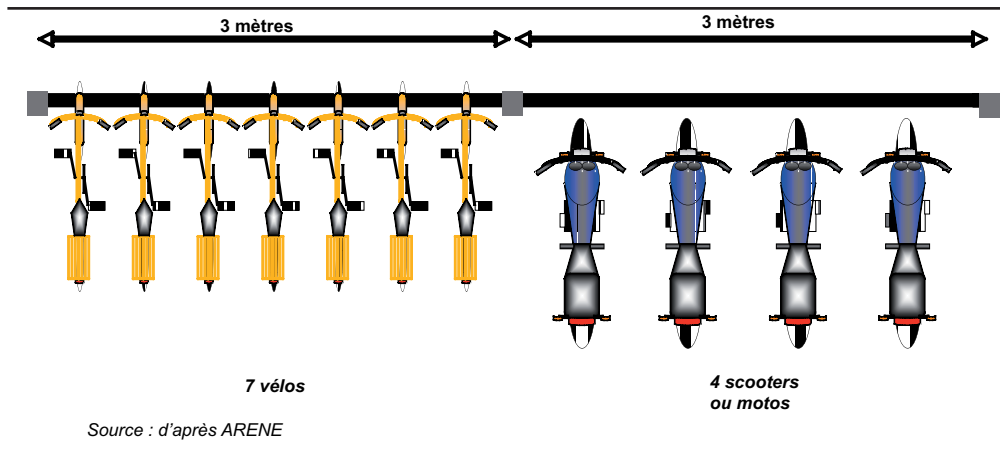


Illustration 29 : Dimensionnement des locaux deux roues.
 Une largeur de 3m correspond à 7 vélos ou 4 scooters ou motos – Schéma d'après l'ARENE.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Les extensions du logement contribuent à la qualité de vie et à l'habitabilité des logements, en proposant des pièces de vie supplémentaires (exemple de la véranda), et en facilitant la gestion des ressources (eau, énergie, déchets).

VOLET COÛT GLOBAL

Les locaux annexes, s'ils ne sont pas chauffés, peuvent contribuer à la protection climatique des logements, mais les parois de séparation avec le logement doivent être isolées thermiquement.

Certains équipements peuvent réduire les consommations d'énergie :

- Pour le séchage du linge ;
- Pour les déplacements de proximité (exemple du vélo).

VOLET DESCRIPTIF

Les fossés et les noues sont des ouvrages le plus souvent situés le long des voiries et qui recueillent les eaux de ruissellement provenant des surfaces adjacentes ou dans certains cas emmenées par des conduites, depuis les toitures. L'évacuation des eaux ainsi stockées s'effectue par infiltration ; il est également possible de vidanger les noues vers un exutoire. Les **fossés larges et profonds** sont appelés des **noues**.

Avantages

- Les noues contribuent au paysagement et favorisent le développement de la végétation ;
- Elles réduisent les risques d'inondation par tamponnement des pointes de ruissellement ;
- Elles diminuent les débits et les volumes d'eau transmis au réseau classique d'assainissement, ce qui en allège le fonctionnement et réduit les coûts d'investissement et d'exploitation.

Points de vigilance

- L'emprise foncière des noues peut être importante ;
- Leur entretien demande une attention comparable à celui d'un espace vert (tonte, arrosage) ;
- La prévention des risques d'accident est indispensable en période de remplissage.

Conditions et limites d'utilisation

Pour une noue simple, aucun matériau spécifique n'est nécessaire. Si on y ajoute un massif drainant, il faut installer une canalisation (grès de préférence), des puisards en béton et des regards en fonte. Il en est de même si on prévoit différentes couches composées de géotextile et de grave.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Les principaux atouts environnementaux de la noue sont donc :

- Effet retardateur de l'écoulement des pluies d'orage : hors infiltration, une partie de l'eau est utilisée par les plantes, une autre est évaporée et le complément est évacué par les canalisations, avec un débit de fuite limité ce qui résout les risques d'engorgement des réseaux d'assainissement, donc les problèmes relatifs à l'épuration ;
- La végétation est une source de photosynthèse (stockage de carbone) ;
- Enrichissement du paysagement, contribution à la continuité biologique et la biodiversité (milieux humides).



© Photo : ARENE.

Illustration 30 : Noue végétalisée avec dénivelé.



© Photo : SOLENER.

Illustration 31 : Noue végétalisée attenante à une voirie Parc de la Haute Borne à Villeneuve d'Ascq (59).



© Photo : Philippe LAUUS

Illustration 31 bis : Noue végétalisée en bordure de voirie - Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne).



VOLET COÛT GLOBAL

Coûts

Le coût est fonction de la valeur et du type de surfaces mises en jeu. Mais retenons que quel que soit le linéaire envisagé, il faut prendre en compte le déplacement forfaitaire de l'engin de terrassement, compris entre 350 et 450 € HT.

- Création de la noue (terrassement, évacuation des terres...) : 12 € HT le m³ ;
- Fourniture et pose du massif drainant : 70 à 100 € HT le mètre linéaire (ml) ;
- Engazonnement éventuel : 1.50 € HT le m².

Entretien et maintenance :

Le maître d'ouvrage doit constamment entretenir à ses frais les ouvrages de traitement et de rejet des eaux pluviales, en assurant la conformité aux prescriptions de l'autorisation. Les ouvrages de vidange et de surverse des noues feront l'objet d'une visite au moins une fois tous les six mois.

L'entretien régulier des noues et des dispositifs d'évacuation comprend :

- L'enherbement et l'entretien des végétaux du fond et des talus des noues ;
- Le faucardage mécanique des végétaux ;
- Le curage suivant la sédimentation ;
- La surveillance du fonctionnement des dispositifs d'évacuation (libre circulation de l'eau, pas de sédiment ni de flottant, pas d'obturation même partielle dans les canalisations).

Le maître d'ouvrage prendra toutes dispositions nécessaires dans la conception et l'exploitation de ses installations pour assurer une bonne gestion des déchets produits (boues de curage, hydrocarbures, déchets végétaux, autres déchets) et leur évacuation selon la législation en vigueur.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

- Pas d'entreprises spécialisées recensées en Ile-de-France ;
- Quelques réalisations sur des projets de moyenne importance ;
- Possibilité d'aménager des noues pour des ensembles de logements individuels.

FICHES THÉMATIQUES À L'ÉCHELLE DE LA CONSTRUCTION

AIDE À L'ÉLABORATION D'UN ARGUMENTAIRE COMMERCIAL

Cette partie décline 25 fiches présentant les Meilleures Techniques Disponibles en matière de construction et d'équipements.

Ces fiches sont regroupées en 4 pôles environnementaux :

- conception bioclimatique de l'enveloppe ;
- équipements énergétiques ;
- maîtrise de l'eau ;
- matériaux et santé.

En conclusion de cette partie, une première série de tableaux de synthèse reprend les caractéristiques et les incidences de ces techniques sur les plans environnementaux, économiques et commerciaux.

Une seconde série de tableaux précise les capacités des différentes techniques à évoluer, en particulier pour répondre aux exigences des différents labels énergétiques.

Chaque fiche se compose de plusieurs rubriques ou volets :

- Le volet descriptif donne des informations pratiques sur les solutions techniques ;
- Le volet environnemental présente les actions de la technique exposée sur différents aspects environnementaux (préservation des ressources en énergie, matière, réduction des pollutions dans l'air, dans l'eau, amélioration du confort et de la santé...) en leur attribuant une valeur (action de premier ordre, action de second ordre, absence d'action) ;
- Le volet coût global présente l'approche économique simplifiée de la technique, en prenant en compte l'investissement, la durée de vie, l'entretien... ;
- Le volet faisabilité et références décrit l'état de l'art en Ile-de-France, et donne des informations sur le degré de faisabilité de la technique ;
- Enfin, le volet marketing souligne la visibilité commerciale des bénéfices du produit ou de la technique, en vue de la construction de l'argumentaire destiné au client final. Trois « valeurs » sont attribuées (bénéfice de premier ordre, de second ordre, pas de bénéfice) et six champs sont distingués (économie, patrimoine, modernité, écologie, santé, confort).

2

e

.

t

i

P

a

Titre de la MTD

N° de la MTD

L'ÉNERGIE SOLAIRE PASSIVE

2.1.5

VOLET DESCRIPTIF

Volet Descriptif
Information pratique sur la solution technique.

Valoriser l'énergie solaire passive consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire, sans apport d'énergie extérieure. Pour qu'un bâtiment bénéficie au mieux des rayons du soleil, on doit tenir compte de l'énergie solaire lors de la conception architecturale : orientation vers le sud, répartition et dimensionnement des surfaces vitrées, façades doubles de type balcon vitré, etc. (cf. **fiche 1.3** Conception Bioclimatique). L'isolation et l'inertie thermique jouent un rôle important pour optimiser la contribution des apports solaires au chauffage et à l'éclairage d'un bâtiment.

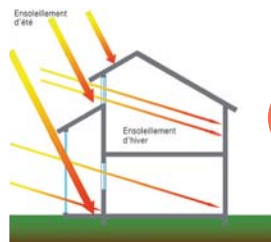


Illustration 38 : Les apports solaires passifs en été et en hiver.

Dans une maison solaire passive, l'apport solaire permet de réaliser des économies d'énergie importantes pendant la saison de chauffe. Cependant, cet apport peut être source d'inconfort en raison des risques de surchauffes dès la mi-saison. Afin de réduire les risques d'inconfort, les baies vitrées doivent être protégées du soleil en été, parfois dès la mi-saison, par des auvents, des brise-soleil ou des persiennes extérieures.

La valorisation des apports solaires est un des principes essentiels de la conception bioclimatique, et doit être associée à d'autres caractéristiques volumétriques du logement :

- Le volume chauffé doit présenter une bonne compacité ;

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental de l'énergie solaire passive est le suivant :

Préserver les ressources				Réduire les pollutions			Réduire	Réduire les nuisances		Améliorer	
Énergie	Matière	Eau	Biodiversité	Air	Eau	Sols	Déchets	Bruits	Odeurs	Confort	Santé
■										■	■

■ Action forte (1^{er} ordre) ■ Action secondaire (2nd ordre)

- Des espaces tampons périphériques protègent l'espace central des déperditions thermiques, en particulier au nord, où seront implantés de préférence les celliers, garages et locaux de stockage des bacs d'ordures ménagères ;
- Des espaces captants en façade sud permettent d'accroître les apports solaires en hiver.

Les espaces captants prennent la forme de serres, vérandas ou jardins d'hiver, espaces vitrés non chauffés accolés au logement ou encastrés dans la surface habitable. Ces volumes vitrés augmentent la surface habitable mais à titre temporaire, en raison des différences de confort qui peuvent être engendrées, très variables entre l'hiver et l'été, entre les périodes nocturnes ou diurnes. La serre est un espace difficile à maîtriser thermiquement, et peut être source de surconsommation d'énergie si elle est équipée d'un dispositif de chauffage. Les gains de chauffage dépendent très fortement du comportement de l'utilisateur.

Le fonctionnement thermique de la véranda repose sur la transformation du rayonnement solaire en rayonnement de grande longueur d'onde émis par les surfaces intérieures exposées au soleil direct, dalle et parois verticales, de préférence en maçonnerie. Le mur séparatif entre la véranda et l'espace de vie contribue à la restitution de la chaleur, puisqu'il assure la fonction de stockage de la chaleur. Le transfert de chaleur s'opère généralement par le système de renouvellement d'air du logement.

Dans la conception d'une serre, il convient de traiter deux points en particulier :

- L'inclinaison et l'orientation du vitrage : l'orientation privilégiée de la serre s'étend du sud-est au sud-sud-ouest. Un vitrage horizontal ou peu incliné récupère peu d'apports en hiver et accroît les risques de surchauffes en été ;
- La fonction d'été : la serre doit obligatoirement comporter des protections solaires ainsi que des ouvrants en partie basse et en partie haute, permettant d'évacuer les surchauffes par circulation de l'air.

Le vitrage peut être constitué de polycarbonate à double paroi destiné aux serres commerciales. C'est un produit peu coûteux et facile à mettre en œuvre.

Volet Environnemental

Le profil environnemental définit l'action de la MTD sur différents aspects environnementaux.

Exemple :
L'énergie solaire passive permet d'agir de manière forte (en orange) sur la préservation des ressources énergétiques et la réduction des pollutions dans l'air.

Son action sur l'amélioration du confort et la santé est d'ordre secondaire (en violet).

Les autres thématiques ne sont pas des champs d'action concernés par cette technique (en blanc)

L'ÉNERGIE SOLAIRE PASSIVE

2.1.5

Volet coût global
Approche économique investissement entretien maintenance (Coûts 2007).

VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

Investissement :

- La valorisation des apports passifs est peu coûteuse et efficace pour réaliser des économies d'énergie ;
- La mise en œuvre est assez simple.

Point de vigilance

- L'été, de forts risques de surchauffe existent.

Les différents postes du coût global

Investissement :

C'est un poste difficilement chiffrable, car fortement intégré à la conception générale de l'habitation. Quelques surcoûts peuvent être afférents à la logique bioclimatique, mais ils sont difficilement quantifiables. Les règles volumétriques de compacité tendent plutôt à réduire les surfaces d'enveloppe à volume donné, donc les coûts associés.

Entretien maintenance :

Aucun entretien ou maintenance particulier n'est nécessaire, en dehors des protections solaires extérieures, en particulier si elles sont mobiles.

Économie de charges :

Elles sont principalement réalisées sur le poste chauffage, mais restent difficilement quantifiables.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Technique qui relève de la conception, trouvant particulièrement sa place dans la valorisation des apports solaires.

Des fournisseurs de verres sont susceptibles de répondre aux besoins pour ce type de technique.

Référence :

Fournisseur de vérandas/verrières partout en France. Certains fabricants de châssis proposent d'installer des bow windows.

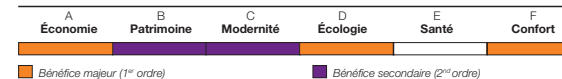
VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

La récupération directe passive de l'énergie solaire – associée à une bonne isolation du bâti – constitue la méthode la plus efficace et la moins coûteuse pour réaliser des logements à basse consommation d'énergie... donc vraiment adaptés aux décennies à venir.

Les mesures d'architecture « bioclimatiques » (implantation, compacité, traitement thermique de l'enveloppe, ventilation naturelle...) permettent d'atteindre des consommations d'énergie de l'ordre de 45 kWh /m², soit plus de la moitié des exigences de la RT 2005, avec des installations techniques traditionnelles, et avec des coûts de construction qui restent au niveau du « traditionnel ».

Les mesures qui conduisent à une architecture bioclimatiques sont simples : grandes surfaces vitrées au sud et petites ouvertures au nord,

Bénéfice client :



absence d'ombrage sur les surfaces vitrées et occultations automatiques pour éviter les surchauffes d'été, isolation extérieure pour laisser murs et planchers servir au stockage thermique pour la nuit, ...

Commercialement (avec l'augmentation des coûts d'énergie aidant), la proposition d'une réduction de moitié des dépenses énergétiques avec un surinvestissement qui peut varier de 0% à 15% ... doit pouvoir se révéler porteuse.

Deux objections sont à attendre :

- Le style architectural peu conventionnel des bâtiments et maisons bioclimatiques réalisés. Il est impératif que les architectes fassent preuve de talent pour sauvegarder dans de telles maisons assez de référents de classicisme ;
- Les ménages veulent sauvegarder leur intimité « côté rue » :
 - Toutes les façades nord ne peuvent pas être sur rue ;
 - Les façades nord sur rue devront être travaillées pour marquer le standing de la maison.

Volet marketing
Les bénéfices pour le client.

Volet Faisabilité et références
Aspect technico-économique
Faisabilité en Ile-de-France, et références

CONCEPTION BIOCLIMATIQUE DE L'ENVELOPPE

Partie 2.1

VOLET DESCRIPTIF

Le principe de l'isolation répartie consiste en des murs construits avec des matériaux épais qui sont à la fois isolants et porteurs. Utilisée en construction neuve, l'isolation répartie est aussi intéressante dans le cas d'une réhabilitation lourde : extension ou surélévation. Ces blocs de construction offrent des performances supérieures aux blocs de construction courants (à condition de prévoir des épaisseurs d'au moins 30 cm). Ils ne nécessitent pas de complément d'isolation, si on reste au niveau de la RT2005.

Trois grandes familles existent sur le marché :

- Les blocs et panneaux hauteur d'étage en béton cellulaire ;
- Les briques à alvéoles en terre cuite, dites monomurs ;
- Les briques en aggloméré de pierre ponce.

Béton cellulaire :

Le béton cellulaire est composé de différents matériaux tels que la chaux, le ciment, le sable et la poudre d'aluminium qui produisent de petites bulles d'hydrogène au contact de la chaux.

La meilleure résistance thermique est obtenue avec le bloc de construction maçonné. Etant perméable à la vapeur d'eau, il doit être recouvert d'un enduit hydrofuge.

Brique à alvéoles en terre cuite :

La résistance thermique de la brique à alvéole est très faible, mais elle possède une excellente inertie et elle est perméable à la vapeur d'eau. Après une inondation, seul un bâtiment conçu à partir de briques à alvéoles restera presque intact. Les appellations les plus courantes de cette brique sont Monomur ou Biomur.

Pour un mur de 40 cm d'épaisseur (soit une brique de 36,5 à 37,5 cm), la résistance thermique est de 2,94 à 3,12 m².K/W, ce qui correspond à une épaisseur d'environ 12 cm de laine de verre.

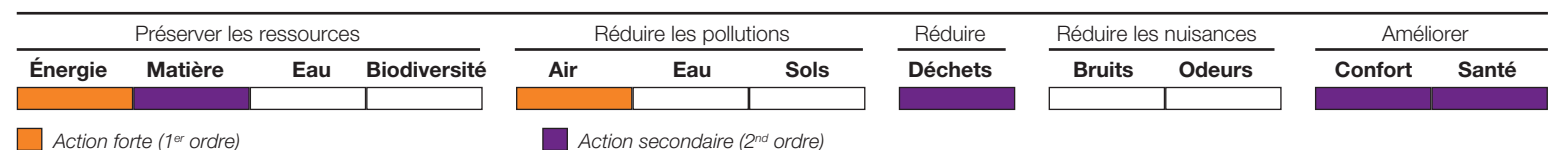
Briques en aggloméré de pierre ponce :

Cette variante de brique à alvéole très légère présente des caractéristiques thermiques presque identiques à celles du béton cellulaire.

Les murs intérieurs peuvent être recouverts de plâtre projeté, de chaux, d'enduit pelliculaire, ou de plaques de plâtre. A l'extérieur, les finitions sont généralement des enduits traditionnels à base de liant hydraulique ou des enduits monocouche.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental d'une isolation répartie est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- La structure porteuse et l'isolation thermique ne constituant qu'un seul produit, l'isolation répartie permet un gain de temps pour la mise en œuvre ;
- La mise en œuvre des huisseries, des plomberies et des réseaux électriques est facilitée ;
- Les ponts thermiques sont diminués ;
- Le confort thermique est optimisé.

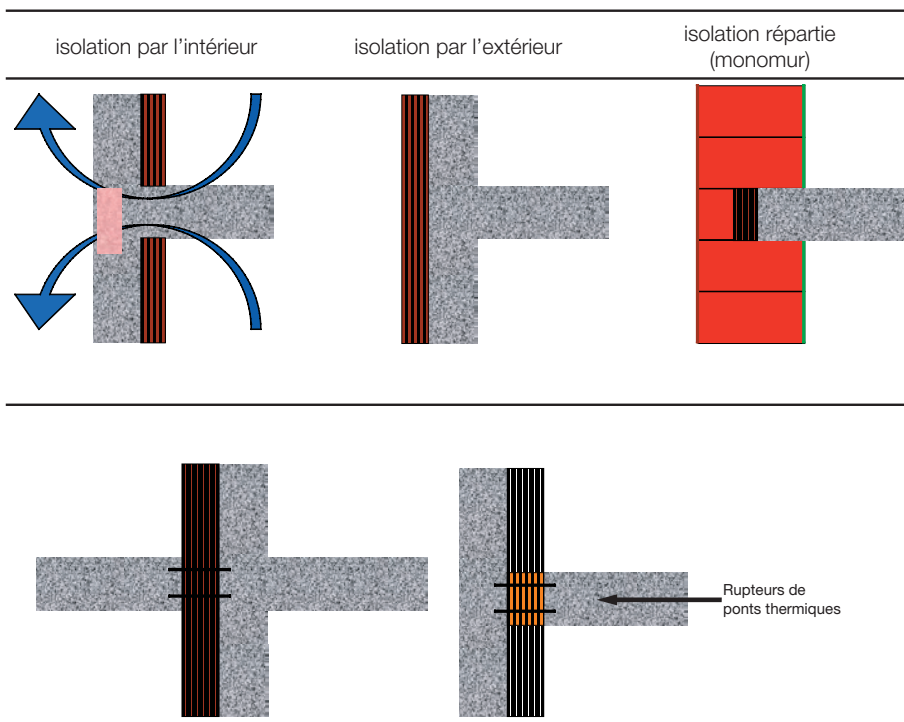


Illustration 32 : Les différents modes d'isolation.

Points de vigilance

- Ces blocs de construction sont plus complexes à poser et doivent être mis en œuvre par un personnel qualifié, formé à ce type de matériaux ;
- Le calepinage est nécessaire pour certaines briques.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Le prix de vente d'une maison construite avec ces matériaux (épaisseur de 30 cm) est supérieur d'environ 6%, par rapport à celui d'une maison construite en brique avec isolation intérieure en laine minérale et plaque de plâtre.

Coût moyen en fourniture seule	Parpaing classique ép. 27.5 cm	Brique Monomur ép. 30 cm	Bloc béton cellulaire ép. 30 cm
	28,6 € HT/m ²	38 € HT/m ²	46,4 € HT/m ²

Illustration 33 : Coûts comparés de différents matériaux de construction

MONOMUR TERRE CUITE Wienerberger (isolation thermique répartie)				
	Porotherm R50	Biomur R37	Biomur R30	Murbric 20
	Nu	Nu	ITI 80 +1	ITI 80 +1
Épaisseur du bloc	50	37	30	20
Fourniture du mur	68 €	47 €	38 €	16 €
Pose du mur	40 €	34 €	28 €	22 €
Mur fourni - posé	108 €	81 €	66 €	38 €
Finition ext.	17 €	17 €	17 €	17 €
Finition ou doublage int.	117 €	11 €	31 €	31 €
Mur fini fourni - posé (compris enduit ext. et finition ou doublage int.)	136 €	109 €	114 €	86 €

* : laine de roche

Illustration 34 : Coûts comparés de différents matériaux pour l'isolation répartie.

Entretien maintenance :

Ce type d'isolation, constitué par la paroi elle-même, nécessite peu d'entretien, et la durée de vie est celle du bâtiment. Les seuls aspects visuels à surveiller sont l'état des parois intérieures (finitions) et enduit extérieur (façades). Le besoin de ravalement de la façade peut s'imposer à 20 ans, comme pour une construction en blocs de ciments, mais ce coût de maintenance n'est pas lié à l'utilisation de l'isolation répartie.

Économie de charges :

Par ailleurs, la durabilité des matériaux implique une économie de charges à long terme. L'économie est cependant variable selon le type de matériaux utilisés. En effet les économies se situent sur la facture de chauffage. Si l'isolation répartie atteint un niveau traditionnel au regard des réglementations thermiques, les gains sur la facture de chauffage seront alors nuls.

Par contre si l'isolation répartie atteint un niveau performant (très bonne résistance thermique), alors les gains sur le poste chauffage peuvent être très importants.

Pour exemple, pour une maison de 100 m², avec des briques monomur de 37cm (au lieu de parpaings avec une isolation thermique par l'intérieur) les économies de charges s'élèvent à 4 000kWh / an.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Les entreprises acquièrent progressivement la compétence de mise en œuvre.

Une mini formation est possible pour la pose, un démonstrateur "assistant technique" étant disponible pour la première série de briques.

Références :

- En Maisons Individuelles : OPAC d'Aulnay-sous-Bois, 60 pavillons en Biomur 30 cm (en cours de construction) ;
- Centre de loisirs de Bullion (78).

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Les blocs de béton cellulaire, et les briques « Monomur » présentent des avantages commerciaux considérables. Ils permettent d'atteindre des performances d'isolation exceptionnelles tout en sauvegardant le principe de constructions à murs porteurs maçonnés : « C'est la tradition avec les performances thermiques qui seront nécessaires dès demain ».

Ces produits sont peu utilisés en France, où ils apparaissent comme des produits nouveaux, alors qu'ils sont très utilisés depuis des décennies en Europe du Nord.

Le surcoût, environ 15% sur le gros œuvre, donc environ 6% sur le prix de vente de la

maison, nécessite une argumentation car il ne s'agit pas d'une prestation visible une fois le bâtiment terminé. Ce surcoût était difficile à justifier tant que la construction traditionnelle avec isolation intérieure permettait de répondre économiquement à la réglementation thermique. Ces matériaux deviennent très compétitifs avec la RT 2005... *a fortiori* avec les réglementations futures.

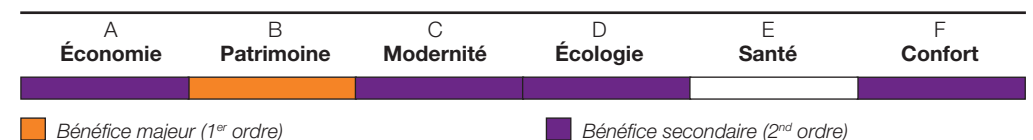
C'est au moment du chantier que les blocs de béton cellulaire et les briques monomurs présentent les caractéristiques les plus visibles :

Avantages

- Les chantiers sont plus propres, la maçonnerie collée donne l'impression d'être plus « nette », de meilleure qualité ;
- Le travail des maçons est plus qualitatif et moins pénible (poids limité des blocs de béton cellulaire).

Inconvénient

- Les maçons doivent être spécifiquement formés.

Bénéfice client :

VOLET DESCRIPTIF

L'isolation par l'extérieur valorise l'inertie des matériaux, ce qui permet de mieux récupérer les apports solaires.

Par ailleurs, elle permet la suppression de nombreux ponts thermiques, qui sont la cause d'importantes déperditions, notamment au niveau de la jonction des façades et des planchers. L'isolation extérieure influe donc considérablement sur la baisse de la consommation de chauffage en comparaison à une isolation par l'intérieur.

En ce qui concerne la construction neuve, l'isolation extérieure facilite ainsi l'obtention du niveau de performance imposé par la RT 2005. Elle évite également la mise en place de rupteurs thermiques dont le coût est élevé et la pose d'un isolant intérieur de 15 à 20 cm, qui peut entraîner une perte de surface jusqu'à 4 ou 5 m² habitables.

En outre, un simple enduit peut recouvrir un isolant en polystyrène, ce qui engendre un coût moins élevé que la mise en œuvre d'un bardage. Cependant, avec un isolant tel que la laine de verre, le bardage (bois, pierre, acier, ...) reste indispensable.

Dans le cas d'un bâtiment dont les finitions extérieures sont en mauvais état, l'isolation par l'extérieur est préférable. Elle permet de traiter à la fois l'isolation et le ravalement.

L'isolation par l'extérieur augmente considérablement le confort en été (murs rafraîchis la nuit qui ne se réchauffent que lentement la journée).

Deux solutions techniques d'isolation extérieure sont utilisées :

- L'isolant de façade est soit collé, soit fixé par un système mécanique. L'enveloppe extérieure peut être un enduit, un bardage, ou un mur (brique par exemple). Les solutions bardage et mur peuvent être adaptées aux façades exposées à l'eau ou à l'humidité, grâce à la présence d'une lame d'air entre l'isolant et la peau.

- Un seul composant englobe l'isolant et sa peau : vêtures, bardures (bardages avec isolation thermique intégrée) et vêtages isolants (fixations directes sur le support, sans isolant intégré). Ces procédés ont l'avantage d'être faciles à poser, ils nécessitent peu d'entretien et présentent une bonne durabilité.

En revanche, des contraintes architecturales et/ou administratives peuvent entraîner un refus de l'isolation par l'extérieur d'une construction existante, car la façade est modifiée. Elle doit donc faire l'objet d'un permis de construire.

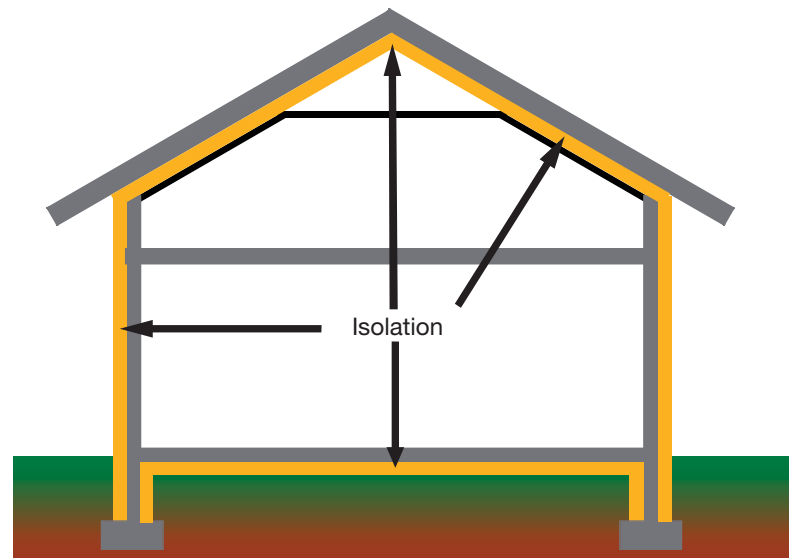


Illustration 35 : Schéma de principe de l'isolation par extérieur
Schéma d'après ADEME.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental d'une isolation extérieure est le suivant :

Préserver les ressources				Réduire les pollutions			Réduire	Réduire les nuisances		Améliorer	
Énergie	Matière	Eau	Biodiversité	Air	Eau	Sols	Déchets	Bruits	Odeurs	Confort	Santé

■ Action forte (1^{er} ordre)
 ■ Action secondaire (2nd ordre)

VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

L'isolation par l'extérieur (de type « mur manteau ») présente de nombreux avantages.

En effet, elle permet :

- De bénéficier de l'inertie thermique des éléments de structure, pour une récupération accrue des apports solaires en hiver et une meilleure régulation des surchauffes en été ;
- De limiter les ponts thermiques, donc les points de condensation à l'intérieur d'un logement (sources de moisissures à l'origine d'allergies respiratoires chez les occupants) ;

- De réaliser des économies de coût de maintenance, par une protection du bâti contre les chocs thermiques, par la suppression des risques de condensation à l'intérieur des logements, par une moindre fréquence des ravalements de façade.

Points de vigilance

- L'isolation extérieure a l'inconvénient d'être deux fois plus chère qu'une simple isolation par l'intérieur ;
- Elle implique un chantier important.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Il faut compter environ 150 à 200 €/m² pour 10 cm de laine minérale « Fourni Posé » en Ile-de-France, finitions comprises. Le coût est deux fois plus élevé qu'une isolation intérieure. Cela s'explique par le fait que la mise en œuvre nécessite l'utilisation d'un échafaudage pour les travaux en hauteur, et une grande rigueur afin de supprimer les ponts thermiques.

Économie de charges :

Malgré un coût deux fois plus important que pour une isolation intérieure, on réalise une économie de charge importante, puisque les coûts de chauffage sont fortement diminués, grâce à la réduction des ponts thermiques. Sur un chauffage électrique, on peut diminuer jusqu'à 40% les charges sur le chauffage.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

- De nombreuses entreprises compétentes en Ile-de-France pour la mise en œuvre de l'isolation par l'extérieur ;
- 4 à 5 réalisations par mois en individuel pour chacune des entreprises compétentes ;
- La technique de pose est aujourd'hui assimilée et ne présente pas de problèmes.

Références :

- 30 000 m² par an dans le logement individuel ;
- Laine de Roche : 10 000 m² sur la tour Samsung à Paris ;
- Logements sociaux à Fontenay-sous-bois pour LOGIREP en cours.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

L'isolation par l'extérieur est une solution techniquement très supérieure à l'isolation par l'intérieur, elle est très développée en Allemagne et dans les pays nordiques... mais reste marginale en France.

Trois objections sont courantes :

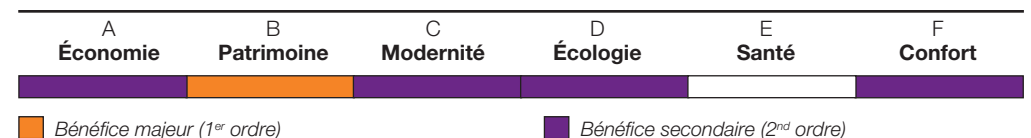
- Le coût supérieur à celui d'une isolation intérieure. Il faut en réponse montrer la différence de consommation énergétique d'un logement avec l'une et l'autre solution, et développer les temps de retour sur investissement compte tenu de la hausse permanente des coûts d'énergie ;

- La fragilité, et l'aspect extérieurs des murs par rapport à un enduit minéral monocouche classique sur parpaing. Les nouveaux enduits RPE (revêtement plastique épais) ont une apparence identique à celle des monocouches et enduits traditionnels ;
- La valorisation de l'inertie thermique de la maçonnerie. La maçonnerie fait masse thermique, et participe beaucoup par son inertie au confort du logement. Le confort d'été est également supérieur car le logement met plus longtemps à se réchauffer.

L'argument essentiel est technique et doit être expliqué :

L'enveloppe extérieure isolante est la seule façon de supprimer tous les ponts thermiques et de garantir l'étanchéité à l'air ; les réglementations thermiques à venir impliqueront cette technique et les logements traditionnels apparaîtront comme obsolètes, ... et seront plus difficiles à revendre.

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

Il existe un grand nombre de types de vitrages avec pour chacun d'entre eux des spécificités en termes de confort thermique (conductivité et facteur solaire du vitrage), visuel (transmission lumineuse), et acoustique (indice d'affaiblissement)... Il est donc important de déterminer, selon l'usage qu'on compte en faire, les vitrages les plus appropriés.

■ Double vitrage standard :

Il peut être de type 4/12/4 ou 4/16/4, c'est-à-dire qu'il est constitué de deux verres de 4 mm séparés par une lame d'air de 12 ou de 16 mm. En comparaison à un simple vitrage, les déperditions thermiques sont réduites de 40 % minimum.

■ Double vitrage faiblement émissif :

Le double vitrage anti-émissivité est constitué, en face intérieure, d'un revêtement spécial gardant les rayons infrarouges à l'intérieur de la pièce. Comparé à un double vitrage classique, les déperditions sont diminuées de plus de 30 %. Très courant en Allemagne, il le devient également en France.

■ Double vitrage faiblement émissif à lame argon :

Il est semblable au double vitrage faiblement émissif, mais la lame d'air est remplacée par une lame d'argon, qui est un gaz inerte optimisant encore les performances d'isolation thermique.

■ Double vitrage phonique :

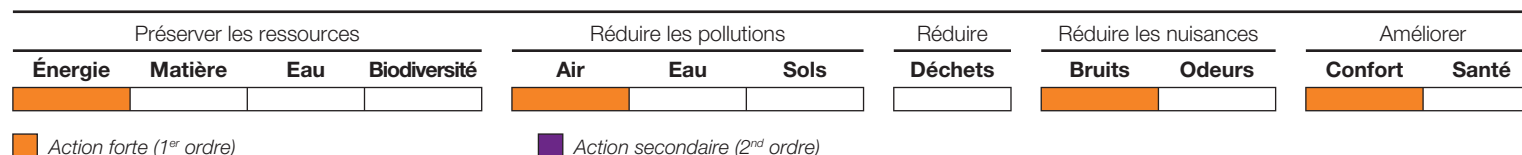
Ce verre, d'épaisseur 4/8/10, présente un meilleur pouvoir d'isolation phonique que le double vitrage standard car les deux lames de verres de différentes épaisseurs évitent l'amplification du son. Son pouvoir isolant est légèrement réduit.

■ Vitrage avec contrôle solaire :

Suivant les cas et les vitrages choisis, il est possible de favoriser par exemple l'apport de lumière naturelle (transmission lumineuse élevée) ou de choisir de limiter au maximum les apports solaires (facteur solaire bas) afin de minimiser les risques de surchauffes estivales. Certains vitrages permettent également de garder la chaleur l'hiver. Mais les vitrages avec contrôle solaire sont surtout recommandés pour les bâtiments tertiaires.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental des vitrages est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Les différents postes du coût global

Investissement :

Coûts en fonction de l'épaisseur (en € HT / m ² fourni posé)	4 / 12 / 4	4 / 16 / 4
Double vitrage standard	45 € HT	48 € HT
Double vitrage faiblement émissif	60 € HT	62 € HT
Double vitrage remplissage argon	66 € HT	69 € HT
Double vitrage phonique	70 € HT	75 € HT
Double vitrage contrôle solaire	52 € HT	56 € HT
Triple vitrage (28 mm)	110 € HT	

Illustration 36 : Coûts comparés de différents types de vitrages.

Entretien maintenance :

Il n'y a pas de surcoût d'entretien et maintenance liés à ces types de vitrages.

Économie de charges :

Les vitrages sont des parois déperditives. Le simple fait d'améliorer la qualité des vitrages d'un bâtiment engendre des économies sur le chauffage.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Pas de contrainte de mise en œuvre particulière, technique très répandue, nombreuses sociétés de fourniture, et multiples entreprises de pose de châssis.

Référence :

Le double vitrage (DV) pour les logements est très répandu, alors que le triple vitrage est beaucoup moins fréquent.

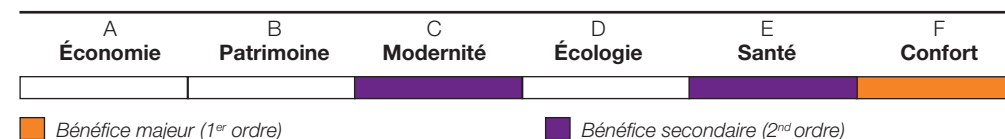
VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Dans la mesure où, actuellement, tous les logements sont livrés avec des doubles vitrages avec ou sans lame argon, et où les triples vitrages à lame krypton sont encore d'un coût très élevé, la différenciation commerciale porte peu sur cette prestation.

Cependant :

- L'option d'un triple vitrage à lame argon permet une architecture très ouverte sans pénaliser les performances thermiques du logement (les grandes baies coulissantes en ouverture sur le jardin sont très valorisées par les ménages) ;
- Le double vitrage phonique est souvent oublié dans les descriptifs promoteurs, pourtant le confort de vie apporté est spectaculaire, même hors des zones à forte nuisance de bruit. Le rapport : avantage perçu par le consommateur / coût, est commercialement intéressant.

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

Les principaux matériaux utilisés pour les huisseries sont : le bois, le PVC, l'aluminium, et le bois/aluminium.

Le bois

Avantages

- Les huisseries bois ont de très bonnes performances en termes d'isolation thermique et minimisent la sensation de paroi froide pouvant exister à proximité des ouvertures ;
- Avec l'utilisation de bois lamellé-collé on peut facilement adapter ce type de huisseries à des baies vitrées de diverses tailles ;
- Par ailleurs, le bois est un produit naturel et recyclable, nécessitant peu d'énergie lors de sa fabrication et présentant un bilan carbone négatif (captation du CO₂).

Points de vigilance

- Le coût d'investissement : le bois est plus onéreux que les huisseries en aluminium ou en PVC ;
- L'entretien (peinture, lasure). Toutefois, il existe des moyens pour minimiser ce problème : en évitant de multiplier les ouvertures à l'ouest (vents dominants), en les protégeant par de larges débords de toiture,

en optant pour des huisseries bois capotées aluminium côté extérieur...

Le PVC

Avantages

- Le polychlorure de vinyle présente de bonnes performances thermiques, pour un prix relativement peu élevé (par rapport au bois).

Points de vigilance

- Les montants sont généralement plus épais que dans le cas du bois ou de l'aluminium, ce qui implique un « clair de jour » (surface vitrée) moins important en comparaison avec une menuiserie bois de même dimension ;
- En outre, la durabilité du PVC est souvent surestimée (ce matériau réagit mal au rayonnement solaire) et le PVC a un bilan

négatif sur le plan environnemental (énergie grise intrinsèque à sa fabrication, matériau difficilement recyclable...);

- Le PVC émet des composés organiques volatils néfastes pour la santé et en cas d'incendie, il génère de l'acide chlorhydrique corrosif et des dioxines extrêmement toxiques dangereuses pour l'Homme.

L'aluminium

Avantages

- L'aluminium présente une bonne durabilité, et une grande variété de choix existe pour ce type d' huisseries ;
- Ce matériau est léger, ininflammable et n'émet pas de poussières.

Points de vigilance

- Les huisseries en aluminium ont les moins bonnes performances en termes d'isolation thermique (tant en hiver qu'en été), malgré les systèmes à rupture de pont thermique ;

- L'analyse du cycle de vie de l'aluminium révèle un fort impact sur la consommation d'eau et d'énergie lors de la fabrication, mais ce matériau est facilement recyclable.

Combinaison bois et aluminium (huisseries dites mixtes)

Avantages combinés du bois et de l'aluminium

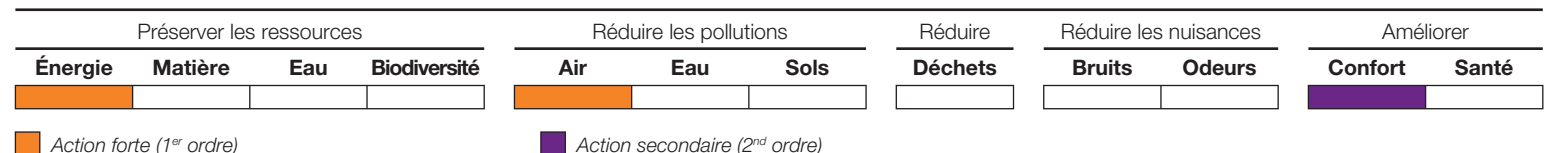
- La structure de la fenêtre est en bois, mais à l'extérieur, elle est recouverte d'aluminium laqué, ce qui permet d'obtenir à la fois une bonne isolation, et ne nécessite pas d'entretien particulier.

Point de vigilance

- Ce sont les huisseries dont le coût est le plus élevé.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental des huisseries bois est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Chacun des systèmes présente des avantages et des inconvénients. Il s'agit donc de déterminer le plus précisément possible les besoins et l'utilisation de ces huisseries, de manière à opter pour le meilleur de ces éléments.

Les différents postes du coût global

Investissement :

HUISSERIES ET TYPE DE VITRAGE	DV 4 / 12 / 4 peu émissif et à remplissage argon
PVC	300 € HT/m ²
ALU	350 € HT/m ²
BOIS	370 € HT/m ²
BOIS capoté Alu	400 € HT/m ²

Illustration 37 : Coûts comparés des différents types d'huisséries.

Entretien maintenance :

La part d'entretien maintenance varie selon le type d'huisséries.

Retenons que l'entretien est le plus important dans le cas d'une menuiserie bois, car la maintenance comprend le traitement du bois et sa tenue dans le temps.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Le PVC est le plus répandu, suivent le bois et l'aluminium (moins fréquent en individuel).

Les menuisiers locaux ne rencontrent aucune difficulté de mise en œuvre.

Référence :

Le PVC équipe la majorité des logements individuels récents en Ile-de-France, cependant la part des huisseries bois augmente, avec la nécessité de réduire le bilan carbone des bâtiments.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Les huisseries extérieures représentent un poste important dans la construction :

- Elles représentent de 10 à 15% du coût de la construction ;
- Elles sont déterminantes dans l'esthétique du bâtiment ; or le visible est ce qui reçoit la plus forte « Valeur Psychologique Attribuée » par les ménages ;
- Elles sont très importantes dans le bilan énergétique du bâtiment : de grandes surfaces vitrées permettent des apports gratuits d'énergie solaire passive, mais il faut, avec des occultations adaptées, réduire les risques de surchauffes estivales, pour assurer le meilleur confort thermique en été sans recourir à la climatisation. Cependant, il faut garder à l'esprit que les châssis (huisséries)

correspondent à la partie la moins bien isolée de l'enveloppe du bâtiment !

- Chacun des trois matériaux employés a ses inconditionnels et ses détracteurs :
 - Le PVC correspond actuellement à 71% du marché ; il présente les avantages d'un prix compétitif, de bonnes performances thermiques, et, d'une absence d'entretien périodique. Par contre ce matériau n'a rien d'écologique et présente des impacts non négligeables sur la santé.
 - Le bois possède le bilan énergétique global le plus favorable mais son entretien demande une attention particulière.
 - L'aluminium a l'avantage de laisser plus de clair de jour aux ouvertures et véhicule une image de produit de luxe. Toutefois, l'énergie grise nécessaire à sa fabrication et ses mauvaises propriétés thermiques ne sont pas à négliger.

Bénéfice client :

A	B	C	D	E	F
Économie	Patrimoine	Modernité	Écologie	Santé	Confort
PVC	Aluminium	Aluminium	Bois	Bois	PVC

■ Bénéfice majeur (1^{er} ordre) ■ Bénéfice secondaire (2nd ordre)

VOLET DESCRIPTIF

Valoriser l'énergie solaire passive consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire, sans apport d'énergie extérieure. Pour qu'un bâtiment bénéficie au mieux des rayons du soleil, on doit tenir compte de l'énergie solaire lors de la conception architecturale : orientation vers le sud, répartition et dimensionnement des surfaces vitrées, façades doubles de type balcon vitré, etc. (cf. fiche 1.3 Conception Bioclimatique). L'isolation et l'inertie thermique jouent un rôle important pour optimiser la contribution des apports solaires au chauffage et à l'éclairage d'un bâtiment.

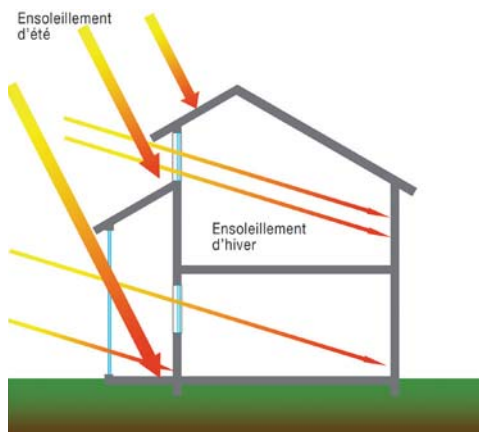


Illustration 38 : Les apports solaires passifs en été et en hiver.

Dans une maison solaire passive, l'apport solaire permet de réaliser des économies d'énergie importantes pendant la saison de chauffe. Cependant, cet apport peut être source d'inconfort en raison des risques de surchauffes dès la mi-saison.

Afin de réduire les risques d'inconfort, les baies vitrées doivent être protégées du soleil en été, parfois dès la mi-saison, par des auvents, des brise-soleil ou des persiennes extérieures.

La valorisation des apports solaires est un des principes essentiels de la conception bioclimatique, et doit être associée à d'autres caractéristiques volumétriques du logement :

- Le volume chauffé doit présenter une bonne compacité ;

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental de l'énergie solaire passive est le suivant :

Préserver les ressources				Réduire les pollutions			Réduire	Réduire les nuisances		Améliorer	
Énergie	Matière	Eau	Biodiversité	Air	Eau	Sols	Déchets	Bruits	Odeurs	Confort	Santé
■				■						■	■
■ Action forte (1 ^{er} ordre)				■ Action secondaire (2 nd ordre)							

- Des espaces tampons périphériques protègent l'espace central des déperditions thermiques, en particulier au nord, où seront implantés de préférence les celliers, garages et locaux de stockage des bacs d'ordures ménagères ;

- Des espaces captants en façade sud permettent d'accroître les apports solaires en hiver.

Les espaces captants prennent la forme de serres, vérandas ou jardins d'hiver, espaces vitrés non chauffés accolés au logement ou encastrés dans la surface habitable. Ces volumes vitrés augmentent la surface habitable mais à titre temporaire, en raison des différences de confort qui peuvent être engendrées, très variables entre l'hiver et l'été, entre les périodes nocturnes ou diurnes. La serre est un espace difficile à maîtriser thermiquement, et peut être source de surconsommation d'énergie si elle est équipée d'un dispositif de chauffage. Les gains de chauffage dépendent très fortement du comportement de l'utilisateur.

Le fonctionnement thermique de la véranda repose sur la transformation du rayonnement solaire en rayonnement de grande longueur d'onde émis par les surfaces intérieures exposées au soleil direct, dalle et parois verticales, de préférence en maçonnerie. Le mur séparatif entre la véranda et l'espace de vie contribue à la restitution de la chaleur, puisqu'il assure la fonction de stockage de la chaleur. Le transfert de chaleur s'opère généralement par le système de renouvellement d'air du logement.

Dans la conception d'une serre, il convient de traiter deux points en particulier :

- L'inclinaison et l'orientation du vitrage : l'orientation privilégiée de la serre s'étend du sud-est au sud-sud-ouest. Un vitrage horizontal ou peu incliné récupère peu d'apports en hiver et accroît les risques de surchauffes en été ;
- La fonction d'été : la serre doit obligatoirement comporter des protections solaires ainsi que des ouvrants en partie basse et en partie haute, permettant d'évacuer les surchauffes par circulation de l'air.

Le vitrage peut être constitué de polycarbonate à double paroi destiné aux serres commerciales. C'est un produit peu coûteux et facile à mettre en œuvre.

VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

Investissement :

- La valorisation des apports passifs est peu coûteuse et efficace pour réaliser des économies d'énergie ;
- La mise en œuvre est assez simple.

Point de vigilance

- L'été, de forts risques de surchauffe existent.

Les différents postes du coût global

Investissement :

C'est un poste difficilement chiffrable, car fortement intégré à la conception générale de l'habitation. Quelques surcoûts peuvent être afférents à la logique bioclimatique, mais ils sont difficilement quantifiables. Les règles volumétriques de compacité tendent plutôt à réduire les surfaces d'enveloppe à volume donné, donc les coûts associés.

Entretien maintenance :

Aucun entretien ou maintenance particulier n'est nécessaire, en dehors des protections solaires extérieures, en particulier si elles sont mobiles.

Économie de charges :

Elles sont principalement réalisées sur le poste chauffage, mais restent difficilement quantifiables.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Technique qui relève de la conception, trouvant particulièrement sa place dans la valorisation des apports solaires.

Des fournisseurs de verres sont susceptibles de répondre aux besoins pour ce type de technique.

Référence :

Fournisseur de vérandas/verrières partout en France. Certains fabricants de châssis proposent d'installer des bow windows.

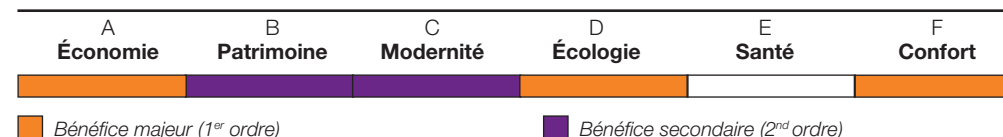
VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

La récupération directe passive de l'énergie solaire – associée à une bonne isolation du bâti – constitue la méthode la plus efficace et la moins coûteuse pour réaliser des logements à basse consommation d'énergie... donc vraiment adaptés aux décennies à venir.

Les mesures d'architecture « bioclimatiques » (implantation, compacité, traitement thermique de l'enveloppe, ventilation naturelle...) permettent d'atteindre des consommations d'énergie de l'ordre de 45 kWh /m², soit plus de la moitié des exigences de la RT 2005, avec des installations techniques traditionnelles, et avec des coûts de construction qui restent au niveau du « traditionnel ».

Les mesures qui conduisent à une architecture bioclimatique sont simples : grandes surfaces vitrées au sud et petites ouvertures au nord,

Bénéfice client :



absence d'ombrage sur les surfaces vitrées et occultations automatiques pour éviter les surchauffes d'été, isolation extérieure pour laisser murs et planchers servir au stockage thermique pour la nuit, ...

Commercialement (avec l'augmentation des coûts d'énergie aidant), la proposition d'une réduction de moitié des dépenses énergétiques avec un surinvestissement qui peut varier de 0% à 15% ... doit pouvoir se révéler porteuse.

Deux objections sont à attendre :

- Le style architectural peu conventionnel des bâtiments et maisons bioclimatiques réalisés. Il est impératif que les architectes fassent preuve de talent pour sauvegarder dans de telles maisons assez de référents de classicisme ;
- Les ménages veulent sauvegarder leur intimité « côté rue » :
 - Toutes les façades nord ne peuvent pas être sur rue ;
 - Les façades nord sur rue devront être travaillées pour marquer le standing de la maison.

VOLET DESCRIPTIF

Ce type de mur est aussi appelé mur solaire composite. Il s'agit d'un dispositif permettant des apports solaires passifs. C'est un mur capteur-accumulateur qui comporte des orifices dans ses parties basse et haute. Le phénomène de thermocirculation (ascendance de l'air entre la vitre et le mur) se produit sous l'effet de l'absorption solaire; une boucle convective s'établit naturellement avec transfert de chaleur vers l'intérieur grâce à un

mouvement permanent de l'air. Il est obligatoire de prévoir un système qui s'oppose à la thermocirculation inverse sous peine de refroidir le logement durant les longues périodes non ensoleillées. Il est également nécessaire de prévoir une bouche occultante pour bloquer toute circulation de fluide en période estivale afin d'éviter de réchauffer l'habitat.

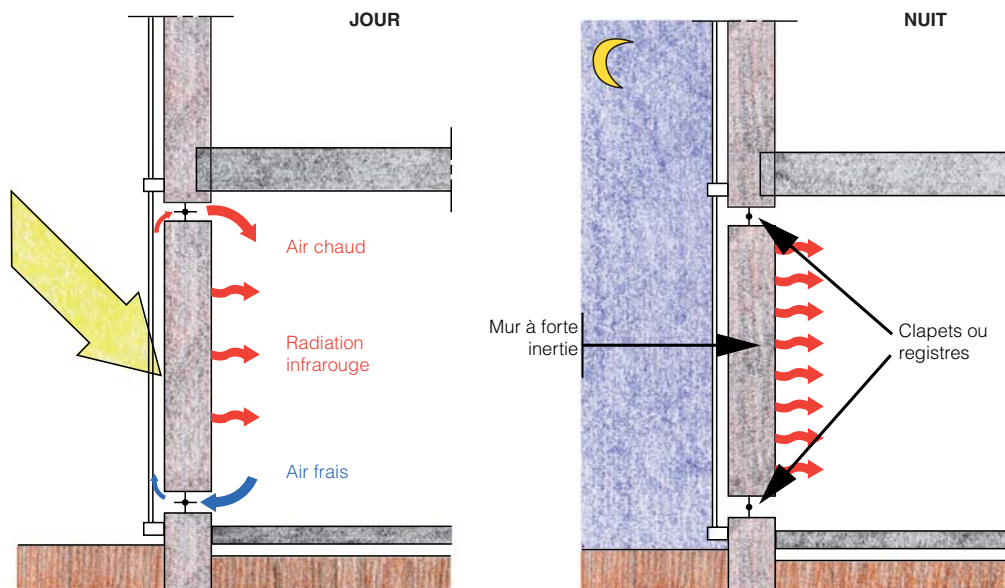


Illustration 39 : Principe de fonctionnement du mur Trombe (en saison froide).
Schéma d'après La conception Bioclimatique, éd. Terre Vivante.

La description du fonctionnement du mur solaire composite nécessite de distinguer le fonctionnement en période hivernale et en période estivale.

Fonctionnement en période hivernale :

L'objectif du mur solaire composite en période hivernale est de récupérer le maximum d'énergie, sans négliger les déperditions thermiques nocturnes ou les journées sans apports.

La paroi stockeuse absorbe le rayonnement solaire transmis par la couverture extérieure. Grâce à l'effet de serre, le mur s'échauffe, stocke et transmet par conduction la chaleur vers le local. Au niveau de la lame d'air intérieure, une partie de cette énergie est échangée par convection avec l'air et l'autre partie est échangée par rayonnement avec la paroi isolante. De cette énergie reçue par rayonnement, une faible partie est transmise par conduction vers le local via la paroi isolante, tandis que l'autre partie est transférée à l'air par convection. Les échanges par convection côté mur et côté isolant ont pour conséquence l'élévation de température de l'air. Celui-ci devient plus léger, s'élève et un phénomène de thermocirculation apparaît. La quasi-totalité de l'énergie est transmise au local par l'intermédiaire de la lame d'air.

En empêchant la circulation de l'air, on stoppe immédiatement les apports. Ceci permet d'avoir un contrôle permanent sur les apports et d'éviter les problèmes de surchauffe.

Les risques de surchauffe sont limités dans le cas du mur solaire composite car les apports sont restitués au local avec un temps de retard dû au temps de traversée de la chaleur à travers le mur stockeur. Ce temps de traversée est fonction de la nature de la paroi et de son épaisseur (15 cm est un bon compromis efficacité/déphasage). Si l'épaisseur de la paroi est suffisante, le maximum d'apports par l'intermédiaire de la lame d'air se produit après l'arrêt des apports directs transmis par des parois vitrées.

En période nocturne ou lors de journées où les apports solaires sont faibles, la thermocirculation doit être interrompue, par fermeture des registres de ventilation ménagés dans le mur.

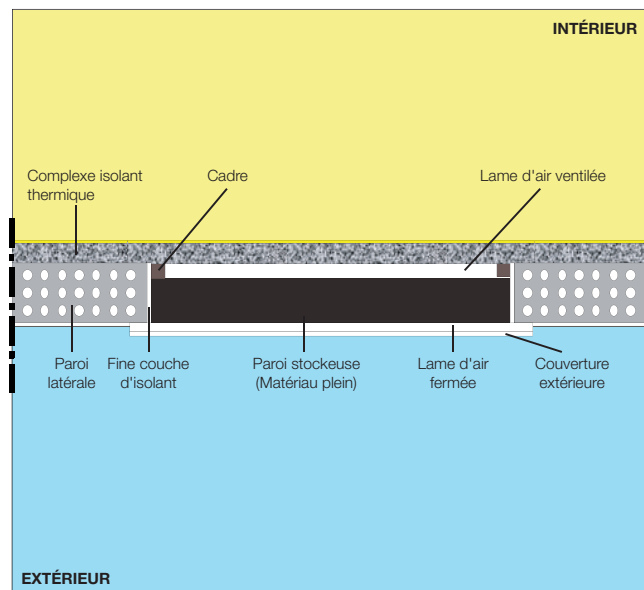


Illustration 40 : Description architecturale du mur « Trombe » (en plan).

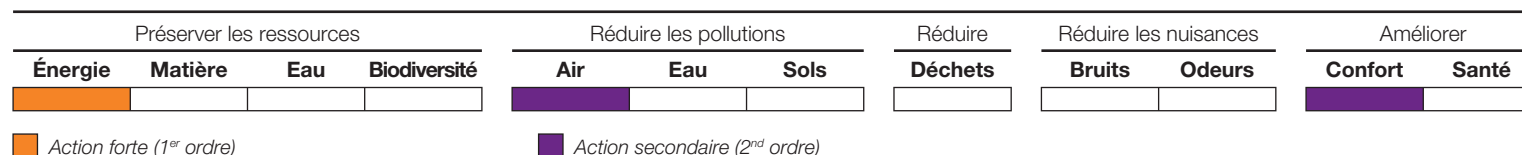
Fonctionnement en période estivale

Pour assurer de bonnes conditions de confort en période estivale, l'objectif est de limiter au maximum les apports thermiques vers le local. Durant cette période, il est important de noter que les apports solaires sur une paroi verticale orientée au sud sont moins importants du fait de la hauteur du soleil, ces apports pouvant être réduits par un débord de toit correctement dimensionné.

La température extérieure est néanmoins élevée et le mur récupère ainsi une importante quantité de chaleur. Cette énergie se transmet à la lame d'air ventilée où la circulation de l'air est bloquée pour empêcher tout apport d'énergie par thermocirculation. Cette lame d'air ventilée devient donc une lame d'air fermée et constitue une première barrière isolante. La seconde barrière est constituée par l'isolant thermique intérieur, ce qui limite fortement les apports.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental d'un mur trombe est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- Résistance thermique plus importante que le mur non ventilé ;
- Contrôle de la quasi-totalité des apports par l'intermédiaire de la lame d'air ;
- Restitution des apports avec un décalage important dans le temps ;
- Gestion quotidienne des clapets (possibilité d'ouverture et de fermeture automatique).

Points de vigilance

- Coût plus élevé qu'un mur traditionnel ;
- Pas de fabricants de systèmes : les ouvertures doivent être faites sur mesure par le menuisier sur chaque chantier ;
- Mise en œuvre plus compliquée et plus chère ;
- Nettoyage régulier du vitrage extérieur nécessaire ;
- Nettoyage régulier du vitrage intérieur : le vitrage du mur Trombe s'encrasse à cause de la circulation d'air. Il doit être facilement démontable.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Sur investissement lié à l'enveloppe transparente.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Technique spécifique de conception, peu ou pas d'informations sur les savoir-faire.
Pas d'entreprises spécialisées.

Référence :

La technique est bien connue des bureaux d'études et des architectes mais il existe peu de réalisations de mur trombe en logement.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Le mur trombe est un procédé conceptuellement intéressant, très peu répandu.

Les objections sont les suivantes :

- Chaque mise en œuvre demande une ingénierie spécifique et pose le problème des garanties de performance et de bon fonctionnement ;
- L'entretien périodique est nécessaire ;
- Les vitrages sur les murs périphériques sont d'une esthétique souvent discutée et sont fragiles.

Bénéfice client :



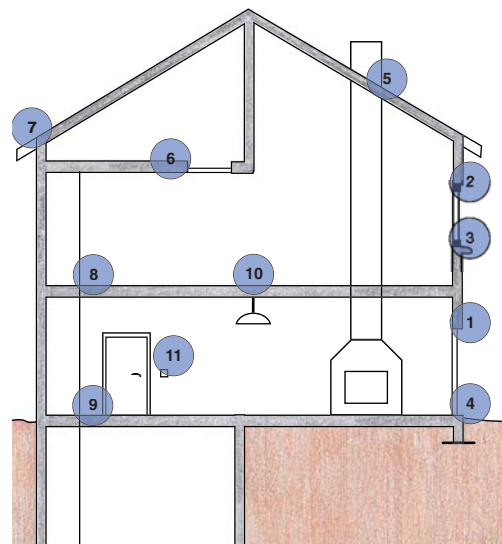
■ Bénéfice majeur (1^{er} ordre)

■ Bénéfice secondaire (2nd ordre)

VOLET DESCRIPTIF

Définition :

La perméabilité à l'air d'un local ou d'un bâtiment se caractérise par les infiltrations d'air extérieur. Un grand nombre de ces infiltrations est dû aux ouvertures autour des fenêtres, des portes et des prises de courant. Mais certaines fuites d'air sont plus difficilement réparables, par exemple les interstices autour des cheminées et des conduits amenant l'air directement du sous-sol vers l'entre-toit.



Les fuites d'air sont la cause d'une partie importante des pertes de chaleur d'un bâtiment, en diminuer l'étendue doit être un des premiers objectifs de la rénovation ayant pour but l'amélioration de l'efficacité énergétique.

Solutions :

Il est possible de supprimer certaines fuites d'air en posant des coupe-bise, des joints d'étanchéité, des produits de calfeutrage et du ruban adhésif. Lors de chaque étape d'isolation, il est nécessaire de poser un pare-air ou réparer celui installé.

L'étanchéité d'un local ou d'un bâtiment est obtenue par une enveloppe qui empêche la sortie aussi bien que l'entrée d'air. La bonne qualité d'étanchéité d'un bâtiment dépend en grande partie de la précision d'exécution des travaux. Mais pour rendre un bâtiment étanche, il est surtout nécessaire de savoir à quels endroits l'habitation n'est pas étanche.

Légende

1 - 2	Linéaux de baies	6	Trappe des combles
3	Appui fenêtre	7	Joint toiture - mur
4	Joint mur-dormant	8 - 9	Sections de plancher
5	Cheminée - toiture	10	Plafonnier
		11	Prises / interrupteurs

Illustration 41 : Localisation des infiltrations d'air dans une habitation.
Schéma d'après le Centre d'Etude Technique de l'Équipement (CETE).

Procédure de contrôle de la perméabilité à l'air en phase chantier :

Le test de perméabilité de l'air ou « infiltrométrie » consiste à déceler, à visualiser et à évaluer les fuites d'air de l'enveloppe d'un bâtiment (les châssis de portes et de fenêtres, les fissures, la maçonnerie, ...).

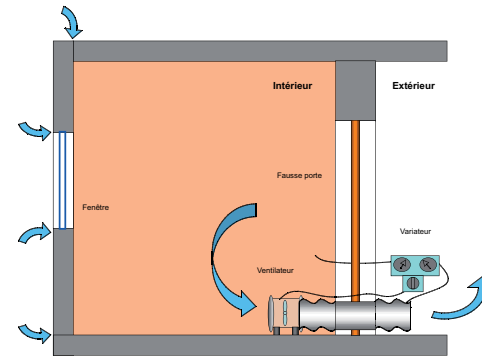


Illustration 42 : Schéma d'une fausse porte.
Schéma d'après le CETE.

Cette technique consiste à mettre les locaux en dépression ou en surpression à l'aide d'une fausse porte dans laquelle est inséré un ventilateur et de repérer les zones où l'air aspiré par la dépression s'infiltré au travers de l'enveloppe.

Puis, on mesure le débit d'air nécessaire pour maintenir la différence de pression constante entre l'extérieur et l'intérieur du local.

Ce débit d'air correspond au volume d'air qui s'échappe par les fuites de l'enveloppe du bâtiment.

La visualisation des infiltrations peut se faire de 3 manières :

- Par thermographie infrarouge avec visualisation des endroits qui ont été refroidis par le passage de l'air provenant de l'extérieur ;
- Par anémomètre qui détecte le déplacement de l'air à l'endroit de l'infiltration ;
- Par une fumée artificielle qui s'infiltré aux endroits perméables.

Ces techniques de visualisation permettent d'assurer une bonne étanchéité précisément aux endroits défectueux.



Vue intérieure.

Vue extérieure.

Illustration 43 : Porte soufflante (Blower door).

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental d'une bonne perméabilité à l'air est le suivant :

Préserver les ressources				Réduire les pollutions			Réduire	Réduire les nuisances		Améliorer	
Énergie	Matière	Eau	Biodiversité	Air	Eau	Sols	Déchets	Bruits	Odeurs	Confort	Santé

Action forte (1^{er} ordre)

Action secondaire (2nd ordre)

VOLET COÛT GLOBAL

Avantages (si traitement de la perméabilité)

- Amélioration du rendement énergétique de la maison ;
- Confort accru ;
- Réduction des pertes thermiques ;
- Meilleure protection de l'ossature du bâtiment ;
- Diminution du bruit et de la poussière provenant de l'extérieur.

Point de vigilance

- La mise en œuvre de l'infiltrométrie, longue et délicate, doit être effectuée par un personnel qualifié.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Coût du contrôle en phase chantier de l'ordre de 1000 € pour une maison.

Économie de charges :

Les économies de charges réalisées peuvent être conséquentes si la mesure a bien été effectuée. En effet, les déperditions d'un bâtiment à combattre par le chauffage comprennent les déperditions par les parois, les ponts thermiques et les pertes par renouvellement d'air.

Si de par sa conception, un bâtiment est rendu imperméable à l'air, alors les gains sur le poste chauffage seront conséquents. Il faut compter 1 000 kWh / an d'économie pour un logement de 100m².

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Technique de mesures à mettre en œuvre une fois le bâtiment achevé. Tests réalisés par des bureaux d'études équipés du matériel nécessaires.

Bénéfice client :

A	B	C	D	E	F
Économie	Patrimoine	Modernité	Écologie	Santé	Confort

Bénéfice majeur (1^{er} ordre)

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

L'étanchéité à l'air d'un logement est un facteur clé des économies d'énergie, du confort de vie et du bon fonctionnement de la VMC, donc de l'évacuation des polluants, des odeurs et de l'humidité. La perméabilité maximum est prévue dans la RT 2005 ; soit : 0,8 m³ / h.m² pour les maisons individuelles et 1,2 m³ / h.m² pour les appartements.

Une bonne étanchéité est difficile à valoriser commercialement car elle correspond à une qualité globale de la mise en œuvre, mais sans matérialisation objective de la prestation. La vérification de l'étanchéité reste lourde à mettre en œuvre.

Dans l'attente d'un futur référentiel et d'un label de qualité, une infiltrométrie donnera lieu à un procès verbal (PV) de la part de l'organisme de contrôle. Une bonne étanchéité à l'air permet un gain de 3 à 8 points sur la consommation conventionnelle d'énergie, et aura donc une incidence sur la catégorie d'efficacité énergétique dans laquelle sera placé le bâtiment lors de son Diagnostic de Performances Energétiques (DPE).

VOLET DESCRIPTIF

Appelés spots solaires, *sunpipes*, canons à lumière, puits de lumière tubulaires ou encore tubes de lumière passifs ou opaques, ces systèmes ont tous pour objet de capter et d'acheminer la plus grande partie du spectre visible de la lumière naturelle à l'intérieur d'un bâtiment pour maximiser l'éclairage naturel des locaux. Les principes et technologies mis en œuvre pour l'ensemble de ces systèmes étant similaires, nous nommerons l'ensemble de ces technologies « lampes solaires ».

Les lampes solaires comportent un dôme de protection auto-nettoyant généralement positionné en toiture associé à un réflecteur, un tube d'extension en aluminium recouvert d'un film réfléchissant généralement en argent et un diffuseur qui, comme son nom l'indique, a pour objet d'assurer une diffusion homogène de la lumière dans une pièce. En fonction des contraintes rencontrées, le système pourra comporter plusieurs coudes.

Certains fournisseurs proposent différentes options complémentaires comme une régulation électromécanique commandée par un commutateur situé dans la pièce éclairée qui actionne un déflecteur papillon, situé dans le tube, permettant ainsi un réglage de l'intensité lumineuse. Des systèmes hybrides combinant lampe solaire et ventilation sont également disponibles.

Il est également possible de combiner éclairage naturel et artificiel avec la même installation (kit d'éclairage intégré au diffuseur ou en aval du tube).

Enfin un dispositif d'étanchéité spécifique doit être mis en œuvre au niveau de la sortie en toiture.

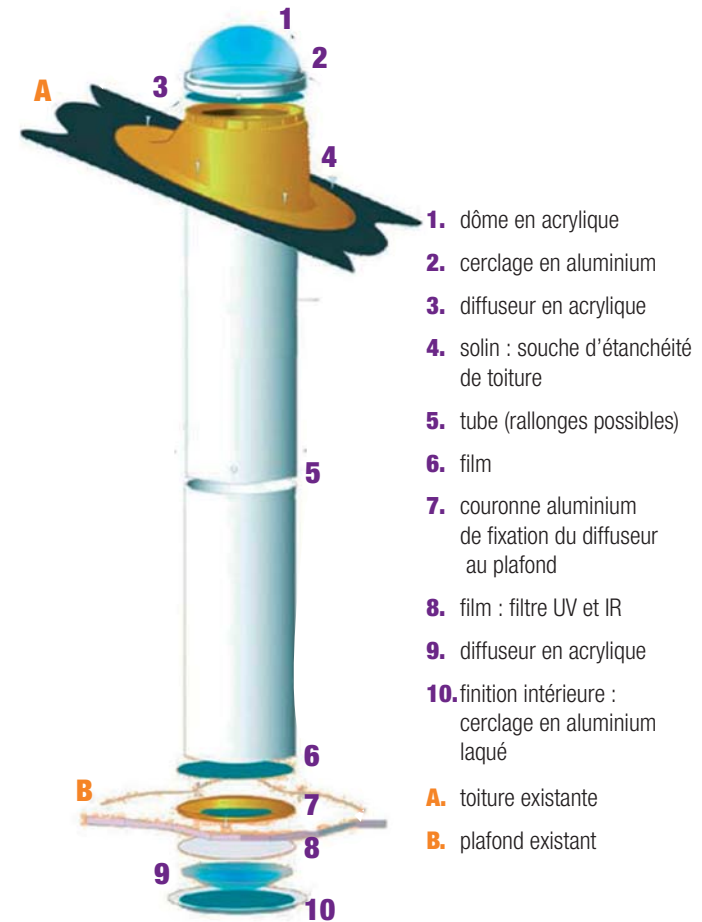


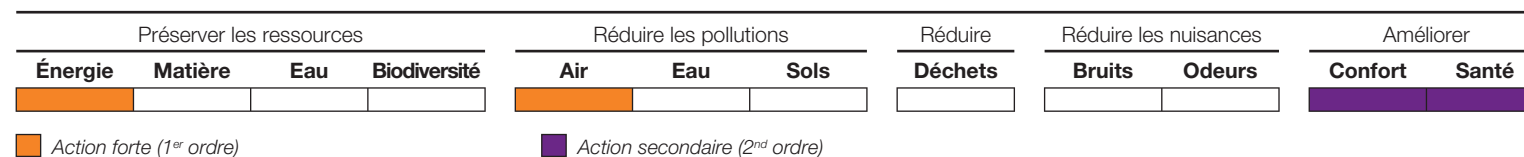
Illustration 44 : Schéma de principe d'un canon à lumière.
Source : Solarwill.



© Photo : SOLENER.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental d'un canon à lumière est le suivant :



Règles de dimensionnement :

- Principaux diamètres de tubes rencontrés : 25, 35, 37.5, 45, 53 et 65 cm.
- Coefficient de transmission d'un tube linéaire (installation standard) : de 80% à 98% pour les films de dernière génération selon les fabricants).

- Choix du diamètre du conduit en fonction de l'étendue de la surface à éclairer ainsi que de la géométrie et de la longueur du parcours.

Longueur maximum recommandée pour le tube (données relatives aux systèmes d'un fabricant) :

Diamètre du tube	250 mm	350 mm	530 mm
Long max. recommandée	6 m	9 m	12 m

Surface maximum éclairée par une lampe solaire (données relatives aux systèmes d'un fabricant) :

Diamètre du tube	250 mm	350 mm	530 mm
Surface maximale éclairée	14 m ²	23 m ²	37 m ²

VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- Possibilité d'éclairage naturel dans des pièces sans ouvertures sur l'extérieur ;
- Amélioration des apports de lumière externes dans des pièces où l'éclairage naturel est insuffisant ou pas suffisamment homogène ;
- Meilleure qualité de l'éclairage ;
- Réduction possible de la consommation d'électricité pour l'éclairage ;
- Systèmes adaptables aux terrasses et à de nombreux types de toitures ;
- Mise en œuvre ne nécessitant généralement pas d'intervention lourde sur le bâti pour

les installations en toiture (passage du tube entre chevrons possible pour les diamètres petits à moyens) ;

- Pas d'entretien ou de nettoyage selon les fournisseurs si on privilégie les systèmes garantis étanches (en général garantie de 10 ans sur le matériel).

Points de vigilance

- Coût d'investissement élevé ;
- Régulation de l'éclairage compliquée. Tous les fournisseurs ne proposent pas de système de régulation (risque d'éblouissement si celui-ci n'est pas installé). En cas d'éclairage insuffisant par la lampe solaire, un éclairage artificiel « tout ou rien » peut conduire à un déficit d'éclairage si l'utilisateur décide de ne pas l'utiliser, ou à un surcroît d'éclairage si celui-ci l'utilise ;

- Manque de garanties concernant l'étanchéité, la résistance à la neige, à la grêle : pas d'Avis Technique à l'heure actuelle (démarche en cours pour des systèmes proposés par un fabricant) ;
- Manque d'informations sur les impacts potentiels du système sur le plan thermique (déperditions en hiver et apports de chaleur en été) ;
- Peu de données techniques sur ces systèmes, ceux-ci ne figurant pas dans les catalogues d'éclairage (marché réduit).

Les différents postes du coût global

Investissement :

Le coût dépend du diamètre du puits de lumière, celui-ci dépendant de la surface à éclairer.

Le tableau ci-dessous présente des exemples de tarifs HT provenant des principaux fabricants de lampes solaires (prix public ne comprenant pas la pose) :

Prix en €	Diamètres (mm)			
	230	300	450	530
Kit basique avec 1 coude de 30°	380	550	720	1000
Kit basique avec 1 coude de 45°	400	590	780	1070
Extension standard (610 mm)	55	70	100	120
Coude de 30°	60	80	120	140
Coude de 45°	90	120	180	200
Surface éclairée (m ²)	9	14	22	40

Illustration 46 : Puits à lumière, coût de différents éléments.

Entretien maintenance :

Les fournisseurs affirment que leurs systèmes ne nécessitent pas d'entretien (système autonettoyant).

Toutefois un contrôle annuel semble souhaitable afin de vérifier l'état de l'étanchéité et l'état du globe (état général, occultations par des déjections d'oiseaux...).

Économie de charges :

Les économies portent sur les consommations électriques. En effet, l'utilisation d'une lampe solaire limite le recours à l'éclairage artificiel.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Références :

Peu de références en France, il existe des cas pour les bâtiments administratifs, ou établissement scolaires.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

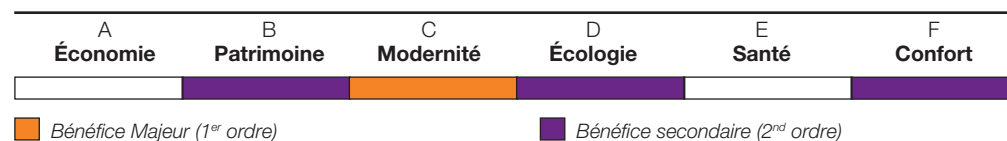
Ces équipements restent coûteux (plus-value de l'ordre de 1 500 à 2 000 € par unité sur une maison). Ils ne sont cependant pas du domaine du gadget car ils apportent une luminosité naturelle importante dans les parties centrales d'une maison et peuvent requalifier une pièce borgne en véritable pièce à vivre (par exemple une salle de bains).

Ces équipements peuvent aussi permettre de vivre volets fermés, tout en bénéficiant d'une lumière naturelle (avantage de l'enfermement maximum en restant en système ouvert sur le naturel).

Il ne faut pas chercher à argumenter sur les économies d'éclairage réalisées.

Par contre un tel équipement peut donner à une maison une forte valeur d'image de luxe et de sophistication associée à une légitimité écologique (un propriétaire qui fait attention à ne pas gaspiller l'énergie). Les équipements qui cumulent ainsi des valeurs de différenciation sociale et d'assimilation sociétale ne sont pas si nombreux.

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

Le rôle du puits canadien ou puits provençal :

Ce système permet, en période estivale, de réduire la température intérieure d'un logement de 5 à 8°C pour une faible consommation électrique (on l'appelle alors « puits provençal »). En période hivernale, il permet de préchauffer l'air neuf d'un logement afin de réduire la consommation de chauffage (d'où l'appellation de « puits canadien »).

Le principe de fonctionnement :

Le principe du puits canadien réside dans une utilisation passive l'énergie géothermique. On fait pour cela passer une fraction de l'air neuf de renouvellement par des conduits enterrés dans le sol à une profondeur d'environ 1,5 mètre (profondeur à laquelle la température du sol varie peu au cours de l'année), avant qu'il ne pénètre dans le logement. En **hiver**, le sol a une température plus élevée que celle de l'air extérieur. L'air froid est ainsi préchauffé quand il passe dans les conduits enterrés. Avec ce procédé, l'air aspiré par la VMC ne provient pas directement de l'extérieur (via les bouches d'aération des fenêtres), d'où une économie de chauffage.

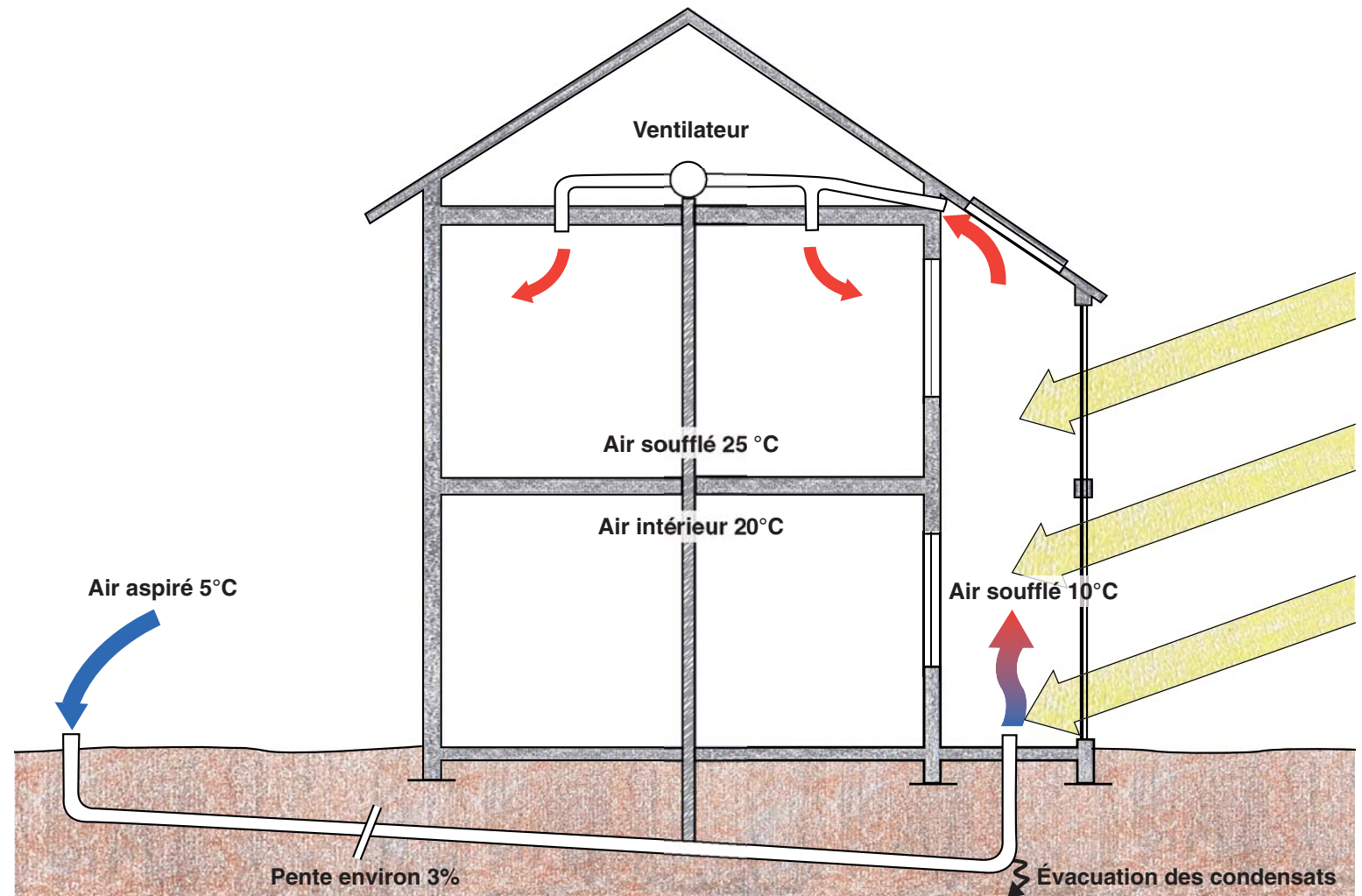


Illustration 47 : Principe de fonctionnement « hiver » d'un puits canadien couplé à une serre – Schéma d'après l'Agence Méditerranéenne de L'Environnement.

Ce système permet également la mise hors gel du logement lorsque les occupants s'absentent pendant l'hiver.

Théoriquement, il faut éviter que le volume d'air qui traverse le sol ne soit pulsé trop rapidement (max. 3m/s) et qu'il ne soit trop important (sinon, il ne se réchaufferait pas suffisamment). Pour la même raison, le rapport entre le volume d'air et la surface d'échange du tube ne doit pas être supérieur à 6.

Inversement, en **été**, le sol est plus froid que l'air extérieur : on utilise donc la fraîcheur relative du sol pour tempérer l'air entrant dans le logement. Ce système permet alors de rafraîchir l'air ; ce qui est différent d'une climatisation, qui refroidit l'air d'un logement. En France, on a pu constater l'efficacité du puits canadien sur certaines installations existantes, avec :

- Fin juin 2002 : température extérieure 31,5°C à l'ombre, flux d'air pénétrant par le puits canadien : 19,5°C ;
- Début décembre 2002 : température extérieure 3°C, flux d'air puits canadien 14,5°C.

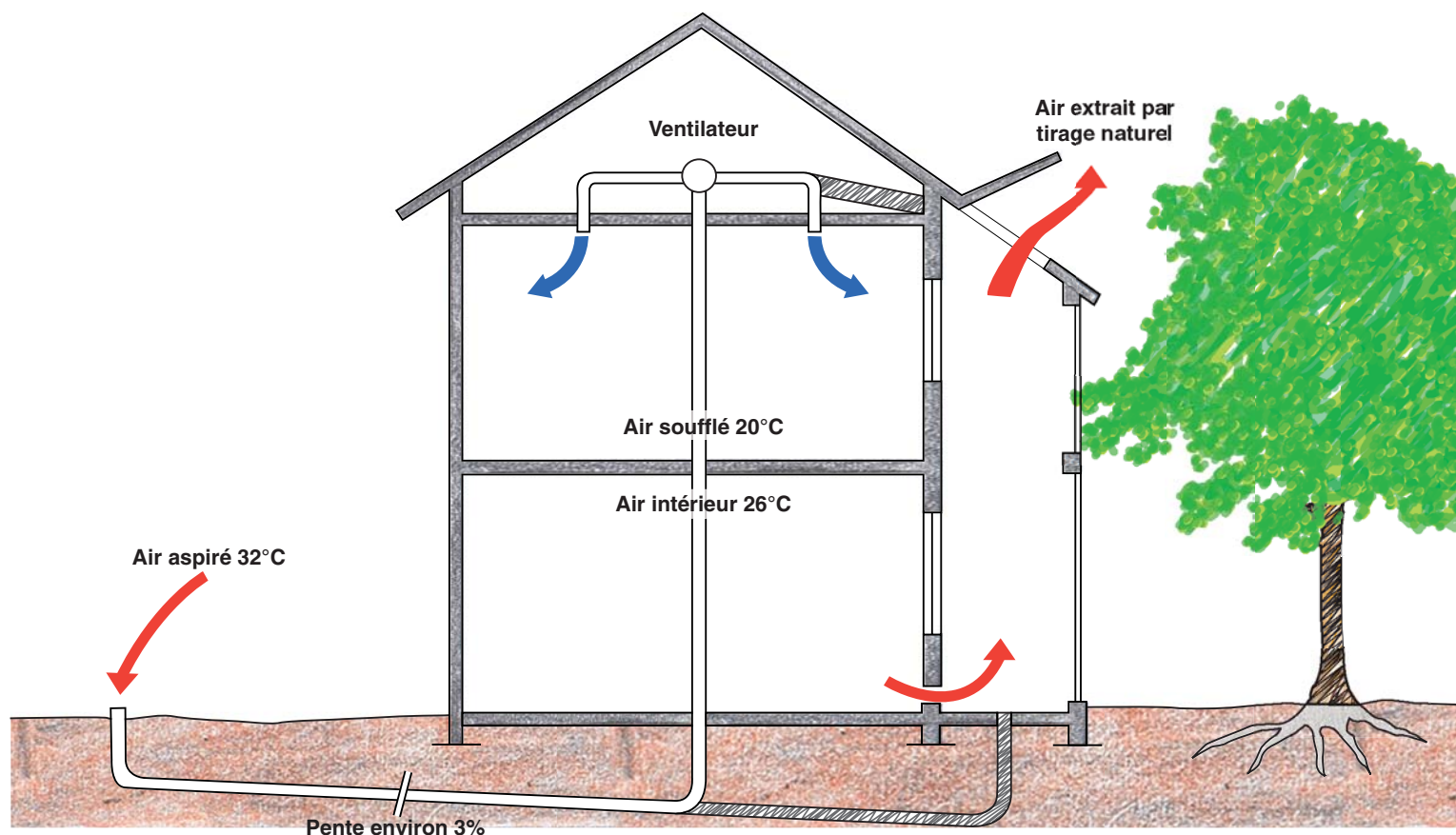
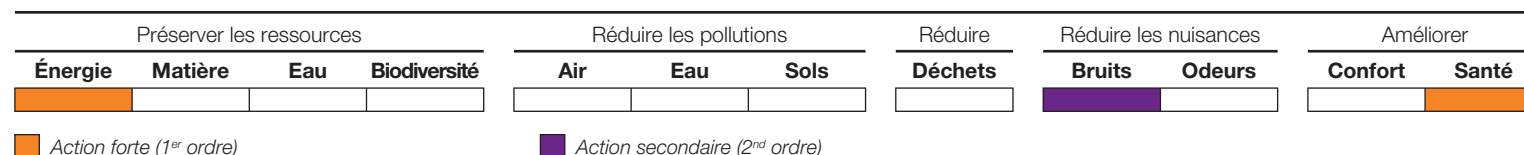


Illustration 48 : Principe de fonctionnement « été » d'un puits canadien couplé à une serre – Schéma d'après l'Agence Méditerranéenne de L'Environnement.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental d'un puits canadien est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- Système peu coûteux et efficace pour réaliser des économies d'énergie ;
- Facilité de mise en œuvre ;
- Réduction de la pollution de l'air (pollen) et la poussière dans la maison grâce à un système de filtre réduit ;
- Fonction de climatisation naturelle en été, le système ne consommant que quelques watts pour le ventilateur.

Point de vigilance

- Difficulté à nettoyer les tubes enterrés.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Le terrassement constitue une part importante du coût. Le coût va donc dépendre de l'opportunité de travaux de terrassement ou de la nécessité de réaliser ces travaux en plus.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Pas d'entreprise spécialisée dans la réalisation de puits canadien en Ile-de-France. Il est important de décrire précisément les éléments constitutifs d'un puits dans un descriptif travaux pour que l'entrepreneur suive à la lettre les recommandations de pose.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Le principe du puits canadien – ou puits provençal – enthousiasme facilement les ménages qui ont une sensibilité écologique.

En usage d'été, il permet effectivement de se passer de climatisation, mais :

- Le coût d'investissement est relativement élevé car il doit être associé à une VMC double flux (débours chantier de plus de 3 500 € avec la VMC) ;

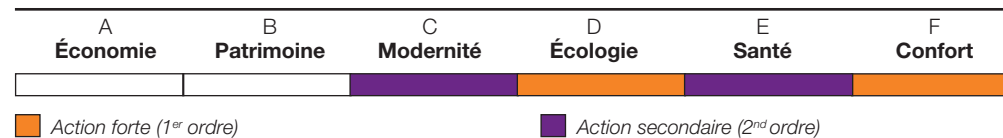
- Au-delà de la simplicité du principe, un fonctionnement satisfaisant implique des équipements sophistiqués : tuyaux anti-bactériens, relevage des condensats, systèmes de gestion des temps de fonctionnement pour ne pas épuiser les ressources du sol, ...

Globalement, il permet de vivre fenêtres fermées dans une atmosphère fraîche et saine grâce aux différents filtres dont on peut équiper la prise d'air

En usage d'hiver, le bilan est réduit car l'échangeur de la VMC double flux a déjà un rendement de l'ordre de 60% à 90 %. Le puits canadien doit être considéré comme une option « d'appel » qui signe de façon spectaculaire l'orientation écologique d'une opération de promotion.

Pour le promoteur, le poste SAV (service après-vente) et accompagnement de l'utilisateur n'est pas négligeable.

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

Selon leur orientation, les vitrages représentent une source de surchauffe importante en été s'ils ne sont pas protégés par des dispositifs spécifiques. Toute surface vitrée verticale orientée de nord-est à nord nord-ouest en passant par le sud doit être équipée de protections solaires extérieures adaptées en fonction de l'orientation. Il en va de même pour les parois vitrées horizontales ou inclinées.

Les protections solaires permettent de limiter le flux solaire dans un bâtiment, empêchant l'air entrant d'être trop chaud et évitant la présence de taches solaires qui engendrent une surchauffe des murs et une augmentation de la température radiante. Par ailleurs, l'éblouissement est réduit et ces protections solaires assurent un meilleur confort visuel.

Il existe plusieurs sortes de protections solaires. On peut citer des éléments architecturaux fixes ou mobiles (casquettes, brise soleil...) ou des stores intérieurs ou extérieurs pour les baies. Les protections solaires intérieures permettent de réguler la quantité de lumière naturelle et l'éblouissement, mais elles ne suffisent pas pour réduire les apports solaires d'été.

Les systèmes qui protègent du rayonnement direct tout en laissant passer la lumière naturelle répondent aux exigences de confort thermique et visuel. Il s'agit par exemple des étagères à lumière.

Étagères à lumière :

Ce sont des surfaces fixes placées perpendiculairement et horizontalement le long de la fenêtre qui permettent une protection directe du rayonnement solaire et un bon éclairage naturel sur toute la profondeur de la pièce.

Les étagères à lumière divisent la fenêtre en deux parties permettant une vision au loin. Par ailleurs, la lumière entre facilement par réflexion jusqu'au fond de la pièce.

Ces protections peuvent être constituées de différents matériaux comme l'aluminium ou le béton par exemple, mais leur face supérieure doit être claire. Pour une meilleure intégration, le choix doit se faire en fonction des matériaux de façade.

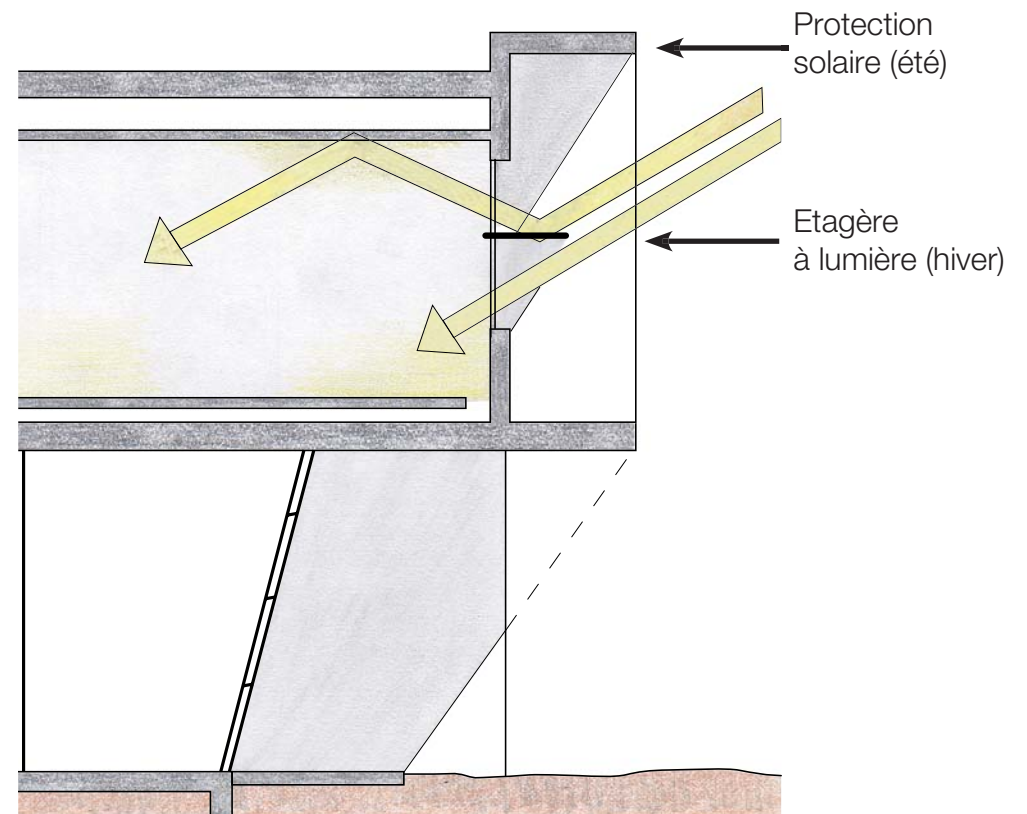


Illustration 49 : Étagère à lumière, Lycée du Pic Saint-Loup (34).
Schéma d'après les Annales «Esquisses vertes» 2004-2005, ARENE.

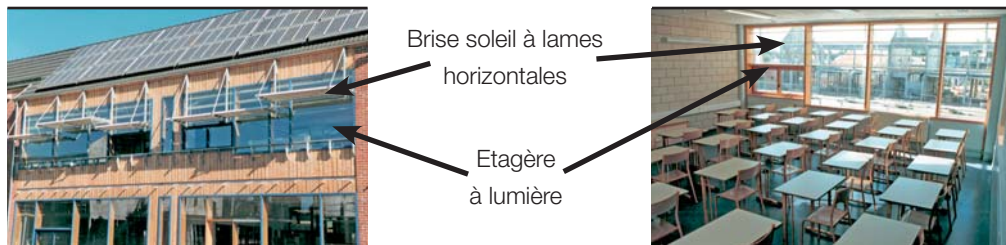


Illustration 50 : Étagère à lumière, Lycée de Caudry, Calais (59).

Source : Référence Lycée de Caudry – Architectes : QUATR'A Architectes associées (X. Bouffard, J.L. Leclercq).

Stores SCREEN :

La dénomination SCREEN a été donnée à des toiles dont le tissage est percé. Les rayons solaires sont ainsi atténués mais les toiles laissent passer l'air et une lumière douce filtre dans les pièces.

Les stores se posent à l'extérieur. Ils protègent contre les surchauffes à l'intérieur, et contre l'éblouissement, tout en assurant une bonne visibilité sur l'extérieur. Le tissu est réalisé en fibres de verre enrobées de PVC.

Stores intégrés au double-vitrage :

Ce sont des stores de toile, ou à lamelles fixes ou orientables, placés entre les vitrages. Cette solution est thermiquement plus efficace que les stores intérieurs et permet de protéger les stores des intempéries (pluie, vent).

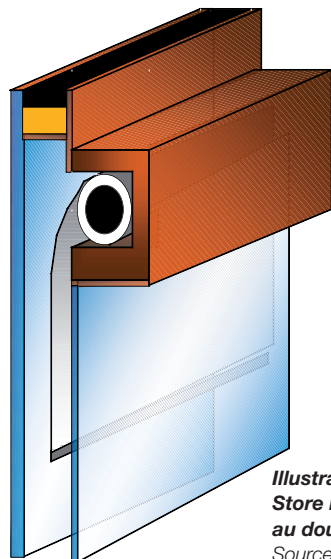


Illustration 51 : Store intégré au double vitrage.

Source : ARENE.

Brise-soleil :

Ils peuvent consister en des éléments horizontaux ou verticaux, fixes ou orientables, placés au-dessus ou dans la partie haute de la fenêtre. Les brise-soleil horizontaux, à l'instar des débords de toitures, sont surtout efficaces en orientation sud, puisqu'ils permettent de stopper les rayons solaires d'été, tout en laissant passer les rayons solaires d'hiver (qui sont plus bas). En orientation est ou ouest, des brise-soleil verticaux sont préférables.

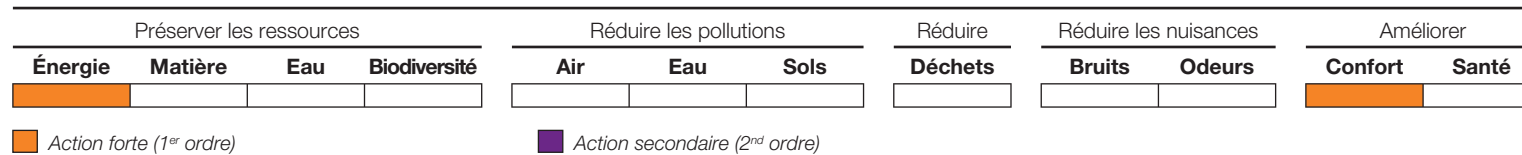


Illustration 52 : Brises soleil, bâtiment SH3, Université de Lille 1 (59).

Architectes AUA/L.Kroll+QUATR'A Architectes associés (X. Bouffard, J.L. Leclercq).

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental des protections solaires est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- Ces systèmes permettent une protection efficace contre l'éblouissement et les surchauffes estivales.
- Par ailleurs, bien intégrés, ils permettent souvent une mise en valeur architecturale du bâtiment.

Points de vigilance

- Les systèmes motorisés (stores) demandent une maintenance plus importante et entraînent des consommations d'énergie.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Les stores SCREEN coûtent environ 61 € par m² de stores lorsqu'ils ne sont pas motorisés et 152 € par m² avec moteur.

Économie de charges :

Les étagères à lumière distribuant parfaitement la lumière dans la pièce, les économies sont réalisées sur le poste éclairage artificiel.

Si le bâtiment est bien équipé en brise-soleil, on peut également noter une économie sur le poste climatisation en été (ces équipements restent rares en habitat individuel).

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Références :

Les références actuelles concernent principalement des bâtiments administratifs ou les établissements scolaires.

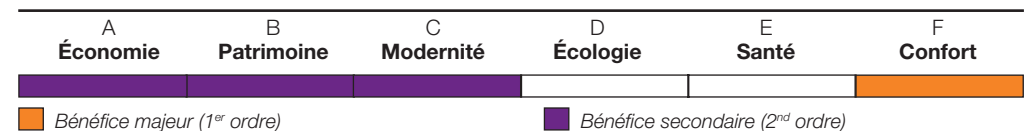
Les stores, rideaux et protections amovibles peuvent être mis en œuvre dans le logement.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Les protections solaires sont le complément indispensable à la présence de surfaces vitrées importantes (qui assurent les apports passifs d'énergie solaire). Dans la majorité des régions, elles permettent d'assurer le confort d'été sans recours à une climatisation énergivore.

- Les protections solaires fixes intégrées aux façades sont des éléments architecturaux qui signent le plus souvent un style contemporain.
- Les stores sont essentiellement perçus comme des éléments de décoration. Or, une décoration optionnelle de qualité fait vendre.

Bénéfice client :



Cependant les stores intérieurs sont de faible efficacité thermique, et les stores extérieurs (exposés aux intempéries) se dégradent vite...

- Les volets (roulants, battants, ou coulissants) ont l'avantage d'être multifonctions, ils protègent des surchauffes d'été, ils complètent l'isolation thermique nécessaire en saison froide sur la partie faible des ouvertures, et ils assurent une protection anti-intrusion. Les volets roulants sont actuellement très demandés par les ménages, car ils sont aujourd'hui motorisés.

ÉQUIPEMENTS ÉNERGÉTIQUES

VOLET DESCRIPTIF

Ce système installé dans les combles est composé d'un ventilateur et d'un échangeur. Il permet de limiter les pertes de chaleur inhérentes à la ventilation : il récupère la chaleur de l'air vicié extrait de la maison et l'utilise pour réchauffer l'air neuf filtré venant de l'extérieur.

L'échangeur est situé entre le caisson d'extraction et la sortie d'air en toiture. L'air neuf est aspiré de l'extérieur, se réchauffe en croisant l'air extrait de l'intérieur de la maison (par des bouches d'extraction placées en cuisine, salle de bains et WC). L'air neuf ainsi plus chaud est ensuite pulsé par le ventilateur vers l'intérieur des pièces (par des bouches d'insufflation placées en chambres et séjour), l'air extrait plus froid est repoussé vers la sortie.

La pulsion se distribue via un réseau de conduites verticales et horizontales dans les faux plafonds. Les conduits verticaux d'évacuation d'air sont semblables aux conduits des systèmes « simple flux » et peuvent être disposés parallèlement aux conduits verticaux d'amenée d'air.

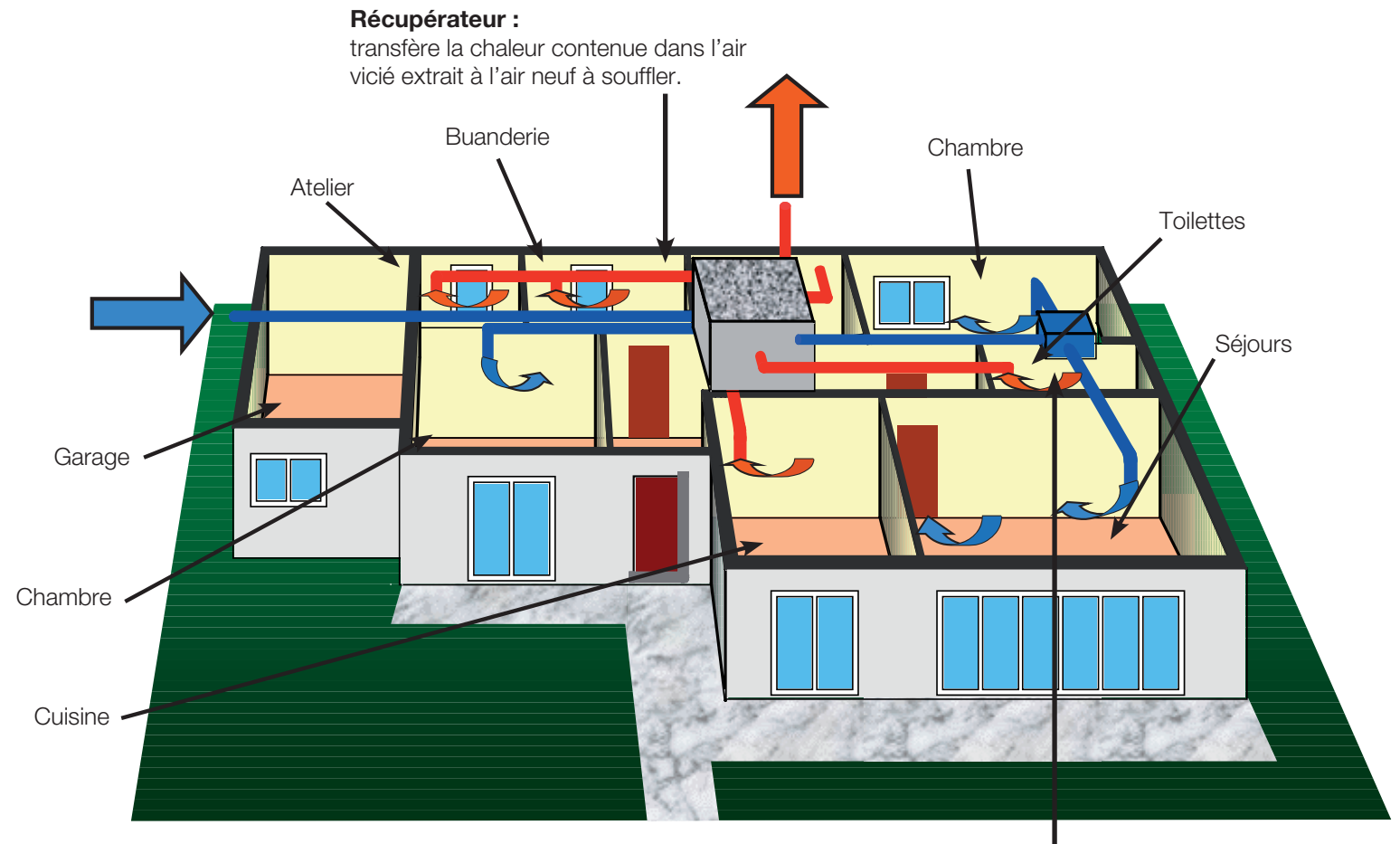
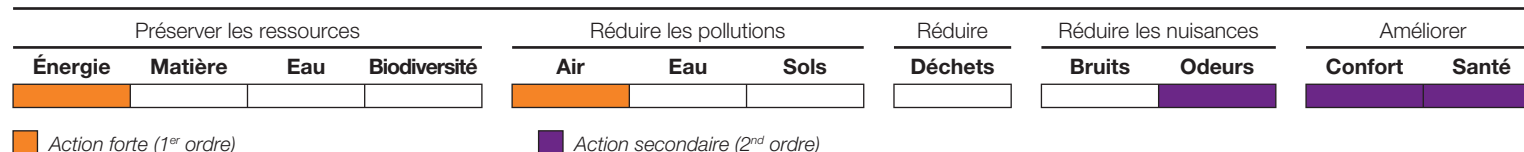


Illustration 53 : Schéma général d'un circuit de ventilation double flux. – Schéma d'après l'ADEME.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental de la ventilation naturelle est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

Le renouvellement d'air peut représenter 30% de la consommation d'énergie de chauffage. Une ventilation double flux avec récupération de calories sur l'air extrait permet :

- de réduire de 50 à 60% les déperditions par renouvellement d'air grâce à la récupération de chaleur sur l'air extrait ;
- de filtrer l'air entrant ;
- d'atteindre une bonne performance acoustique vis-à-vis de l'extérieur, en raison de l'absence d'entrées d'air au niveau des huisseries.

La modulation des débits apporte des gains énergétiques complémentaires :

- Par la réduction des déperditions dues à la ventilation ;
- Par la diminution des consommations électriques des ventilateurs.

Points de vigilance

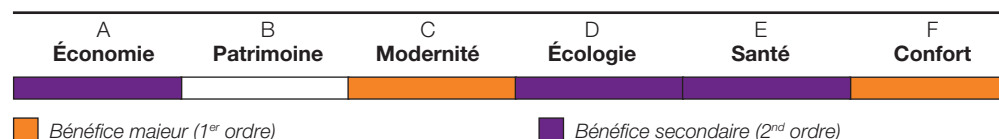
- D'un point de vue économique, la VMC double flux présente un temps de retour de l'ordre de dix ans ;
- Les bouches d'insufflation peuvent être bruyantes, donc gênantes, en particulier dans les chambres, en cas de mauvaise conception ; il s'agit donc de calculer le débit de soufflage en préalable afin de dimensionner le diamètre de la gaine. On cherchera à atteindre des vitesses d'air < 2,5m / s.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Le prix d'une ventilation mécanique contrôlée de type «double flux» est compris en moyenne, selon les caractéristiques techniques et selon les difficultés de pose, entre 2 000 et 4 000 € TTC.

Bénéfice client :



	Moyenne gamme	Haut de gamme
Marque	Hélios / Aldes / France Air	Swegon / Renson
Coût moyen (fourniture et pose)	2 000 € TTC	3 500 € TTC

Illustration 54 : Coûts comparés de systèmes de ventilation double flux.

Entretien maintenance :

L'entretien est plus important que pour une ventilation simple flux

Économie de charges :

Rentabilité sur 10 ans. Les entreprises de génie climatique montent aussi bien de la ventilation simple flux que de la ventilation double flux.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Référence :

Peu d'installation double flux en France en logement, la VMC simple flux reste largement majoritaire en logement.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

La VMC double flux doit être présentée comme une prestation de confort et de santé plutôt que comme un équipement destiné à économiser l'énergie.

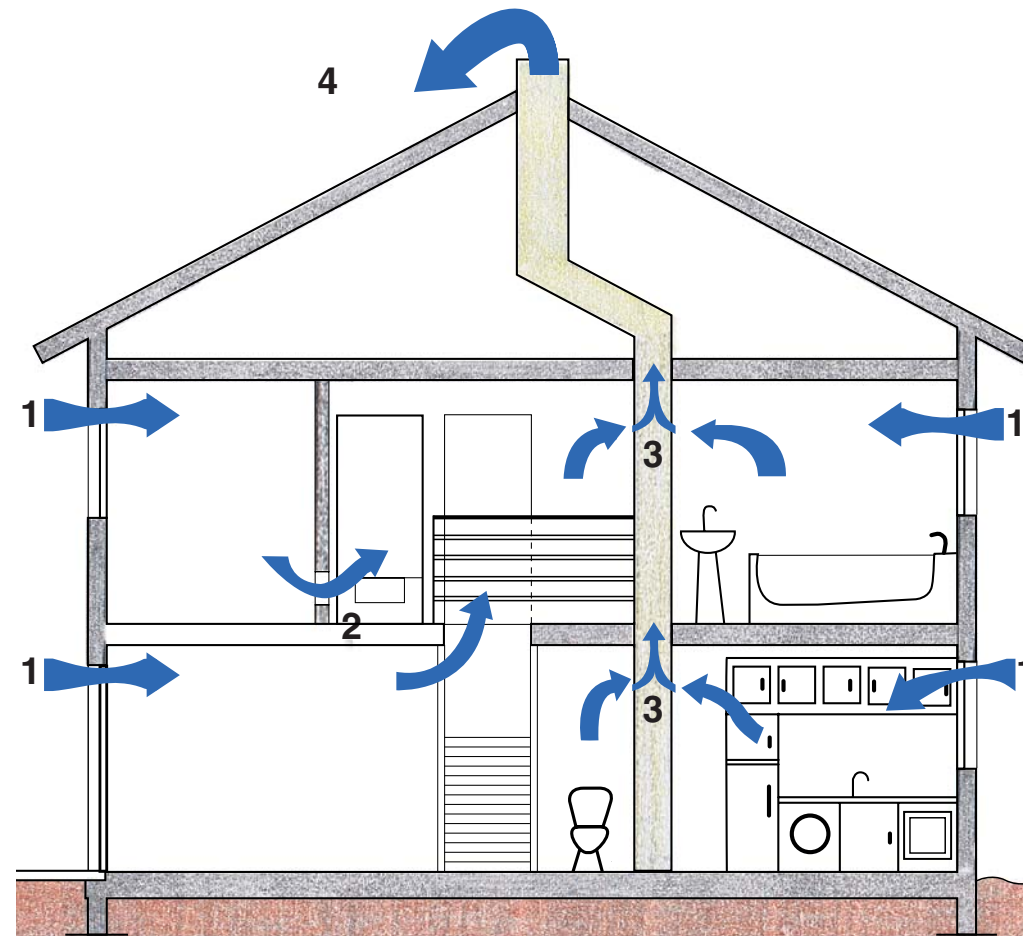
- La plus value d'investissement sera pour le client de l'ordre de 2 500 € par rapport à une VMC simple flux et les économies d'énergie avoisineront 200 à 300 € par an ;
- Le système permet de vivre fenêtres fermées, dans un air sain car filtré. Il isole des pollutions et des bruits de l'extérieur, ce qui est important en zones urbaines.

VOLET DESCRIPTIF

Le rôle de la ventilation :

La ventilation facilite l'aération des locaux en évacuant l'air vicié, et en le renouvelant par de l'air frais.

La ventilation joue un rôle indispensable pour limiter la concentration des polluants dans l'air ambiant des habitats. Elle est également nécessaire pour limiter le risque de moisissures en retirant l'humidité générée dans la maison par la présence et les activités des occupants : 10 à 20 ou 30 litres d'eau par jour et par habitant, dont 1 à 1,5 litres, rien que pour la respiration et la transpiration provenant de l'extérieur : pluie, remontée du sol, défauts ou usure de la construction... La ventilation est en outre indispensable pour l'apport d'oxygène essentiel à notre respiration et pour une bonne combustion des carburants utilisés dans la maison pour le chauffage, la cuisine...



Légende :

1. Ouverture d'alimentation
2. Ouverture de transfert
3. Ouverture d'évacuation
4. Débouché en toiture de l'évacuation

Illustration 55 : Principe de fonctionnement de la ventilation naturelle. – Schéma d'après Greenpeace.

Principe de fonctionnement :

Contrairement à la Ventilation Mécanique Contrôlée, la ventilation hygiénique naturelle ne requiert aucun dispositif mécanique pour fonctionner. Elle peut cependant, dans le cas d'une ventilation mécanique assistée, être couplée à un mécanisme d'assistance. La circulation de l'air se fait par tirage thermique, grâce aux différences de températures entre l'intérieur et l'extérieur, et par les différences de pressions générées par le vent sur l'enveloppe du bâtiment. Pour avoir un **tirage thermique** significatif, il est essentiel d'avoir un point bas d'aération pour l'entrée d'air frais et un point haut pour l'extraction d'air chaud.

Dans les logements récents, chaque pièce principale est équipée d'un orifice d'entrée d'air neuf qui ajuste, selon les technologies, la section de passage de l'air en fonction du vent et des besoins (ceux-ci sont liés au taux d'humidité). Les sorties d'air sont fixes, ou réglables manuellement. En habitat collectif, les conduits d'évacuation à tirage naturel peuvent être soit individuels – ils ne desservent alors qu'une pièce de service-, soit collectifs – ils desservent alors plusieurs pièces.

Le renouvellement de l'air d'un logement ventilé naturellement varie en fonction des conditions climatiques.

L'entrée de l'air neuf est assuré par :

- Des grilles d'aération situées dans les pièces principales, intégrées aux portes et/ou aux fenêtres ; les grilles peuvent être :
 - Réglables manuellement ;
 - Auto-réglables : la quantité d'air frais entrant est constante et indépendante de la vitesse du vent ;
 - Hygro-réglables : la quantité d'air frais entrant augmente en fonction de l'humidité des pièces ;
- Des ouvertures de transfert sous forme de grilles dans (ou sous) les portes intérieures afin d'assurer la circulation d'air dans toute la maison ;
- Dans les pièces à forte humidité (cuisine, sanitaires, salles d'eau) : des grilles d'évacuation fixes ou réglables manuellement, ou hygro-réglables, intégrées dans une cheminée ou un conduit de ventilation vertical débouchant au moins 50 cm au dessus du faite de la maison ;
- Dans les dispositifs les plus élaborés, des tours d'extraction permettent de réguler selon les besoins la quantité d'air extraite.

La ventilation naturelle assistée et contrôlée :

La VNAC est un système hybride utilisant différents aspects de la ventilation naturelle et de la ventilation mécanique. La différence principale entre un système de ventilation conventionnel et un système hybride est le fait que ce dernier comprend **un système de contrôle intelligent qui peut commuter automatiquement** entre les modes naturel et mécanique, afin de **réduire au minimum la consommation d'énergie**.

Ventilation et confort d'été :

En été, le problème du renouvellement d'air ne se pose pas comme en hiver. Les débits requis pour évacuer l'excès de chaleur sont beaucoup plus élevés. La ventilation hygiénique dimensionnée pour un renouvellement de l'ordre de 1 Vol/h ne suffit pas.

Pour arriver à générer des débits de 6 à 10 vol/h, l'ouverture des fenêtres sur des façades opposées ou perpendiculaires est nécessaire. On parle alors de ventilation traversante.



Illustration 56 :
Tour d'extraction de ventilation naturelle -
Lycée de Caudry, Calais (59)
Architectes : QUATR'A Architectes associés
(X. Bouffard, J.L. Leclercq).

© Photo : SOLENER.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental de la ventilation naturelle est le suivant :

Préserver les ressources				Réduire les pollutions			Réduire	Réduire les nuisances		Améliorer	
Énergie	Matière	Eau	Biodiversité	Air	Eau	Sols	Déchets	Bruits	Odeurs	Confort	Santé

■ Action forte (1^{er} ordre)

■ Action secondaire (2nd ordre)

VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- Une extrême simplicité avec un minimum de travaux ;
- Pas d'encombrement car absence de conduit d'aération ;
- Pas de bruit de ventilateurs ;
- Pas de consommation d'énergie électrique ou faible consommation électrique pour la VNAC.

Points de vigilance

- Contrôle insuffisant des débits d'air frais (en particulier pour les systèmes sans dispositifs de contrôle) : perte incontrôlée de calories en hiver ;

- L'air peut être contaminé au cours de son passage au travers de l'enveloppe de la maison ;
- Impossibilité de faire recirculer et de filtrer l'air ambiant ;
- Impossibilité de récupérer la chaleur évacuée, le système est donc très « énergivore » (contrairement à une ventilation mécanique double flux avec récupération de chaleur).

Les différents postes du coût global

Investissement :

Le coût de ce type de ventilation est faible. Il faut compter 25 € par bouches d'entrées d'air en fourniture et pose et 200 € HT pour un ventilateur très basse pression, permettant d'assister la ventilation naturelle.

Entretien maintenance :

Les bouches d'entrée d'air demandent à être nettoyées tous les ans, pour éviter l'accumulation de poussières et de salissures sur l'entrée d'air.

Économie de charges :

La ventilation naturelle dispense de l'installation d'une VMC et de ce fait des charges afférentes à une VMC (consommation électrique du moteur de ventilation), qui représente environ une consommation de 600 kWh / an, soit environ 55 €.



Illustration 57 : Cheminée de ventilation naturelle assistée – Lycée de Caudry, Calais (59).
Architectes : QUATR'A Architectes associés (X. Bouffard, J.L. Leclercq).

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

La technique de la ventilation naturelle assistée reste encore méconnue en France.

Le Groupement d'Intérêt Économique (GIE) Acthys basé à Marne-la-Vallée (77), propose des solutions pour la ventilation naturelle.

Référence :

Très peu courant, quelques références expérimentales de ventilation naturelle assistée testé en logement collectifs : OPAC Sud Deux-Sèvres à Niort.

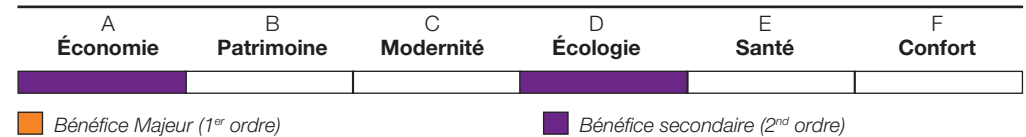
VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Sur le marché français la Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC) s'est généralisée.

Seules les maisons dont les volumes architecturaux intérieurs ne permettent pas le passage du réseau de gaines de la VMC, sont encore conçues avec une ventilation naturelle.

La nécessité d'économiser de plus en plus l'énergie va plus dans le sens d'un développement de la récupération des calories de l'air extrait, donc vers un développement des VMC double flux.

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

Le solaire thermique connaît principalement deux applications détaillées ci après :

- Le Chauffe-Eau Solaire Individuel, CESI (eau chaude sanitaire ou ECS) ;
- Le Système Solaire Combiné, SSC (ECS + chauffage).

Le CESI (Chauffe Eau Solaire Individuel)

Le chauffe-eau solaire se substitue aux cumulus ou chauffe-eau électriques et autres chauffe-eau à gaz pour permettre aux occupants d'un logement (individuel ou collectif) de couvrir une large part de leurs consommations d'eau chaude sanitaire, grâce à l'énergie solaire. Pour cela, il recourt à la conversion thermique du rayonnement solaire.

Le CESI se compose de capteurs solaires thermiques posés en toiture, d'un système de circulation et de régulation et d'un ballon de stockage d'eau chaude. Ce système peut être utilisé indépendamment du système de chauffage (appoint par résistance de électrique) ou avec le chauffage (chaudière servant d'appoint).

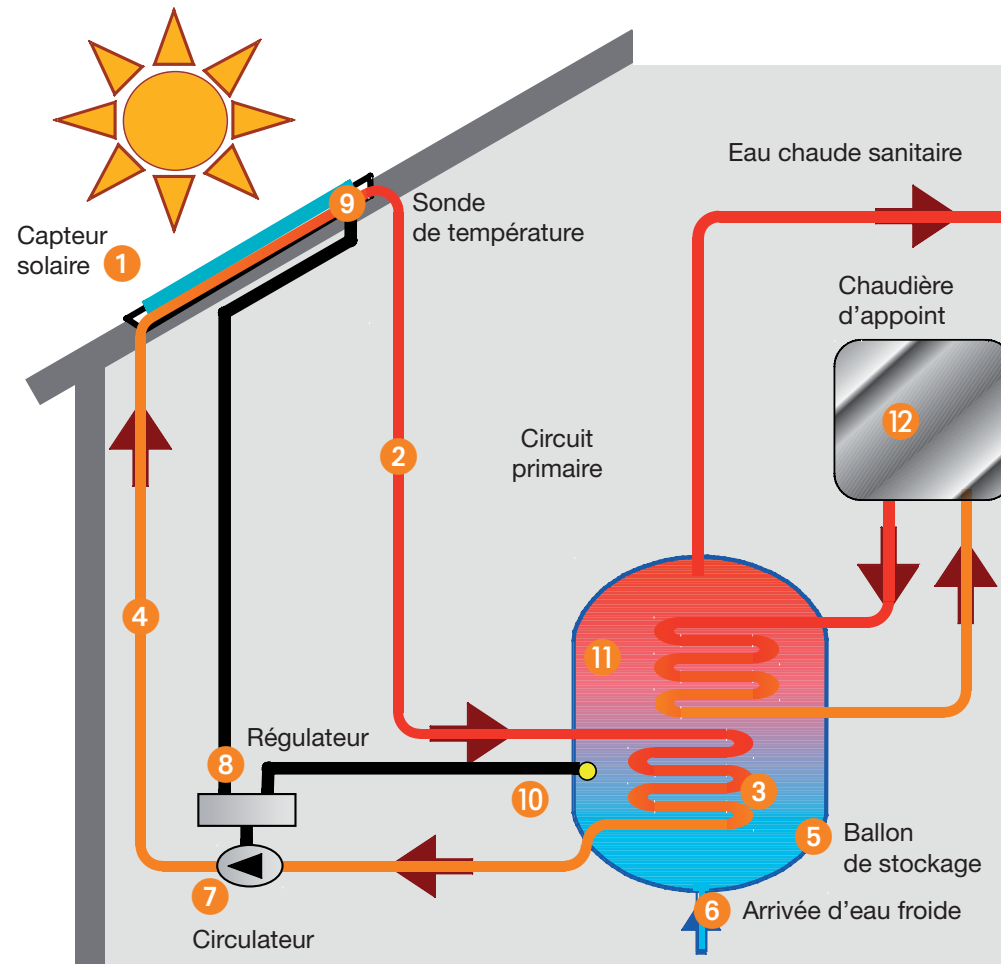


Illustration 58 : Principe de fonctionnement du chauffe-eau solaire individuel à éléments séparés avec chauffage d'appoint – Schéma d'après l'ADEME.

Le principe de fonctionnement du solaire thermique :

- Capturer l'énergie solaire à l'aide des capteurs généralement placés sur le toit. (1) ;
- Transporter la chaleur dans le circuit primaire, étanche et calorifugé (2) ;
- Restituer la chaleur grâce à un échangeur thermique (3) qui cède les calories à l'ECS ;
- Stocker l'eau chaude dans le ballon solaire (5) bien isolé, il constitue la réserve d'eau sanitaire prête à être utilisée ;
- Pallier l'insuffisance d'ensoleillement, en période défavorable (hiver, demi-saison, longue période de mauvais temps), par le dispositif d'appoint qui prend le relais en cas de besoin et reconstitue le stock d'eau chaude si l'énergie solaire est insuffisante (11) et (12).

Le SSC (Système Solaire Combiné) :

Le chauffe-eau solaire étant maintenant efficace et performant, on parle alors de SSC, qui peuvent couvrir 25 à 60 % des besoins annuels, selon la région et la taille de l'installation. Un SSC est un système qui couvre une partie des besoins de chauffage des bâtiments et produit de l'eau chaude sanitaire.

Le système solaire combiné est toutefois plus complexe à mettre en œuvre car le chauffage des locaux et la fourniture d'eau chaude sanitaire n'obéit pas aux mêmes exigences. En effet, les besoins d'eau chaude sont relativement constants tout au long de l'année, alors que la demande de chauffage varie fortement selon les saisons. De plus, lorsque le chauffage est en marche, la demande journalière de chaleur est relativement continue. A l'inverse, celle d'eau chaude sanitaire est irrégulière : des pointes de courte durée alternent avec de longues périodes sans demande. Enfin, la température de l'eau utilisée dans le circuit de chauffage est plutôt basse (entre 30 et 50°C), alors que l'eau sanitaire est beaucoup plus chaude (entre 45 et 60°C).

C'est pourquoi, pour satisfaire ces besoins contradictoires, de multiples solutions plus ou moins sophistiquées, novatrices et inventives ont vu le jour.

La régulation est un élément indispensable au bon fonctionnement du système. Son rôle est de donner la priorité à l'énergie solaire chaque fois que celle-ci est disponible. Elle doit moduler l'énergie d'appoint à apporter pour maintenir la température de confort sans ensoleillement et assurer la production d'eau chaude sanitaire suffisante.

Avantages

- Le chauffe-eau solaire valorise en toute sécurité une énergie naturelle, propre et inépuisable et évite le rejet dans l'atmosphère de plusieurs centaines de kg de CO₂ ;
- L'eau est produite à bonne température (de l'ordre de 45 à 60°) ;
- Les économies réalisées représentent de 50 à 70% des dépenses d'énergie nécessaires à la production d'eau chaude sanitaire.



© Photo : Realtherm.

Illustration 59 : Les capteurs solaires thermiques en toiture. Usage optimisé du solaire thermique pour une maison et sa piscine Avon (77).

Source : ARENE.

Points de vigilance

- Difficulté certaine à bien réguler le système ;
- Pose réalisée obligatoirement par des professionnels avec référence ;
- Dans certaines régions peu ensoleillées, le phénomène saisonnier peut obliger à recourir à un appoint, les seuls apports solaires ne permettant pas de couvrir tous les besoins tout le temps.



© Photo : Realtherm.

Illustration 60 : Intégration architecturale des capteurs solaires. Usage optimisé du solaire thermique pour une maison et sa piscine, Avon (77).

Source : ARENE.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental d'une installation solaire thermique est le suivant :

Préserver les ressources				Réduire les pollutions			Réduire	Réduire les nuisances		Améliorer	
Énergie	Matière	Eau	Biodiversité	Air	Eau	Sols	Déchets	Bruits	Odeurs	Confort	Santé
■				■							■

■ Action forte (1^{er} ordre)
 ■ Action secondaire (2nd ordre)

VOLET COÛT GLOBAL

Coût associé au solaire thermique :

■ Prix du kW installé :

Les systèmes solaires domestiques pour chauffer l'eau chaude sanitaire ont un surcoût solaire entre 1 860 € et 2 500 €, (autrement dit, la chaudière d'appoint n'est pas comprise dans cette somme). Celle-ci doit être de toute manière être installée, qu'il y ait ou non une composante solaire au système de chauffe.

Pour des surfaces de capteurs ne dépassant pas 5 m², le coût est environ de 1000 €/m² de capteur installé ;

■ Prix de revient du kWh :

Pour un investissement de 3 000 €, d'une durée de vie de 20 ans et produisant environ 2.000 kWh/an, le kWh produit revient à 0,07 €. Pour un investissement de 2 000 €, le kWh revient à 0,05 €.

Pour une petite installation équipée d'un SSC à appoint indépendant (10 m² de capteurs pour 70 m² de surface chauffée), il faut compter environ 10 000 € pour l'installation solaire (hors distribution de chauffage).

Ce montant comprend les capteurs, le volume de stockage, la distribution, la régulation, ainsi que le montage. Ce coût n'intègre pas l'appoint (chaudière gaz, appoint électrique...).

Entretien maintenance :

Qu'il s'agisse des capteurs solaires ou des éléments du système, un Chauffe-Eau Solaire Individuel ou un Système Solaire Combiné nécessite peu de maintenance.

Une visite de contrôle et d'entretien annuel est tout de même souhaitable pour :

- Vérifier l'état des capteurs sur la toiture (occultations par des déjections d'oiseaux ou bris de tuiles éventuels) ;

- Vérifier le bon fonctionnement du circuit primaire ;
- Vérifier le volume de stockage, étanchéité, isolation, raccords ;
- Vérifier l'état des câbles et des connexions. La durée de vie d'une installation est d'au moins 20 ans.

Économie de charges :

Les économies de charge peuvent aller jusqu'à 70% sur le poste ECS, alors que sur le poste chauffage, les économies peuvent atteindre 60 % dans le cas d'un SSC.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Nombreuses entreprises agréées Qualisol (en IdF) pour la mise en œuvre de CESI : 62 entreprises dans le 77.

Référence :

Environ 1 500 m² de capteurs solaires thermiques installé en IdF en 2005.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Les économies d'énergie réalisées permettent aujourd'hui d'affirmer un retour sur investissement de l'ordre de 10 ans, voire d'environ 5 ans si on tient compte des incitations fiscales.

Cet intérêt financier n'explique qu'en partie l'engouement actuel (1) des ménages pour cet équipement ; les ménages sont surtout attirés par :

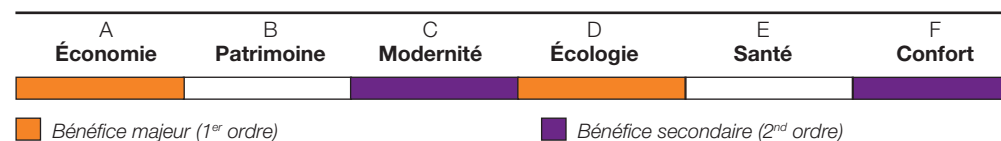
- Le caractère spectaculaire (visible par les voisins) de ce choix écologique ;
- Le confort d'usage.

Les objections des acheteurs sont de trois ordres :

- Inquiétudes sur la fiabilité du système ;
- Interrogations sur l'entretien et le SAV ;
- Critiques sur l'esthétique des panneaux en toiture ;

Le chauffe-eau solaire est un équipement appelé à se généraliser dans les années à venir. Une maison non équipée apparaîtra vite comme obsolète.

Bénéfice client :



(1) 41% des ménages accédants pensent qu'une maison ne peut pas être considérée comme écologique si elle n'a pas d'ECS solaire.

VOLET DESCRIPTIF

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation de la lumière solaire en électricité au moyen de cellules en silicium reliées entre elles et constituant un panneau solaire.

Pour une utilisation domestique, l'adjonction d'un onduleur s'impose pour convertir le courant continu obtenu en courant alternatif. Il est possible de stocker l'électricité sur un système de batteries essentiellement en site isolé, mais le meilleur stockage reste le réseau, quand il est disponible.

En effet, les centrales photovoltaïques raccordées au réseau représentent le segment du marché photovoltaïque au taux de croissance le plus important de ces dernières années. En effet, la croissance est supérieure à 50% par an dans les pays où ont été fixés des tarifs de rachat attractifs.

Le solaire photovoltaïque se décline en différentes applications, qui utilisent toutes le même principe de base. On distingue notamment :

- Les modules photovoltaïques ;
- Les membranes d'étanchéité photovoltaïques ;
- Les tuiles solaires.



Illustration 61 : Modules photovoltaïques.

Les modules photovoltaïques :

L'élément de base est la cellule photovoltaïque : exposée à la lumière, elle absorbe l'énergie des photons lumineux.

La tension de sortie d'une cellule photovoltaïque est faible (0,6V). C'est pourquoi les cellules sont mises en série électrique, puis encapsulées entre une plaque de verre à l'avant et un autre matériau étanche à l'humidité à l'arrière.

Elles forment ainsi un module photovoltaïque.

Selon les technologies et le type d'usage qui en est fait, ce module présente une surface de 0,1m² (10W) à 1m² (100W), valeurs moyennes indicatives, et décline des tensions de 12V, 24V ou 48V selon l'application.



© Photo : SOLENER.

Illustration 62 : Membrane photovoltaïque.

Les membranes photovoltaïques :

Ce sont des membranes d'étanchéité synthétiques pour toitures-terrasses sur lesquelles sont intégrés en usine des modules photovoltaïques souples produisant de l'électricité avec des rendements supérieurs à 20%. Elles sont simples à mettre en œuvre et s'adaptent à toutes les formes de toiture.

La membrane photovoltaïque offre toutes les caractéristiques requises pour l'étanchéité en toiture. Il faut 20 à 23 m² de membrane pour assurer une puissance photovoltaïque de 1kWc.

Les tuiles photovoltaïques :

Pour répondre à une demande d'amélioration de l'intégration des capteurs au bâti, certains constructeurs ont développé des capteurs solaires reprenant les formes, les dimensions (en partie) et les emboîtements de certaines tuiles. Ces capteurs particuliers ont pris le nom de tuiles photovoltaïques.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental d'une installation solaire photovoltaïque est le suivant :

Préserver les ressources				Réduire les pollutions			Réduire	Réduire les nuisances		Améliorer	
Énergie	Matière	Eau	Biodiversité	Air	Eau	Sols	Déchets	Bruits	Odeurs	Confort	Santé

■ Action forte (1^{er} ordre)
 ■ Action secondaire (2nd ordre)

VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

Généraux	<ul style="list-style-type: none"> • Une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles ; • Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé ; • La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu ; • Pas d'émission de gaz à effet de serre ; • Résistance aux intempéries : les modules photovoltaïques sont recouverts d'une couche transparente en TEFLON® TEFZEL® n'accrochant pas la saleté, et sur la partie inférieure d'une couche imperméable en EVA (éthylène acétate de vinyle) ;
Modules	<ul style="list-style-type: none"> • Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers.
Membrane d'étanchéité	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilité : la membrane ne présente ni verre ni cadre et s'adapte à toute forme de toiture • Légèreté : un poids extrêmement faible, de seulement 4,3 kg/m² ; • La technologie triple jonction exploite la partie vert/bleu du spectre lumineux de façon optimale, ce qui garantit une production électrique de 750 à 900 kWh/kWc annuel (Nord de la France) ; • La perte de puissance au fil du temps ne sera pas inférieure à 80% de la puissance minimum (Pmin), déterminée sur 20 ans, à compter de la date d'achat.
Tuiles photovoltaïques	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleure intégration architecturale ; • Produit assurant la couverture, intégration en toiture.

Points de vigilance

Généraux	<ul style="list-style-type: none"> • La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé ; • Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % ; • Énergie tributaire des conditions météorologiques ; • Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
Tuiles photovoltaïques	<ul style="list-style-type: none"> • Les tuiles proposées par les fabricants ne sont pas toujours compatibles avec les tuiles existantes ; • Potentiellement plus de connectiques, une tuile ayant une surface plus petite qu'un panneau classique.

Investissement :

Modules	7 500 € HT / kWc
Membrane	8 000 € HT / kWc 370 € HT / m ² de membrane fournie posée.
Tuiles	8 500 € HT / kWc (STC), fourni, posé. Le prix des tuiles seules varie de 4 625 à 6 500 € HT/kWc (STC - Standard Test Conditions, terme anglais pour Conditions Standards de Test) selon les fabricants (Imerys et Lafarge).

À ces montants, doivent être rajoutés des frais de raccordement de l'ordre de 500 € environ.

Entretien maintenance :

Qu'il s'agisse de panneaux ou de tuiles, une centrale photovoltaïque nécessite peu de maintenance.

Une visite de contrôle et d'entretien annuel est tout de même souhaitable pour :

- Vérifier l'état des modules (occultations par des déjections d'oiseaux ou bris de tuiles éventuels) ;
- Vérifier le bon fonctionnement de l'onduleur (présence d'un bruit de fond et d'un signal lumineux ou écran d'affichage avec informations de base lorsqu'il fonctionne) ;
- Vérifier l'état des câbles et des connexions.

La durée de vie d'une installation est d'au moins 25 ans.

La durée de vie des onduleurs est variable et a priori inférieure à celle des modules.

Leur coût est important (environ 1 000 € HT/kWc fourniture + pose).

Économie de charges :

La production d'électricité via une installation solaire photovoltaïque connectée au réseau permet la revente totale à EDF des kWh produits sur place. Le taux actuel de rachat est de 55 cts d'€ si l'installation assure deux fonctions distinctes (production d'électricité et étanchéité par exemple).

Les économies réalisées sont donc fonction de la production électrique.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Fournisseurs nationaux. Potentiel de mise en œuvre réel.

Référence :

La puissance installée en Ile de France est égale à 175 kW dont :

51 kW relié au réseau et 122 kW hors réseau.

Sur ces 122 kW hors réseau, on compte 5 500 horodateurs.

20 % de la capacité installée concerne les particuliers (majoritairement non raccordés au réseau).

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Réaliser une installation solaire photovoltaïque pose l'identité du propriétaire : civisme, écologie, modernisme.

Une maison à très haute isolation thermique, équipée d'une toiture photovoltaïque de 20 ou 30 m² présente un bilan énergétique positif ! Le fait de « devoir » revendre l'électricité produite à EDF et devoir racheter l'électricité consommée présente deux avantages considérables :

- Le kWh est acheté au quadruple de son prix de revente au ménage ;
- Cela règle le problème de stockage entre les heures de production (le jour) et les heures de consommation (plutôt la nuit).

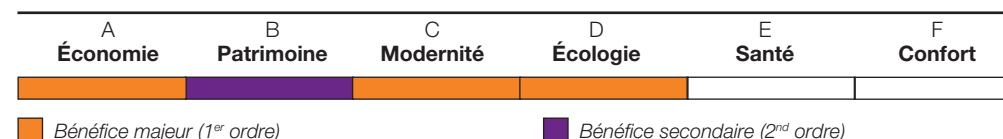
Les avantages fiscaux et aides publiques sont importants : ils dépassent 50% de l'investissement et permettent aux ménages intéressés une action à la fois vertueuse (produire soi-même son énergie à partir d'une ressource renouvelable) et rentable.

Les objections des acheteurs portent sur :

- Des doutes sur la fiabilité de l'équipement ;
- Des réticences devant l'esthétique des toitures (mais certaines tuiles photovoltaïques s'intègrent beaucoup mieux que les panneaux solaires thermiques habituels) ;
- L'attente du développement de modules plus efficaces (mais les aides et les incitations publiques seront moins élevés dans le futur).

La seule vraie objection correspond à la complexité des démarches administratives. Promoteurs et constructeurs ont, à ce niveau, des services à structurer.

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

Le bois a longtemps été la seule source d'énergie à la disposition des hommes pour leurs besoins domestiques et industriels. Cette prédominance a fini par se traduire par une surexploitation des bois et des forêts dans le courant du XVIII^{ème} siècle.

Avec la découverte du charbon, du pétrole et du gaz naturel, le bois a progressivement été relégué à une fonction de chauffage, en milieu rural. En France, la production de bois-énergie reste néanmoins importante. Elle est en effet estimée à 4-5 % de la consommation énergétique totale et 33 % de la production des énergies renouvelables, derrière l'hydraulique. 50 % des particuliers en France utilisent le bois pour se chauffer.

Les poêles à bois :

■ Les poêles à accumulation.

Le principe est d'emmagasiner la chaleur dans le corps de masse fait de matériaux réfractaires lourds. Ces derniers stockent les calories pendant une période assez courte de chauffe (1 à 2 heures). La chaleur se diffuse ensuite régulièrement dans la maison pendant au moins 12 heures, même une fois le feu éteint. Avantages : économe en bois, peu de cendres, sensation de confort, chaleur douce et homogène.

■ Les poêles à bûches.

Leur fonctionnement est d'abord basé sur la qualité de la combustion des gaz. Le principe d'une arrivée d'air préchauffé ainsi que la récupération des gaz à travers différentes chicanes permet un bon rendement (entre 60 et 75%). C'est un choix intéressant pour les petits budgets, les nostalgiques du poêle de la grand-mère, son faible encombrement, et la vision du feu pour bon nombre d'entre eux.

■ Les poêles à granulés.

Ces derniers-nés sont très performants. Ils disposent d'une réserve de granulés (petits cylindres de sciure compressée). Une vis sans fin alimente le foyer progressivement et automatiquement. Le rendement est élevé et l'autonomie importante (2 à 3 jours), peu encombrant, programmable et pas d'obligation d'un conduit de fumée. Ces poêles sont performants avec des rendements atteignant 85 %. Cependant, l'approvisionnement en granulés est encore parfois problématique : il est préférable de demander des garanties sur la fourniture du combustible en cas d'achat de ce type d'appareil.

■ Les poêles à bois à post combustion.

Rendement de combustion > 75%. Dans ce type de poêle, il y a des arrivées d'air secondaires, naturelles ou forcées, qui soufflent de l'air dans le sens inverse de la flamme ce qui force le feu à brûler vers le bas. L'air chaud ayant tendance à monter, cela crée des turbulences qui permettent de mieux brûler les gaz, augmentant de ce fait le rendement final. Cela réduit aussi la quantité de cendre ainsi que les suies dans le conduit d'évacuation.

Les chaudières bois :

Une chaudière au bois moderne est un ensemble de production de chaleur comprenant quatre éléments adaptés à l'utilisation d'un combustible solide :

- Un silo de stockage,
- Un système d'extraction et de transfert du bois vers la chaudière,
- Un générateur de chaleur composé d'un foyer et d'un échangeur de chaleur,
- Un système d'épuration des rejets gazeux et d'évacuation des cendres.

■ Flamme Verte.

Avec le concours de l'ADEME et du GIFAM (Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'équipement Ménager), les principaux

constructeurs d'appareils de chauffage domestique au bois ont signé en début d'année 2001 la charte qualité «Flamme Verte». L'objectif de cette charte est de promouvoir la mise sur le marché d'appareils de chauffage domestique au bois modernes et plus performants sur le plan énergétique et environnemental. La charte s'applique aux inserts, foyers fermés et poêles mixtes ou transformables fonctionnant au bois, à l'exclusion des cheminées d'agrément.



Illustration 63 : Logo Flamme Verte.

Au 1^{er} janvier 2005, tous les poêles à bois et chaudières domestiques labellisés Flamme Verte doivent avoir :

- Un rendement énergétique minimum de 65 % ;
- Une émission de gaz à effet de serre minimum (seuil maximum d'émission de gaz polluants : 1% du volume des fumées).

Cette charte participe ainsi à la protection de notre environnement.

Avantages

- Confort thermique excellent et adaptable ;
- Crédit d'impôt de 40% pour tout appareil de chauffage au bois ;
- La filière bois énergie mobilise 4 fois plus de main d'œuvre que les énergies fossiles, le secteur est donc créateur d'emplois ;
- Le combustible bois offre un débouché précieux pour des produits dont l'élimination s'avère problématique ;
- La combustion du bois ne génère pas de soufre ;
- Le CO₂ rejeté correspond à la quantité absorbée lors de la croissance de l'arbre ;
- Ce mode de chauffage n'augmente donc pas l'effet de serre, dans la mesure où on replante autant de bois qu'on en coupe ;
- Les cendres, riches en éléments minéraux, peuvent servir de fertilisant pour l'agriculture.

Points de vigilance

- La concurrence du prix du gaz (mais pour combien de temps encore ?) ;
- L'image traditionnelle d'une utilisation du bois contraignante ;
- L'approvisionnement en bois déchiqueté ou sous forme de granulés peut s'avérer problématique en raison du peu d'entreprises de fabrication.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental du bois énergie est le suivant :

Préserver les ressources				Réduire les pollutions			Réduire	Réduire les nuisances		Améliorer	
Énergie	Matière	Eau	Biodiversité	Air	Eau	Sols	Déchets	Bruits	Odeurs	Confort	Santé

■ Action forte (1^{er} ordre)

■ Action secondaire (2nd ordre)

VOLET COÛT GLOBAL

TYPE DE CHAUFFAGE	Rendement	Autonomie	Puissance maximale (en kW)	Coût d'installation (en € HT)	Coût de fonctionnement moyen (en cts € HT/kWh)
Cheminée à foyer ouvert	< 25%	1 à 3 h	-	1 200	> 10
Poêle à bûches	40 à 70%	5 à 10 h	-	2 000	4
Insert/foyer fermé	30 à 70%	10 à 12 h	-	2 000	4,5
Poêle à haut rendement	60 à 70%	10 à 20 h	10	3 500	3
Chaudière à bûches	55 à 75%	< 20h	10 à 20	3 500	3
Chaudière à plaquettes ou granulés	75 à 90%	Plusieurs mois	< 100	< 20 000	2,5

Illustration 64 : Coûts comparés de différents équipements de chauffage pour les particuliers (installation et fonctionnement) – Source ADEME.

Pour mémoire (2006) :

- Convecteurs électriques :
11,3 cts € HT/kWh ;
- Chaudière fioul : 6,8 cts € HT/kWh.
- Propane : 10,2 cts € HT/kWh.

Économie de charges :

Les économies de charge sont fonction du combustible de base. Si le bois vient en appoint d'une chaudière au fioul, l'économie engendrée par kWh peut atteindre 4 cts d'€.

Entretien maintenance :

Le nettoyage et le réglage périodique des organes de chauffe ainsi que des conduits de fumées assurent performance et sécurité de fonctionnement.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Nombreux fournisseurs nationaux de poêles à bois : Label Flamme Verte pour les équipements.

Pas de mise en œuvre particulière pour les poêles.

Référence :

Quelques références pour les poêles à bois.
Pas de références chaudières individuelles au bois pour les logements individuels en Ile-de-France.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

L'utilisation de cheminées avec inserts ou de poêles à bois, en complément d'un chauffage électrique à effet joule, est très courante.

Pour les ménages, cela représente plusieurs avantages :

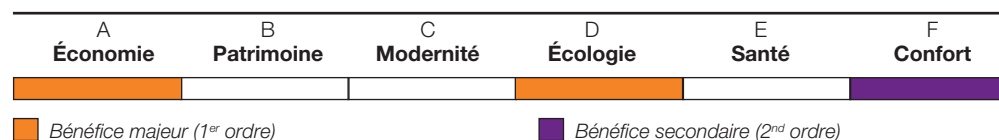
- Économie : cela soulage d'autant la consommation d'électricité ;
- Plaisir : plaisir du foyer, centre de la vie familiale ; plaisir de l'entretien du feu (dès l'or où ce n'est pas une obligation, grâce à la co-solution électrique) ;
- Bonne conscience (un acte écologique).

L'investissement est réduit, car la réglementation thermique impose de toute façon un conduit de cheminée dans les maisons équipées d'un chauffage électrique à effet joule, que vient compléter un crédit d'impôt de 40% sur le poêle.

Le problème reste celui de l'approvisionnement en bois :

- Les plaquettes et granulés ne sont disponibles que dans certaines régions. Le « tout bois » reste limité à certaines zones ;
- L'approvisionnement en bûches peut être organisé entre les habitants, dans le cadre d'un lotissement ou d'un village ; c'est une bonne façon d'instaurer une convivialité de voisinage, et d'optimiser les coûts !

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

La surface du sol absorbe tous les jours l'énergie solaire qu'elle stocke sous forme de chaleur. Nous disposons ainsi sous nos pieds d'un énorme réservoir thermique. Accessible partout, cette source de chaleur gratuite et inépuisable est particulièrement intéressante, notamment comme source froide pour des systèmes thermodynamiques.

Comparativement à l'air extérieur, les couches superficielles du sol de 0,5 m à quelques dizaines de mètres de profondeurs présentent les avantages suivants :

- La température du sol qui s'établit au delà de 2 - 3 m de profondeur à 10 à 15°C (soit la température moyenne annuelle du site), est nettement plus élevée que l'air extérieur en hiver (7°C en moyenne en Ile-de-France) ;
- La température est stable et fluctue peu contrairement à la température extérieure.

L'importance des travaux nécessaires à la mise en œuvre destine généralement la géothermie très basse énergie aux bâtiments neufs ou aux rénovations importantes.

L'utilisation de la nappe phréatique étant davantage réservée aux réalisations importantes (tertiaires, logements collectifs), le chauffage géothermique le plus adapté est le prélèvement de la chaleur directement dans le sol pour des surfaces chauffées peu importantes (maison, petit collectif ou locaux professionnels).

Pour exploiter cette source de chaleur renouvelable, deux solutions sont alors possibles :

- Exploiter le sous-sol (à quelques dizaines de mètres), grâce à des fondations, ou des sondes géothermiques verticales ;
- D'exploiter le terrain en surface à quelques dizaines de cm de profondeur via des capteurs horizontaux enterrés.

Ces systèmes sont reliés à une Pompe à Chaleur (PAC, voir encadré technique suivant) installée dans la maison, pour ensuite alimenter un circuit de distribution de la chaleur, généralement un plancher chauffant ou le chauffage d'une piscine. Cependant les nouvelles générations de PAC permettent de monter à plus de 60°C et ouvre la voie à une utilisation plus large de ce type de système :

- Émission de la chaleur par radiateur (émission en chaleur douce) ;
- Production d'eau chaude sanitaire.

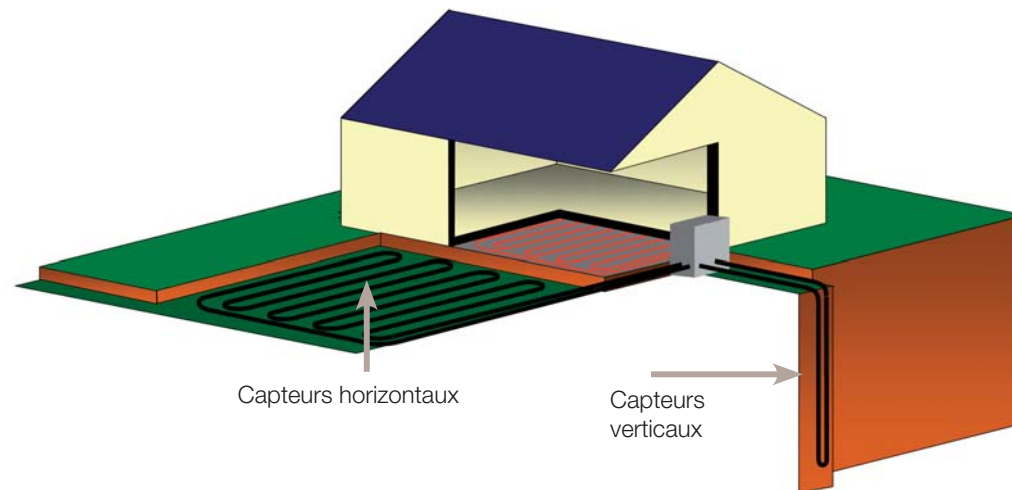


Illustration 65 : Les capteurs géothermiques – Schéma d'après l'AFPAC.

Les capteurs horizontaux

Ceux-ci mesurent plusieurs centaines de mètres et sont installés en boucles espacées d'au minimum 40 cm pour favoriser le rendement. La surface nécessaire pour les capteurs est équivalente à une ou deux fois la surface à chauffer.

Les capteurs sont enterrés horizontalement dans le sol du jardin, à 60-80 cm sous la surface du sol dans le terrain jouxtant la maison. Le prélèvement thermique s'effectue par circulation dans les capteurs d'un fluide caloporteur.

Les capteurs devront être à plus de 2 ou 3 mètres des arbres et autres canalisations. Il ne faut pas les recouvrir d'une terrasse ou d'un revêtement quelconque.

Les capteurs verticaux

Les capteurs verticaux sont constitués de deux tubes de polyéthylène formant un U installés dans un forage.

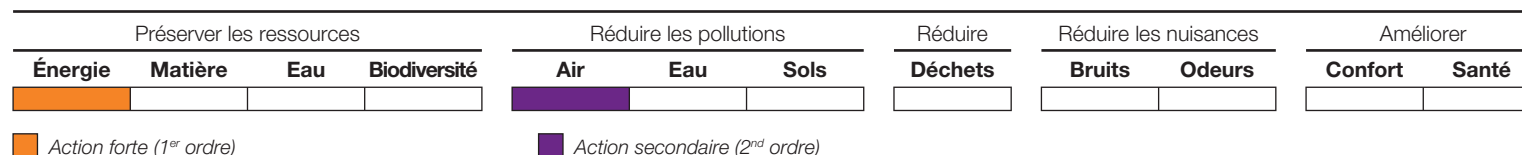
La sonde verticale va récupérer l'énergie calorifique stockée naturellement dans le sol. Pour cela, un forage est effectué dans lequel est placé un échangeur de chaleur contenant un fluide caloporteur (eau + antigel). À 10 m de profondeur, la température est constante toute l'année aux environs de 13°C, puis en descendant, la température augmente de 2 à 3°C tous les 100 m.

Selon les besoins de l'installation, une ou plusieurs sondes devront être posées à une profondeur de 50 à 100 m. On estime que pour une maison d'environ 100-120 m² habitables, il faut deux forages de 60 m de profondeur.

L'avantage de la sonde verticale est sa faible emprise au sol, mais les forages sont plus chers que pour les capteurs horizontaux. Les capteurs verticaux entraînent moins de contraintes dans la gestion du terrain et leur performance est plus constante. Par contre, il est nécessaire de faire appel à des professionnels spécialisés dans le forage géothermique vertical. Il faut également faire toutes les démarches administratives sur la protection du sous-sol.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental de la géothermie basse température est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent), ni même de la disponibilité d'un substrat, comme c'est le cas de la biomasse. C'est donc une énergie fiable et stable dans le temps ;
- Le coefficient de performance annuel varie selon l'efficacité des systèmes de 2,5 à 4 voire au delà. Dans tous les cas il est supérieur aux systèmes thermodynamiques fonctionnant sur l'air extérieur.

Points de vigilance

- Cependant, il ne s'agit pas d'une énergie entièrement inépuisable : un puits verra un jour son réservoir calorifique diminuer ;
- Si les installations géothermiques sont technologiquement au point et que l'énergie qu'elles prélèvent est gratuite, leur coût demeure, dans certains cas, très élevé.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Le surcoût engendré par une installation géothermique est assez élevé. Pour un habitat individuel, il faut compter 12 000 € HT fourni posé pour une surface habitable de 100-120 m² (comprend le chauffage par plancher chauffant, régulation).

Entretien maintenance :

Ne demande pas d'entretien particulier si l'installation a été mise en œuvre dans les règles de l'art.

Économie de charges :

L'économie de charges réalisée s'effectue sur le poste combustible, par rapport à un chauffage traditionnel.

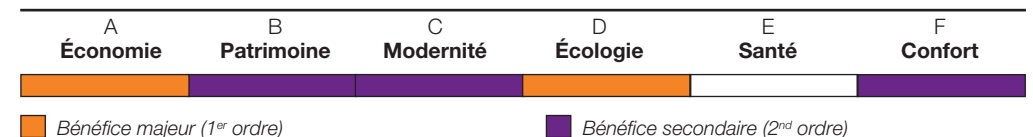
VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Entreprises de génie climatique chauffage avec la compétence PAC. Les fournisseurs nationaux indiquent sur demande la liste de leurs installateurs en fonction des régions.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

L'offre de systèmes thermodynamiques (pompes à chaleur) avec captage géothermique s'est structurée au cours des dernières années et aujourd'hui ce type de chauffage peut être considéré comme relativement « grand public ».

Bénéfice client :



- Avec des capteurs horizontaux, il correspond à un investissement pour le ménage de l'ordre de 20 à 25 000 € et à des dépenses en consommation de l'ordre de moitié par rapport au fuel. Les primes locales et incitations fiscales ramènent actuellement le niveau d'investissement à celui d'un chauffage central classique ;
- Les capteurs verticaux restent pénalisés par le coût des forages.

La demande des ménages acquéreurs d'une maison individuelle est devenue très forte pour ces équipements de chauffage ; les motivations s'accumulent :

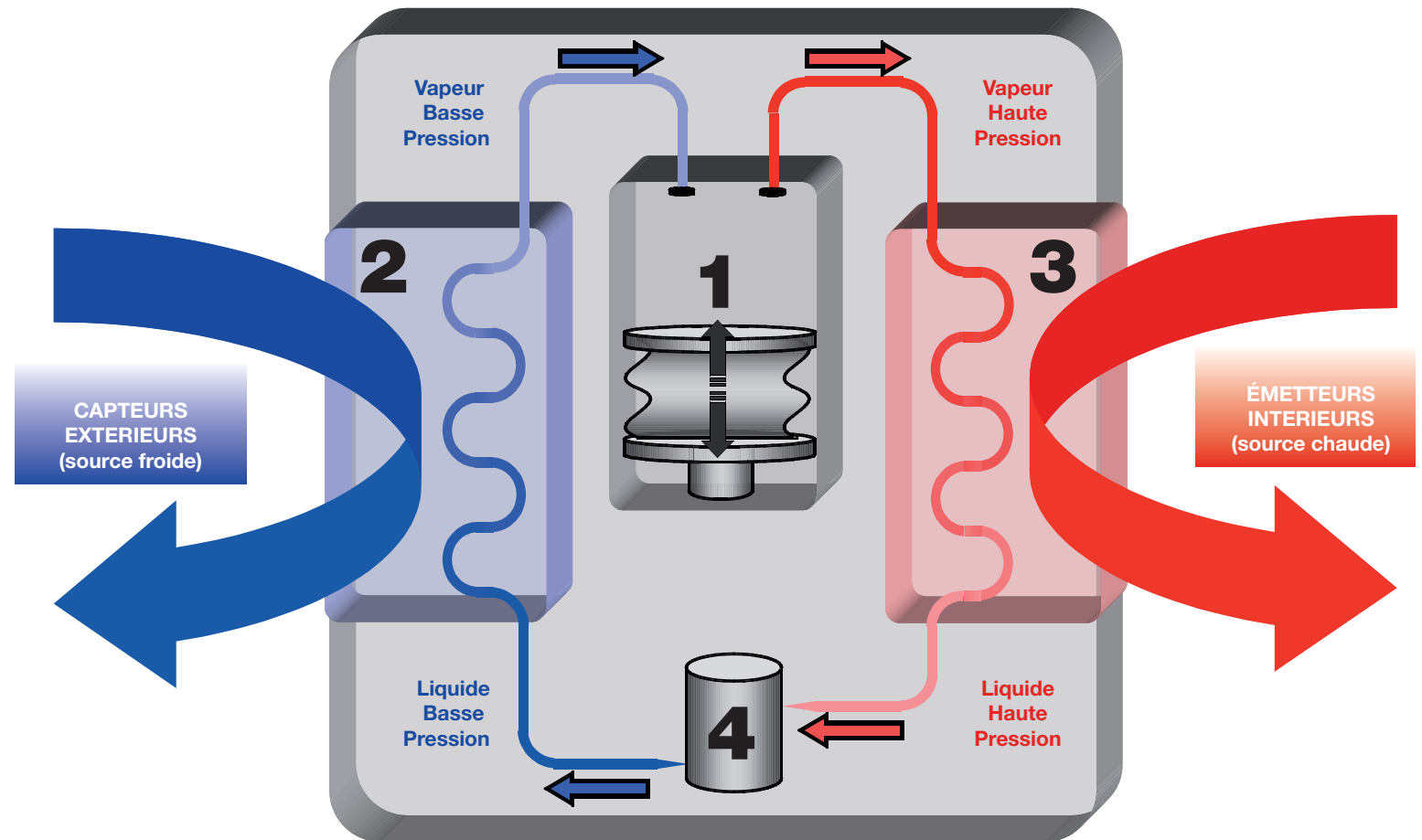
- Bénéficier du confort d'un chauffage central sans dépendre des hausses prévisibles du prix des énergies fossiles ;
- Ces chauffages étant réversibles, bénéficier du rafraîchissement d'été ;
- Se donner une image de citoyen responsable et écologiste ;
- Profiter de « l'effet d'aubaine » des aides publiques.

Principe de fonctionnement :

La Pompe à Chaleur (PAC) permet de produire de la chaleur à partir de l'énergie puisée dans l'environnement. Cet appareil est capable de capter cette énergie thermique (chaleur) pour la transférer à un niveau de température plus élevée à l'intérieur d'un bâtiment dans le but de le chauffer.

Une PAC est composée de 4 éléments principaux :

- Un compresseur (1) ;
- Deux échangeurs : l'évaporateur (2) pour capter l'énergie extérieure et le condenseur (3) pour la restituer à l'intérieur ;
- Un détendeur thermostatique (4).



1 : Compresseur - 2 : Évaporateur - 3 : Condenseur - 4 : Détendeur thermostatique

Illustration 66 : Principe de la Pompe à Chaleur - Schéma d'après l'AFPAC.

Ce système de PAC se compose d'un circuit dans lequel circule un fluide frigorigène qui subit alors un cycle de transformation (dit thermodynamique) en quatre étapes :

- Dans l'**évaporateur**, le fluide extérieur (air extérieur, eau de la nappe ou eau de capteur géothermique) transmet de l'énergie sous forme de chaleur (calories) au fluide frigorigène à l'état liquide et à une température inférieure. En récupérant cette énergie, le frigorigène va entrer en ébullition et se transformer en gaz (= évaporation). Sa pression reste constante, c'est-à-dire faible.
- Le **compresseur** aspire ensuite, le frigorigène sous forme de gaz à basse température. En comprimant le gaz, sa température va s'élever en même temps que sa pression. À la sortie du compresseur, le fluide frigorigène est un gaz à haute pression et à température élevée.
- Dans le **condenseur**, le gaz chaud va transmettre une partie de son énergie au fluide à réchauffer (eau du réseau de chauffage, air intérieur, ...) dont la température augmente. Cet échange de chaleur agit sur le gaz frigorigène qui passe alors de l'état gazeux à l'état liquide (=condensation) et conserve sa pression.

- A l'entrée du **détendeur**, le fluide frigorigène à l'état liquide et toujours à une pression élevée. Il est alors « détendu », c'est-à-dire qu'il passe d'une haute pression à une pression basse. Cette chute de pression abaisse la température du frigorigène. A la sortie du détendeur, la température du frigorigène (à l'état liquide) est alors inférieure à la température de la source de récupération (environnement extérieur).

Suivant le matériel, les PAC permettent de récupérer l'énergie thermique de trois sources différentes :

- L'eau (nappe phréatique, lac, réserve d'eau ou cours d'eau) ;
NB : l'exploitation des eaux est soumise à une réglementation spécifique.
- Le sol (géothermie, **cf. 2.2.6**) ;
- L'air extérieur (aérothermie, **cf. 2.2.7**).

La notion de Coefficient de Performance (COP) des pompes à chaleur

Pour effectuer les opérations de transfert de chaleur d'un milieu à un autre (par les échangeurs) et de remontée du niveau de température (par le compresseur), la PAC consomme de l'énergie électrique.

Cependant, cette consommation reste faible au regard de l'énergie thermique restituée. Le Coefficient de Performance (COP) d'une PAC traduit sa capacité à restituer de la chaleur. Le COP, équivalent d'un rendement appliqué au PAC, correspond au rapport suivant :

$$\text{COP} = \frac{\text{Énergie thermique utile restituée (pour le chauffage)}}{\text{Énergie électrique nécessaire au fonctionnement}}$$

Ainsi, un COP égal à 3 signifie que l'énergie thermique utile restituée est 3 fois supérieure à l'énergie électrique consommée et donc facturée, ou pour 1 kWh d'électricité consommée, la PAC restitue 3 kWh d'énergie thermique au bâtiment.

Le COP permet également de comparer les performances des appareils entre eux sous des conditions d'essais identiques car normalisés (EN 14511).

Le COP de toute PAC augmente avec la température de la source froide et diminue avec celle de la source chaude. Le COP n'a de signification qu'à une température de source froide et de source chaude données.

Pour décider de l'opportunité d'installation et évaluer les performances, il est donc important de prendre en compte la courbe de COP en fonction de la température extérieure et de l'eau de chauffage.

(Source : AFPAC).

VOLET DESCRIPTIF

L'air extérieur assure également le stockage de l'énergie du soleil durant la journée. Cette énergie (chaleur) est alors une source gratuite et valorisable pour l'utiliser dans les installations de chauffage.

L'aérothermie consiste à capter l'énergie thermique de l'air par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur (PAC). La chaleur est prélevée dans l'air extérieur (source froide) et transférée à une température plus élevée dans le circuit d'eau chaude de l'installation du chauffage.

Cette source d'énergie est plus facile à utiliser que la géothermie. Le capteur d'énergie est simplement composé d'un ventilateur avec un échangeur de chaleur, qui permet de capter l'énergie de l'air. Elle est en revanche, moins intéressante sur un plan thermodynamique : la température est plus basse en hiver et fluctuante comparée à la nappe phréatique ou la température de la terre à 1 m de profondeur. De ce fait les systèmes aérothermiques sont moins performants que les systèmes fonctionnant avec la chaleur de la terre ou des nappes phréatiques.

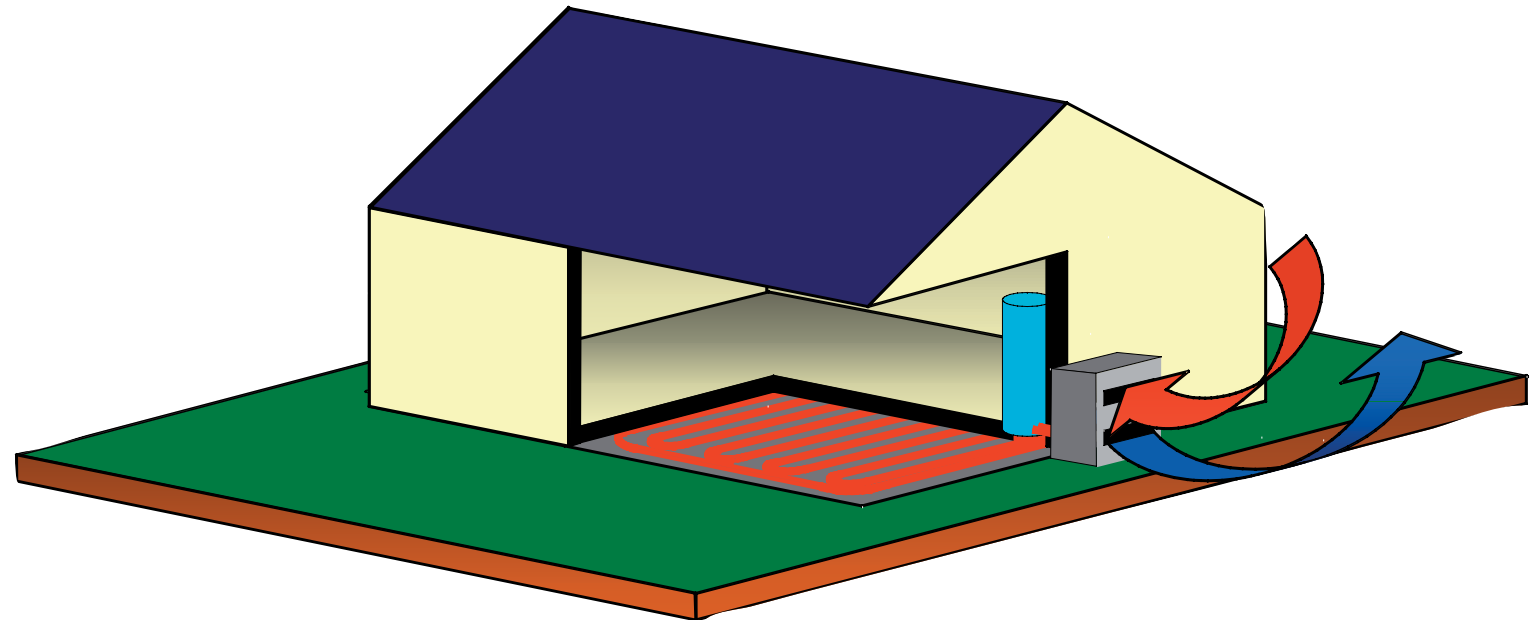


Illustration 67 : Aérothermie - système Air/Eau avec PAC extérieure et plancher chauffant – Schéma d'après l'AFPAC.

L'émission de chaleur dans les ambiances se fait la plupart du temps par convection (système air/air par soufflage d'air), mais de nouvelles offres se font jour, proposant une émission par le biais de radiateurs basse température ou par plancher chauffant (système air/eau).

L'intérêt de ce type d'émission est de nécessiter une température moins élevée à l'émission : la pompe à chaleur fonctionne avec de bien meilleure performance.

La température est plus basse en hiver et fluctuante comparée à la nappe phréatique ou la température de la terre à 1 m de profondeur. De ce fait les systèmes aérothermiques sont moins performants que les systèmes fonctionnant avec la chaleur de la terre ou des nappes

phréatiques.

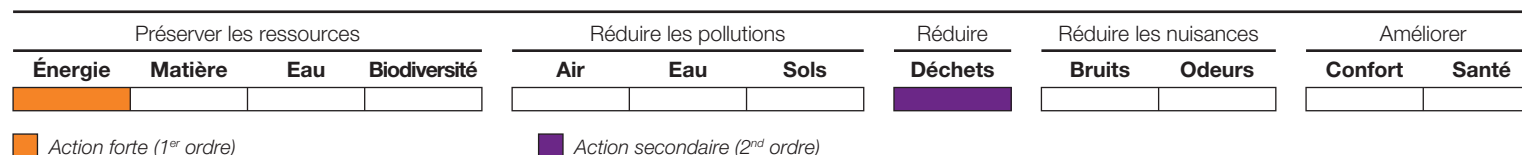
Dans certain cas, le système peut également faire office de climatisation en période estivale : il s'agit alors de système réversible. Dans le marché de la climatisation, la dénomination courante de ce système air/air est « split-système » ou multi split selon le nombre d'unité pour l'émission.

Limites du système :

Le givrage de l'échange extérieur limite les échanges thermiques et réduit les performances lorsque les températures extérieures sont basses. Dans certains cas un appoint est à prévoir. Cependant, les nouvelles gammes de matériels permettent de fonctionner même lorsque l'air extérieur descend à -15 °C voire -20 °C.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental de l'aérothermie est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- L'installation et le montage sont faciles, possibles quasiment en tous sites ;
- Les avantages de l'aérothermie sont l'économie de place en ce qui concerne le captage, et le coût peu élevé de ce système.

Points de vigilance

- Cependant, il existe des contraintes à l'aérothermie : la température extérieure a une forte influence sur la performance de la pompe à chaleur. Pour une totale autonomie, le système doit être correctement dimensionné.

- L'emplacement de l'unité extérieure doit être prévu à la conception pour prévenir les problèmes :
 - D'intégration architecturale ;
 - De nuisances acoustiques.
- Outre les performances thermiques, l'acoustique est un critère important de sélection des matériels.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Pour une pompe à chaleur récupérant l'énergie dans l'air extérieur (aérothermie) et alimentant un plancher chauffant rafraîchissant, les prix sont compris en moyenne, selon les caractéristiques techniques, entre 80 et 110 € TTC par m² de surface chauffée.

Entretien maintenance :

Périodicité et coût similaire à une chaudière.

Économie de charges :

L'économie dépend du coefficient de performance (COP) de la PAC sur la saison de chauffe. Les coefficients annuelles de performances instantanée varie de moins de 2 à 3 (dans le meilleur des cas).

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Entreprises de génie climatique chauffage avec la compétence installation de PAC.
Les fournisseurs nationaux indiquent sur demande la liste de leurs installateurs en fonction des régions.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

L'aérothermie permet d'aborder la thermodynamique, très demandée par les ménages, avec un investissement et une complexité technologique moindres que dans le cas de la géothermie.

Les nouveaux matériels disponibles sur le marché permettent de résoudre les inconvénients principaux :

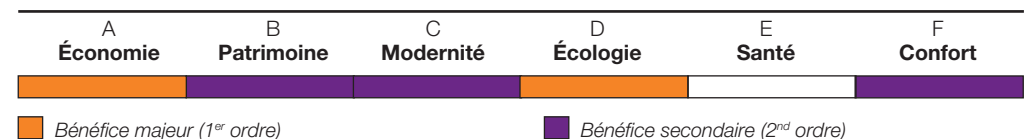
- Des COP qui devenaient faibles en hiver. Aujourd'hui ces COP dépassent les x 3, et sont proches de ceux de la géothermie ;

- Les nuisances visuelles et acoustiques de l'unité extérieure (appareils monobloc), seules les grilles d'aspiration et de refoulement restent visibles de l'extérieur ;
- Des appareils « haute température » permettent d'utiliser en émetteurs, de classiques radiateurs de chauffage central. Ce qui permet d'éviter les critiques classiques des systèmes à air pulsé ou des planchers chauffants.

La possibilité d'une installation réversible qui assure le rafraîchissement d'été, est un argument commercial qui devient important. Commercialement, il ne faut pas négliger l'effet d'aubaine des incitations fiscales.

L'aérothermie rend aujourd'hui obsolète l'utilisation des énergies fossiles en chauffage central, sauf présence d'un réseau de gaz naturel sur le site.

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

Les chaudières dites « conventionnelles » laissent échapper par la cheminée les gaz de combustion ainsi que de la vapeur d'eau, sans exploiter la chaleur contenue. Les chaudières à condensation exploitent cette chaleur.

Principe de fonctionnement :

Après combustion du gaz (ou fioul, selon le cas), il reste dans les fumées de la vapeur d'eau, la chaudière à condensation recueille la chaleur dite « chaleur latente » renfermée dans la vapeur d'eau.

Les produits de combustion sont refroidis par contact des parois :

- Soit d'un échangeur unique ayant une surface d'échange surdimensionnée ;
- Soit d'un échangeur condensateur à échangeur principal.

En plus de l'échangeur condenseur, les chaudières sont toutes pourvues d'un ventilateur :

- Soit sur l'air de combustion ou sur le mélange air-gaz ;
- Soit sur les produits de combustion à la sortie de la chaudière.

Après récupération de l'énergie thermique latente, utilisée comme source de chauffage, ces fumées sont rejetées vers l'extérieur à une température d'environ 50°C seulement. Il est aussi concevable dans certains cas, de mettre un échangeur supplémentaire sur une installation existante (récupérateur condenseur).

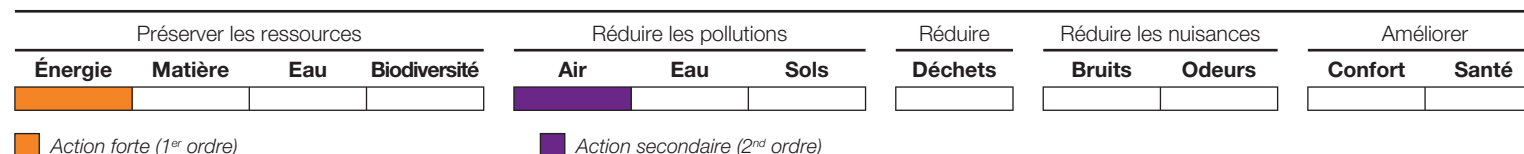
La chaudière à condensation favorise la mise en place d'installations « chaleur douce ». En effet, en création de chaufferies, le fonctionnement est optimal avec un plancher chauffant basse température.

Cette solution entraîne un gain de place, l'absence de radiateurs permet d'optimiser au mieux la gestion des volumes et espaces de travail.

En rénovation de chaufferie alimentant un réseau de radiateurs, les chaudières à condensation fonctionnent indifféremment en modes « condensation » ou « classique », en fonction des utilisations et des conditions climatiques extérieures.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental de la chaudière à condensation est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- De 15 à 30% de gains énergétiques ;
- 15% par rapport à une chaudière traditionnelle récente ;
- 30% par rapport aux anciennes installations ;
- Puissance minimale inférieure à la puissance requise par le système de chauffe ;
- Vapeur d'eau totalement récupérée ;
- Température stable ;
- Faibles contraintes électriques et mécaniques ;
- Très peu d'émissions de CO (régime continu).

Points de vigilance

- Coût d'investissement plus élevé qu'une chaudière traditionnelle ;
- Encombrante.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Compter environ 4000 € pour une chaudière ayant une gamme de puissance nominale de 6 à 26 kW.

Entretien maintenance :

Il faut veiller à l'évacuation des fumées comme sur toutes les chaudières, mais l'encrassement des chaudières à condensation est moins important. Il faut prévoir un ramonage selon la fréquence préconisée par le constructeur.

Économie de charges :

Économie de combustible.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Référence :

De plus en plus de cas de chaudières à haut rendement ou à condensation pour les bâtiments publics.

Des cas de chaudières individuelles à condensation pour les logements.

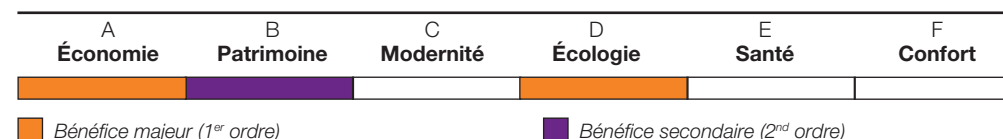
VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Dans tous les cas où un lotissement ou une opération en promotion est desservie par le gaz de ville, la chaudière à condensation s'impose comme le tout premier « geste vert ».

Le surcoût par rapport à une chaudière classique sera presque compensé par les avantages fiscaux et par le gain en catégorie d'efficacité énergétique sur le DPE du logement.

Pour le ménage utilisateur le gain en coût d'énergie sera de 150 à 200 € par an pour une maison individuelle en attendant les hausses à venir du prix des énergies fossiles.

Bénéfice client :



Au niveau de l'acte de vente, un bilan financier avec un prévisionnel de consommation doit apporter l'adhésion. Cette adhésion sera fortifiée par un bilan des émissions de CO₂.

MAÎTRISE DE L'EAU

Partie 2.3

VOLET DESCRIPTIF

Malgré l'omniprésence de l'eau sur Terre et son caractère vital pour l'homme, les besoins humains en eau se sont accrus exagérément, avec des conséquences néfastes et peut-être irréparables sur le cycle de l'eau. Il est aujourd'hui indispensable de réagir et de mettre en œuvre des solutions qui permettront de maintenir la qualité et la quantité des ressources.

Les consommations domestiques d'eau en France :

Dans sa vie quotidienne, un Français consomme, en moyenne, 137 litres d'eau par jour. Cependant, ce chiffre varie sensiblement selon la région, le climat, l'habitat et le mode de vie des habitants. On estime à 150 000 litres la consommation moyenne d'un foyer de 4 personnes avec, également, des variations selon l'habitat, le climat, le revenu et l'âge des personnes au sein du foyer.

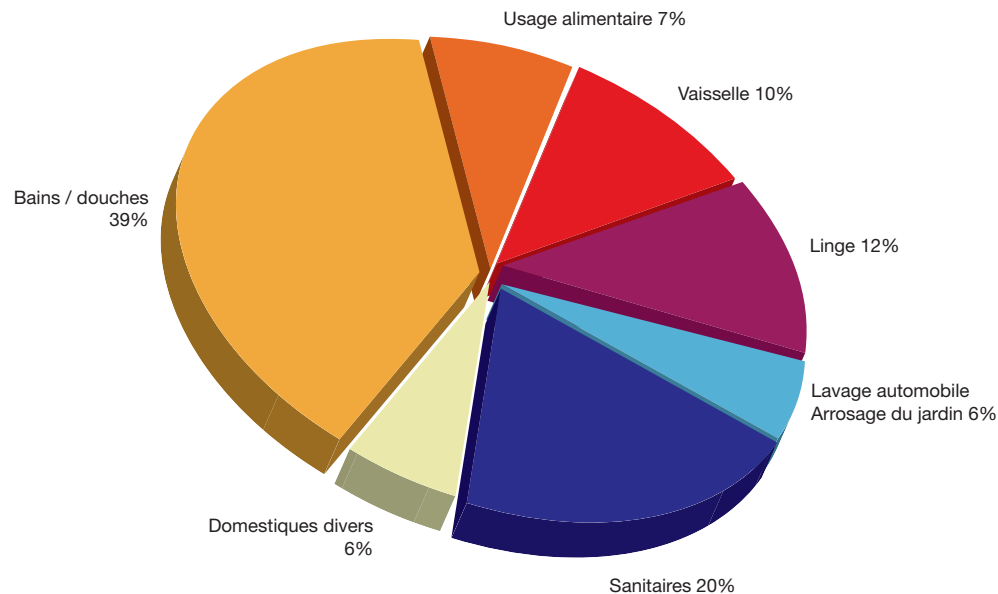


Illustration 68 : Répartition des consommations d'eau par usage.

Le graphique ci-contre présente la répartition moyenne selon les multiples usages domestiques de l'eau potable.

Le lavage automobile, l'arrosage du jardin et les usages sanitaires peuvent être potentiellement assurés par la récupération d'eaux pluviales, sous réserve d'autorisation départementales spécifiques. Le dimensionnement et les caractéristiques du système de récupération doivent être adéquats (cf. 2.3.4 : Récupération des eaux de pluies).

Les usages non alimentaires de l'eau :

Les consommations liées aux différentes utilisations domestiques varient en fonction du matériel et de son ancienneté, des habitudes de chacun ainsi que des mauvais réglages ou des fuites.

De manière générale, les consommations se situent dans les fourchettes suivantes.

- Dans la cuisine :
 - Vaisselle à la main : 10 à 12 litres ;
 - Lave-vaisselle : 25 à 40 litres ;
 - Lave-linge : 70 à 120 litres.
- Dans les toilettes :
 - Chasse d'eau : 6 à 12 litres par utilisation ;
 - Chasse d'eau à double commande : 3 à 6 litres par utilisation.
- Dans la salle de bains :
 - Toilette au lavabo : 5 litres par utilisation ;
 - Douche (5 min) : 60 à 80 litres ;
 - Bain : 150 à 200 litres.
- Usages extérieurs :
 - Lavage du véhicule : 200 litres ;
 - Arrosage du jardin : 15 à 20 litres / m² ;
 - Remplissage d'une piscine : 50 000 à 80 000 litres.

La maîtrise des consommations d'eau potable :

La préservation des ressources en eau potable passe par deux objectifs :

- Limitation de la consommation d'eau (et donc limitation des charges correspondantes) ;
- Réduction de la quantité d'eau à traiter.

Les procédés permettant de maîtriser les consommations en eau sont les suivants :

- Mise en œuvre d'équipements limitant la consommation d'eau :
 - Limiteur de pression ;

- Aérateurs autorégulés (débit faiblement variable en fonction de la pression du réseau) ;
- Douchette Venturi ;
- Détecteurs de fuites d'eau ;
- Chasse d'eau des WC économe (4 et 6 litres).
- Relevé régulier des compteurs et contrôle des installations.

VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- Réduction de la consommation d'eau pour le même confort ;
- Sollicite moins les milieux naturels ;
- Coût d'investissement dérisoire au regard des économies engendrées ;
- Économie de charges ;
- Pas de contraintes d'utilisation des différents procédés ;
- Pas d'entretien spécifique contraignant.

Points de vigilance

- Nécessite quelques aménagements d'installation.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Limiteur de pression	45 €
Aérateurs autorégulés (mousseurs)	10 €
Douchette Venturi	35 €
Détecteurs de fuites d'eau	150 €
Chasse d'eau économe	170 €

Illustration 69 : Coûts de différents dispositifs d'économie de l'eau.

Entretien maintenance :

Les procédés présentés ne demandent que peu d'entretien. Il peut y avoir des problèmes au niveau de l'entartrage des équipements.

Économie de charges :

Chaque litre économisé avec ces systèmes est directement répercuté sur la facture globale du poste « eau ».

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental de la maîtrise des consommations en eau est le suivant :

Préserver les ressources				Réduire les pollutions			Réduire	Réduire les nuisances		Améliorer	
Énergie	Matière	Eau	Biodiversité	Air	Eau	Sols	Déchets	Bruits	Odeurs	Confort	Santé

Action forte (1^{er} ordre)

Action secondaire (2nd ordre)

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Aspect comportemental :

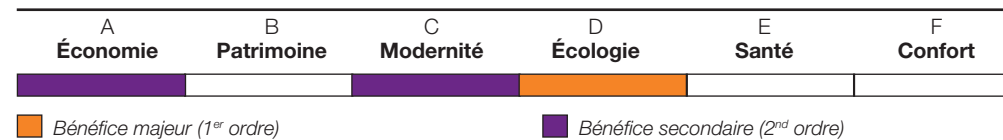
Pour réduire la consommation de l'eau, il faut sensibiliser, informer et prévenir les consommateurs des risques liés à une trop forte utilisation de l'eau.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

L'eau est un élément dont la valeur symbole est très forte, très au dessus de son coût économique - encore – relativement bas pour le consommateur. « On ne gaspille pas ce qui est la source de toute vie ; on ne gaspille pas ce qui manque tant à d'autres populations ».

A la question « En quoi votre logement pourrait être plus écologique ? » une majorité de ménages répondent « En économisant l'eau et en récupérant l'eau de pluie ». Cet item apparaît devant celui des économies d'énergie ! Équiper un logement avec les quelques éléments cités plus avant est un bon investissement commercial, d'un coût objectif très inférieur à sa valeur psychologiquement attribuée par le consommateur.

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

Les toitures végétales permettent de stocker et de freiner l'écoulement des eaux pluviales et évitent l'engorgement des canalisations lors de violents orages. Elles peuvent jouer un rôle de filtre vis-à-vis de la contamination des eaux de pluie.

Les toitures végétales sont des techniques largement développées dans de nombreux pays européens mais qui restent cependant peu connues en France.

Il existe plusieurs types de toitures végétales : les toitures à végétalisation intensive qui peuvent accueillir des plantes et des arbustes, semi-intensive d'une épaisseur moindre et les toitures à végétalisation extensive.

Ces dernières disposent d'un système d'étanchéité résistant à la pénétration des racines. Celui-ci est recouvert d'un complexe drainant, composé de matière organique et volcanique et d'une couche filtrante, sur laquelle se développe un tapis de plantes. La végétalisation peut-être mise en œuvre par semis, par plantation de petites mottes ou par pose de plaques ou rouleaux pré-cultivés. Les toitures à végétalisation extensive s'adaptent à des structures en béton, en acier ou en bois pour des pentes de toiture comprises entre 0 et 30 %. En fonction de la pente, des dispositifs de retenue du complexe de végétalisation peuvent être nécessaires. Pour une toiture terrasse, l'installation type est présentée ci-dessous :

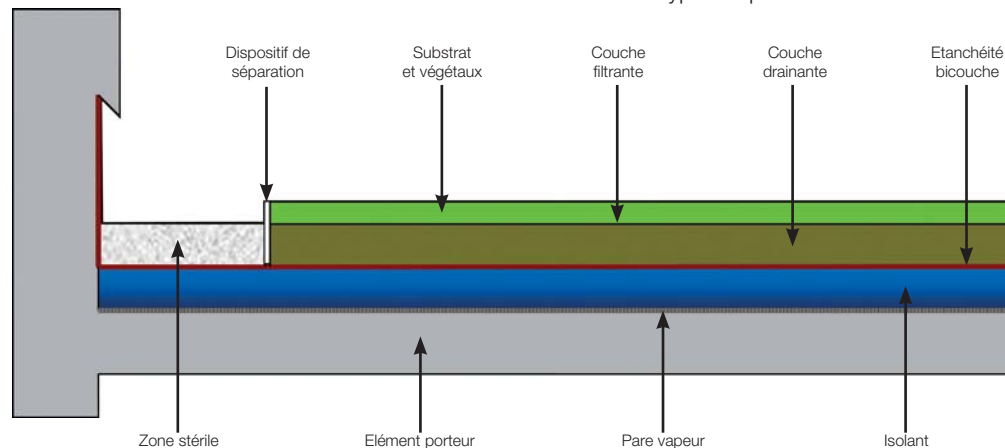


Illustration 70 : Schéma de principe d'une toiture terrasse végétalisée.

Une toiture végétalisée est donc constituée de plusieurs couches superposées. Des solutions simplifiées existent dans le cas de toitures (et non de terrasses).



Illustration 71 : Toitures végétalisées, Stuttgart (Allemagne) – Wohnen 2000 IGA. 1993.

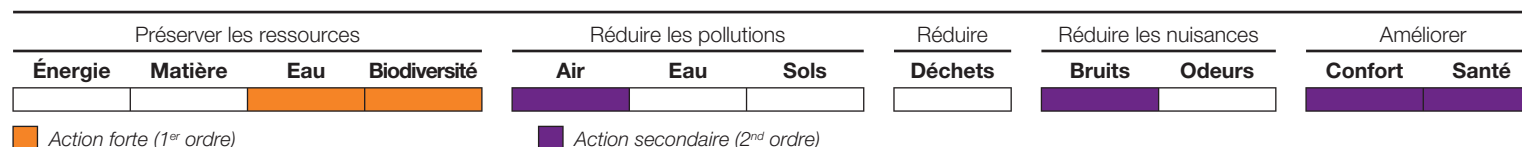
Le tableau ci-dessous compare les avantages et les inconvénients des solutions de végétalisation :

Végétalisation extensive	Végétalisation intensive
<p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ couche de substrat < à 15 cm ; ■ idéal pour les grandes surfaces ; ■ convient aux toitures de 0 à 30° de pente ; ■ convient aux travaux de rénovation ; ■ permet une végétation spontanée et apparence plus naturelle ; ■ végétaux de milieux secs et pauvres ayant peu de besoins nutritifs ; ■ installation d'arrosage facultative, expertise technique moins cruciale ; ■ charges sur toiture faible, le poids est inférieur à une protection gravier ; ■ faible entretien et longue durée ; ■ peu onéreux. <p>Inconvénients</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ efficacité énergétique et rétention des eaux pluviales moindres ; ■ choix des essences plus restreint ; ■ toitures rarement accessibles. 	<p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ épaisseur de « terre » > 20 cm ; ■ substrat nutritif pour les plantes ; ■ peut remplacer un jardin naturel au sol, souvent accessible et permettant des fonctions variées (loisirs, potager...); ■ qualité esthétique ; ■ bonne propriétés isolantes (thermique et acoustique) ; ■ renforce l'inertie du bâtiment ; ■ choix varié des plantations ; ■ durée supérieure de la membrane. <p>Inconvénients</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ plantes exigeantes en eau et en éléments nutritifs ; ■ entretien important et onéreux car nécessite des soins intensifs (tontes, rabattages, sarclages) ; ■ systèmes et expertise plus complexes ; ■ charges sur toitures importantes ; ■ installation d'arrosage indispensable ; ■ coût élevé.

Illustration 72 : Avantages et inconvénients des solutions de végétalisation intensive et extensive.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental d'une terrasse végétale est le suivant :



La végétalisation des toitures contribue principalement à la rétention des eaux pluviales et à une diminution des volumes d'eau pluviale à traiter de l'ordre de 30%, en raison de l'évaporation plus importante et de l'absorption de l'eau par les plantes du tapis végétal.

D'autres avantages sont associés aux toitures végétales :

- La réduction du phénomène d'îlot de chaleur, dans les ensembles urbains à dominante minérale ;
- La protection climatique des locaux, par l'amélioration du confort d'été (protection contre le rayonnement solaire par le phénomène d'évapotranspiration, renforcement de l'inertie), ce qui permet des économies d'énergie ;
- La protection climatique des étanchéités, limitant les amplitudes thermiques ;
- Le maintien de la qualité de l'air, par le dépoussiérage des masses d'air ;
- Amélioration de l'isolation acoustique (bruit de la pluie) avec un gain de 15 à 20 dB selon le CSTB ;

- Isolation thermique renforcée (stabilisation de la température des parois sous-jacentes) ;
- Possibilité supplémentaire sur le plan paysagé et amélioration du cadre de vie notamment en milieu urbain ;
- Résistance au feu (en retardant la protection des incendies) surtout si le substrat est saturé d'eau ;
- Création d'habitat pour la diversité : contribution à la continuité biologique et la biodiversité.

Du point de vue du traitement architectural, les toitures végétales doivent être conçues comme une cinquième façade, éventuellement associée à des murs verticaux végétalisés. La végétation peut en effet contribuer à la protection solaire des façades ouest / sud-ouest, les plus exposées aux risques de surchauffe en été : les plantes grimpantes (figuier ou fusain grimpant, lierre, glycines ou jasmin sur pergolas) offrent une bonne protection solaire des parois opaques, pouvant s'étendre aux vitrages.

Enfin, on peut souligner la fonction de puits de carbone des toitures végétales, qui fixent le CO₂ et luttent ainsi contre la pollution atmosphérique.

VOLET COÛT GLOBAL

- Surcoût du système par rapport une solution classique : surcoût lié à l'étanchéité (plus coûteuse qu'une étanchéité classique), à la couche drainante, à la couche filtrante, à la zone stérile, au dispositif de séparation, au substrat et à la végétalisation ;
- Coût à comparer à une solution de substitution (exemple : couverture avec tuiles) pour les toitures neuves. Surcoût variable pour une toiture existante ;
- Surcoût éventuel pour un renforcement structurel du bâtiment ;
- Développement végétal incertain pour les systèmes pré-semés ;
- Système ne nécessitant théoriquement pas d'entretien mais arrosage et fertilisation nécessaires en cas de sécheresse ;
- La végétalisation d'une toiture terrasse rend cet espace inaccessible aux usagers du bâtiment. Seule une circulation réservée à l'entretien est aménagée.

La réfection de l'étanchéité d'une toiture peut être l'occasion d'améliorer son aspect. Les systèmes de réfection permettent de réutiliser le gravillon utilisé pour la protection de l'existant.

Coût ou surinvestissement

Dans le cas d'une toiture, pour un bâtiment neuf, un comparatif doit être établi entre la solution végétalisée et une solution de référence.

Le prix des produits pour une végétation extensive de toiture dépend essentiellement :

- Du système : toit plat ou incliné, avec tapis pré-cultivés ou avec semis sur place ;
- De la surface.

Pour les toits plats, les prix de **fourniture** (€ HT) sont les suivants :

Surface (m ²)	10	20	50	100	500	1000	5000
Système complet avec tapis (€/m ²)	50	40	35	30	28	25	22
Système complet avec semis (€/m ²)	25	22	20	18	16	14	12

Illustration 73 : Comparaison des prix de 2 solutions de végétalisation extensive.

Le coût du système complet comprend le matelas de drainage, le substrat minéral et la végétation, hors étanchéité et structure porteuse.

Le coût de la mise en œuvre dépend :

- Du système ;
- De la surface ;
- De la complication : forme du toit, coupoles, bandes de gravier, autres obstacles...
- De l'accessibilité : hauteur du toit, distance depuis la voie publique, possibilités d'accès...

Pour les petits projets, la mise en œuvre coûte généralement 10 à 15 € HT/m² ; pour les grands projets, le coût descend à 5 €/m² et parfois même moins (données basées sur la situation économique de fin 2004).

Poste entretien maintenance

Maintenance :

Théoriquement, un contrôle annuel doit être effectué par une entreprise spécialisée et qualifiée. Les contrôles portent notamment sur la bonne tenue des relevés d'étanchéité et des raccordements des trop-pleins d'évacuation aux descentes d'eau pluviales.

Pour les toitures, une vérification annuelle des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales est souhaitable. Un nettoyage devra être effectué en cas d'accumulation de débris.

L'entretien des végétaux se limite :

- A l'arrosage de la terrasse ou de la toiture si la pluviométrie cumulée est inférieure à 10 mm sur 30 jours consécutifs ;
- Exceptionnellement à l'apport d'éléments nutritifs.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Les fournisseurs réalisent eux-mêmes la pose de la couverture végétalisée

Peu de références en Ile-de-France pour le logement individuel.

De plus en plus de cas pour les bâtiments publics, administratifs ou établissements scolaires.

MARKETING COÛT SOCIÉTAL

L'intérêt principal des toitures végétalisées est collectif :

- Élément permettant de maîtriser les eaux pluviales ;
- Facteur d'intégration d'une urbanisation dans un site sensible.

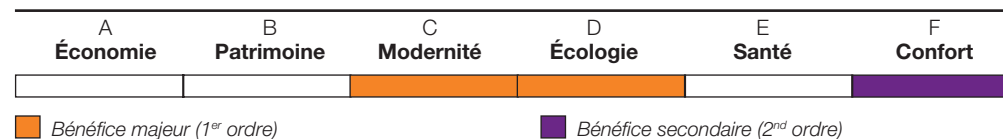
Au niveau de l'intérêt individuel, l'avantage principal est sensoriel :

- Confort d'été (inertie), sans recours à la climatisation ;
- Confort acoustique dans les zones bruyantes ;
- Confort existentiel : sensation d'être protégé par du massif.

Les objections sur le prix d'une toiture végétalisée, sur son entretien, sur sa pérennité, ou sur son caractère inhabituel, risquent d'être nombreuses.

Cette offre doit être limitée aux sites sensibles, ou aux ménages fortement ciblés « écologistes » pour lesquels cette prestation signera très visiblement les convictions.

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

Les puits d'absorption permettent d'évacuer les eaux pluviales directement dans le sol. Généralement, ils drainent des surfaces de quelques milliers de mètres carrés.

Le drainage s'effectue par la surface ou par un réseau de conduites vers un puits rempli ou non de matériaux. Les eaux sont ensuite évacuées par infiltration.

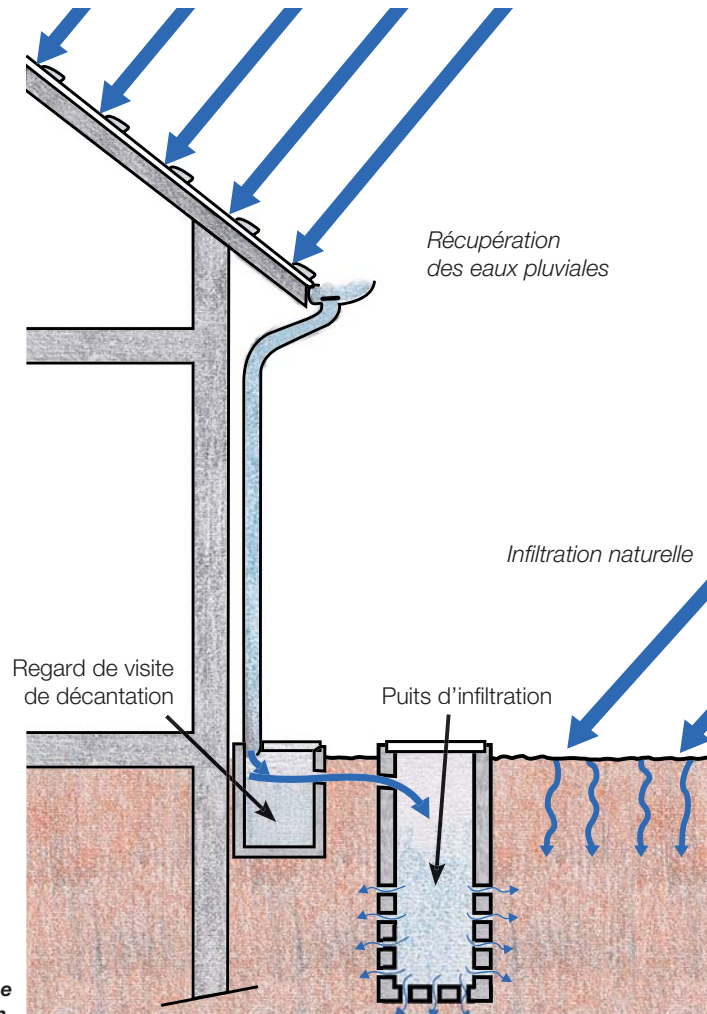


Illustration 74 : Schéma de principe général d'un puits d'infiltration.

Ces ouvrages permettent le rejet d'eaux pluviales ou usées prétraitées dans une couche de terrain perméable et non saturé par l'eau de la nappe phréatique. Cette couche de terrain est indispensable pour filtrer et développer les bactéries épuratrices de l'eau.

Cette technique permet d'évacuer les eaux pluviales directement dans le sous-sol en s'affranchissant des couches imperméables superficielles, et en allant chercher les couches profondes qui présentent des capacités d'infiltration.

L'alimentation du puits peut se faire par ruissellement direct. Dans ce cas, l'ouvrage doit être recouvert par un matériau très perméable. Il peut également être approvisionné par des drains, amenant l'eau directement au cœur de la structure. Le stockage peut se faire à l'intérieur du puits (puits creux) ou en amont d'un puits comblé.

Dans le cas d'un puits creux, l'introduction des eaux s'effectue généralement au travers d'une zone de décantation avec raccordement siphonoïde pour retenir les déchets boues, flottants,...

L'évacuation s'effectue par infiltration, l'eau traverse alors une couche de sol non saturée, ou par injection directe dans la zone saturée, cette dernière étant déconseillée car les risques de contamination de la nappe sont élevés.

En pratique, on essaiera d'installer le puits dans la partie basse du terrain et à une distance des habitations au moins égale à la profondeur du puits. On évitera également la proximité des végétaux importants dont les racines pourraient nuire au puits.

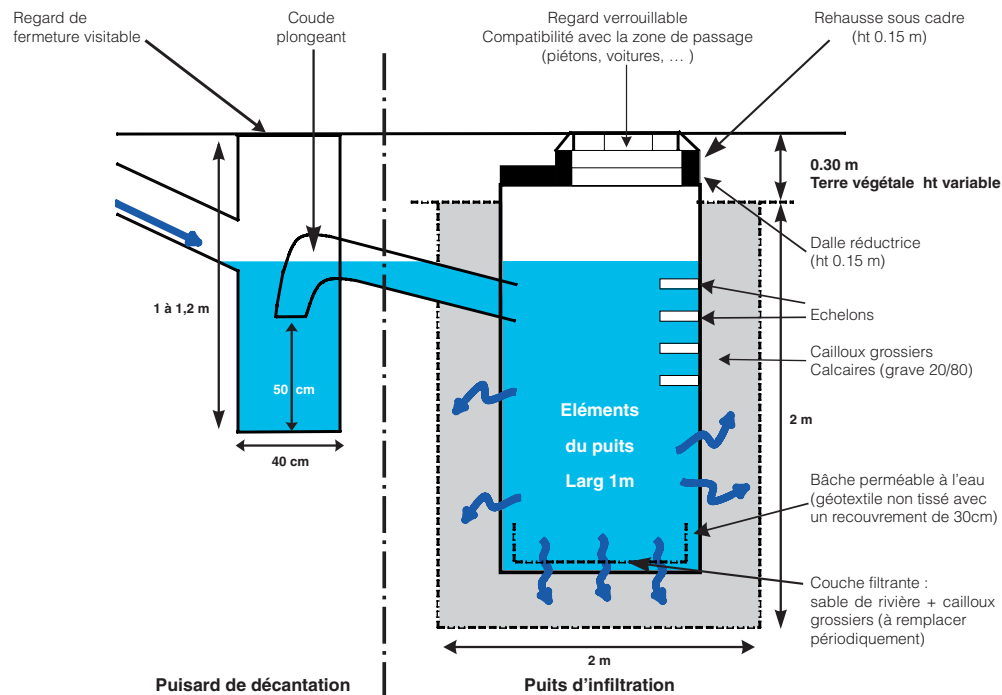


Illustration 75 : Les composants techniques du puits d'infiltration.

Conditions et limites d'utilisation :

L'utilisation de ces techniques dépend essentiellement du sol et du sous-sol environnant.

La capacité d'absorption doit être suffisante, le toit de la nappe doit se situer à plus d'un mètre de profondeur sous le fond du puits, la nature du sous-sol doit être connue afin de ne pas le détruire (roches solubles sur le parcours de l'eau). Par contre, ce dispositif s'adapte parfaitement autant en milieu urbain qu'en périurbain.

Avantages

- Peut être utilisé dans les zones où la couche superficielle est peu perméable mais ayant des capacités importantes d'infiltration : Zones de forte urbanisation avec de grandes surfaces imperméabilisées ;
- Réduit les risques d'inondation (absorption des pointes de ruissellement) ;
- Diminue les volumes d'eau allant vers le réseau classique d'assainissement et de ce fait, allège son fonctionnement et réduit les coûts d'investissement et d'exploitation ;
- Collecte des eaux très locales et donc économie de réseau d'assainissement.

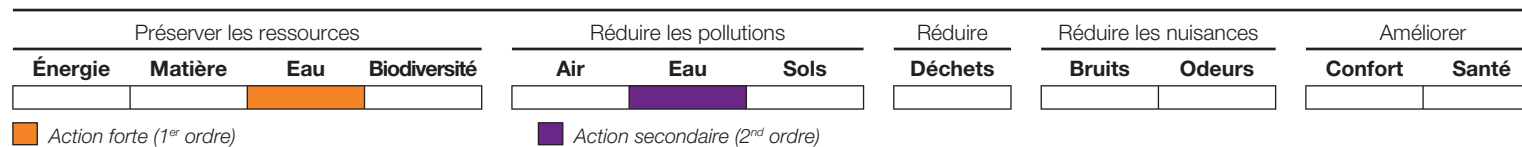
- Bonne intégration dans le tissu urbain : Peu d'emprise foncière ;
- Pas de contrainte topographique majeure.
- Alimentation de la nappe.

Points de vigilance

- Risques de colmatage ;
- Risque de pollution de la nappe ;
- Il faut un entretien régulier spécifique ;
- Capacité de stockage du puits limitée et fonction de la qualité du sol.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental d'un puits d'infiltration est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Coûts :

Les coûts sont variables d'un contexte à un autre et l'étude financière doit être faite avec les éléments sur place mais en général ils dépendent :

- De la surface à assainir ;
- De la profondeur du puits et de la nature du sol dans lequel il est creusé ;
- Des dispositifs d'épuration utilisés ;
- Des mesures de la capacité d'absorption du sol en place.

Globalement, on peut retenir les fourchettes de coûts suivantes :

En fourniture : 350 à 600 € HT.
 En fourniture et pose : 900 à 1 300 € HT.

Entretien et maintenance :

Une fois encore, la mise en garde sur l'indispensable suivi de l'entretien n'est pas inutile. Plus que d'habitude, pour un ouvrage souterrain de ce type, la surveillance de son fonctionnement est primordiale. La qualité des eaux pluviales absorbées déterminera la fréquence d'entretien. Il faudra absolument s'affranchir des risques de colmatage. Les zones de décantation seront curées régulièrement, les dispositifs filtrants seront

nettoyés dans la mesure du possible, les surfaces drainées par les puits seront nettoyées par aspiration.

Au cas où la vocation première du puits serait définitivement altérée, il reste la possibilité d'un curage ou d'un pompage du puits, qui malheureusement ne permet pas la récupération du puits à 100%, suivant ses caractéristiques initiales.

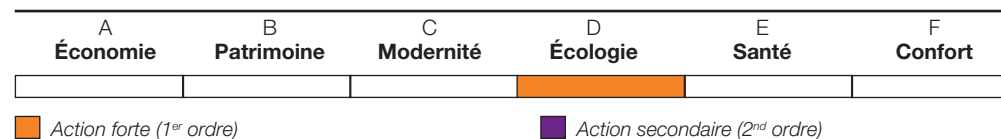
En cas de pollution accidentelle, s'il n'existe pas d'ouvrages de stockage en amont du puits suivant, l'intervention consistera à pomper la pollution à l'intérieur du puits en le vidant de ses matériaux.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Pour les entreprises, il est recommandé de suivre scrupuleusement les indications fournies dans le descriptif travaux pour la réalisation parfaite du puits d'infiltration. Ainsi, les entreprises acquièrent un savoir-faire supplémentaire.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

L'eau de pluie est drainée par la couverture du toit vers les gouttières. Les eaux sales sont évacuées vers le tout-à-l'égout. L'eau propre, elle, est traitée par divers procédés de filtration puis stockés dans une cuve en béton.

La qualité sanitaire de l'eau de pluie est garantie par :

- Une pré-filtration avant la cuve évitant la présence de matières organiques dans celle-ci ;
- L'utilisation d'une cuve enterrée assurant une température faible et constante toute l'année de l'ordre de 10 – 12 °C, bloquant le développement biologique.

L'usage d'une cuve en béton permet de neutraliser le pH de l'eau de pluie légèrement acide et ainsi de la rééquilibrer.

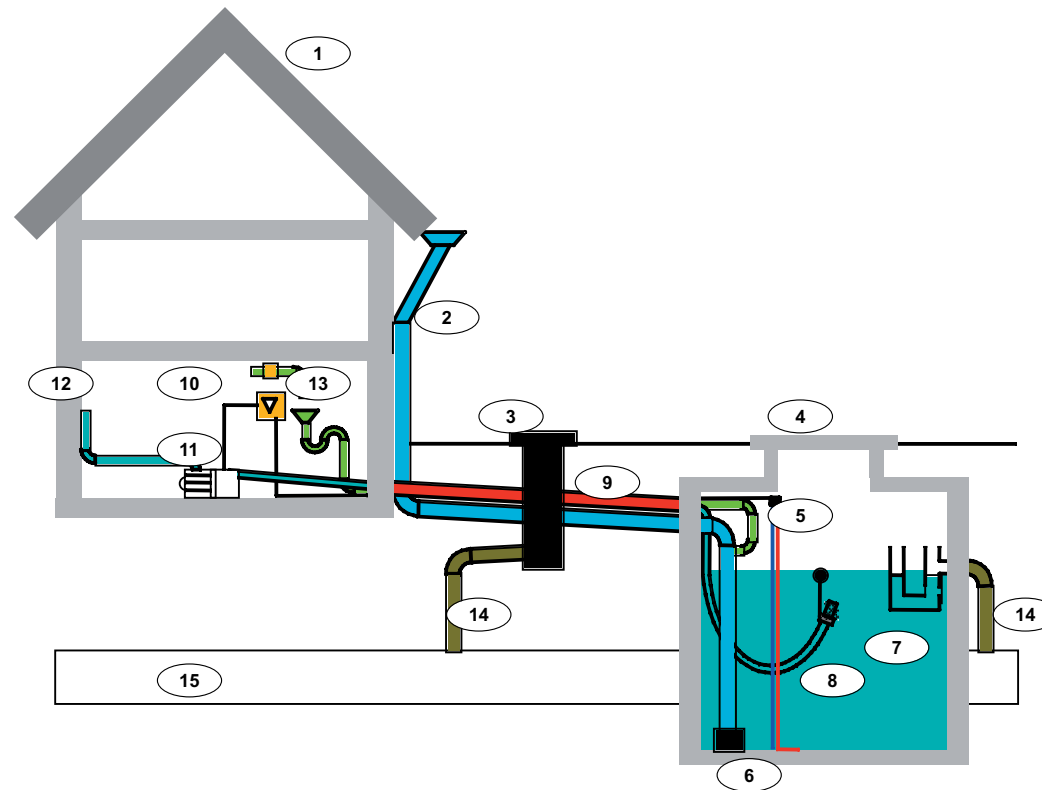


Illustration 76 : Schéma d'une installation de récupération des eaux pluviales.
Schéma d'après Architecture Écologique, éd. Le Moniteur. Source : entreprise Wisy.

A noter :

L'eau de pluie a l'avantage d'être non calcaire, il n'y a donc aucun risque d'entartrage des appareils ménagers et de la tuyauterie...

La plupart des systèmes sont conçus de la façon suivante : un collecteur relié à la descente d'eau pluviale d'une toiture dessert après filtration une citerne de stockage. L'eau de pluie contenue dans la citerne alimente un réseau de distribution via une station de pompage comprenant un réservoir tampon.

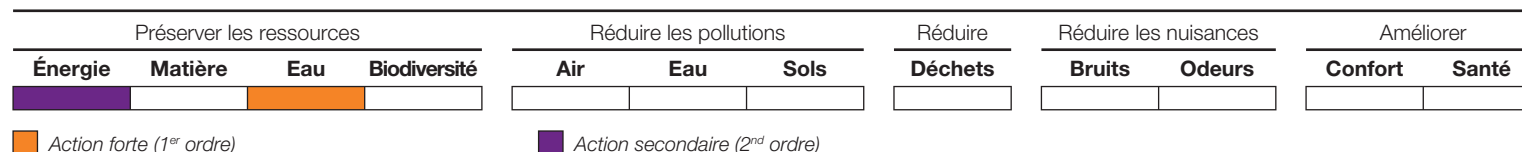
Un ou plusieurs filtres secondaires sont parfois installés en aval du ballon tampon. Il s'agit le plus souvent de filtres au charbon actif, de gaines en nylon ou de cartouches en céramique. L'eau ainsi filtrée alimente les différents points de puisage. Certaines installations sont équipées en plus d'un bac de décantation positionné entre le collecteur d'eau pluviale et la citerne de stockage.

Une régulation assure l'alimentation automatique de la citerne par le réseau d'eau de ville lorsque le niveau de l'eau est trop bas.

Légende	
1- Surface de collecte	8- Crépine + tuyauterie d'aspiration
2- Descente d'eau pluviale	9- Fourreau
3- Filtre primaire	10- Commande de l'installation
4- Réservoir	11- Station de pompage
5- Capteur de niveau	12- Réseau de distribution
6- Anti-remous	13- Appoint eau potable
7- Trop plein anti-odeurs	14- Branchement à l'égout
	15- Égout

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental d'une installation de récupération des eaux de pluie est le suivant :



Une installation de récupération permet :

- De restreindre le recours au réseau d'eau de ville ce qui revient, selon les cas, à agir pour la diminution des pompages dans des nappes phréatiques parfois surexploitées et/ou à limiter les traitements de potabilisation des eaux provenant des cours d'eau ou des nappes ;
- D'agir contre l'engorgement des réseaux de collecte lors d'événements pluvieux importants qui peuvent provoquer des problèmes d'inondation, de débordement de stations d'épuration, de baisse de performances des traitements ou de by-pass d'un mélange eau de pluie et eaux usées directement dans le milieu naturel si le réseau est unitaire ;

VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- Limite le montant des charges en eau d'un bâtiment (ressource gratuite) ;
- On peut atteindre facilement 100% de récupération des eaux de pluie nécessaires pour les usages WC notamment pour les bâtiments tertiaires ; en ce qui concerne l'arrosage, la capacité de stockage nécessaire est beaucoup plus importante.

Points de vigilance

- Surcoût à l'investissement car une installation de récupération des eaux pluviales ne dispense pas, en général, d'un système d'alimentation classique ;
- Frais d'entretien et de fonctionnement spécifiques (électricité de la pompe) ;
- Assurer la séparation absolue des deux réseaux. Pour l'utilisation de l'eau pluviale, il est indispensable d'installer un réseau entièrement indépendant du réseau d'eau potable et identifiable de façon non équivoque ;

- Le problème est d'assurer la continuité de l'alimentation. Lorsque la cuve de stockage est vide, il faut faire appel à l'eau potable du réseau. Cela peut se faire de deux façon différentes : soit par remplissage de la cuve par de l'eau du réseau soit par une électrovanne permettant de commuter les deux réseaux ;
- Obligation de mise en œuvre d'une signalétique claire et durable dont le but est l'identification de chaque réseau et point d'alimentation ;
- Surveillance régulière recommandée (état du filtre primaire) ;
- Toitures bitumineuses ou végétalisées inadaptées / nécessité d'une toiture « libre de pollution ».

Conditions et limites d'utilisation

Dans les faits, les usages pour lesquels l'eau de pluie est utilisée sont l'arrosage des espaces verts, l'alimentation des WC, le nettoyage des sols et voiries et le lavage des véhicules.

Des installations conçues pour l'alimentation des lave-linges, des lave-vaisselles, la fourniture d'eau destinée à la toilette, à la préparation des aliments, à la cuisson et à la boisson existent mais sont plutôt rares même si certains fabricants proposent des traitements complémentaires adaptés.

De plus certaines applications nécessitent une dérogation de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) pour des usages **ne nécessitant pas de caractéristiques de potabilité** mais potentiellement buvable (notamment par les enfants).

Les différents postes du coût global

Investissement :

Compris entre 3 000 et 5 000 € HT pour une installation en maison individuelle. Pour une installation simple (usage des eaux de pluie pour WC, lave-linge, arrosage), comptez 2 500 €.

Pour une installation plus complexe (autonomie complète, avec utilisation de l'eau pour tous les usages y compris la boisson), cela vous coûtera 8 000 €.

Entretien maintenance :

Contrôle annuel : 100 à 150 € HT.

Économie de charges :

Dans une région où la pluviométrie est en moyenne entre 800 et 900 mm par an, avec 100 m² de toiture, on récupère entre 80 000 et 90 000 litres d'eau de pluie. Ce volume peut couvrir jusqu'à 70% des besoins journaliers en eau d'une famille.

Dans l'hypothèse d'un coût moyen de 3,5 € le m³, l'économie est d'environ : **300 €/an.**

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Le potentiel de récupération de l'eau de pluie est important partout en France.

Les fournisseurs de cuves se multiplient et l'offre est très variée. Les installations se multiplient et deviennent accessibles pour les logements.

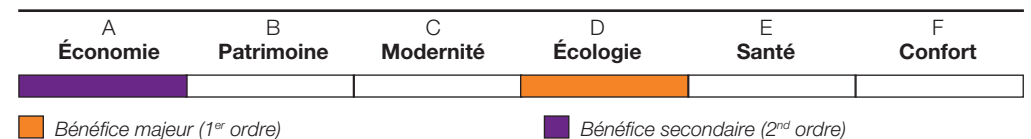
A noter :

Des kits d'installation pour les maisons individuelles commencent à être proposés par les sociétés spécialisées.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

L'intérêt des ménages pour les installations de récupération des eaux de pluie correspond à leur forte sensibilité au risque écologique du manque d'eau douce (Dans une récente étude auprès des acquéreurs de maisons individuelles ce risque était classé en 1^{er}, devant l'effet de serre et l'épuisement des énergies fossiles). 13% des ménages estimaient leur maison écologique, simplement parce qu'elle allait être équipée d'un récupérateur d'eau de pluie - Étude Vivrélec 2005.

Bénéfice client :



Cette sensibilité des ménages, qui dépasse la rationalité économique, est liée à la valeur socioculturelle de l'eau « source de toute vie » qui ne se gâche pas.

- L'argument financier (économiser le prix de l'eau) ne sera que secondaire et surtout utilisé comme mobile ;
- La motivation essentielle sera la tranquillité d'esprit, le fait de pouvoir arroser son jardin, utiliser ses WC, ou laver son linge sans avoir l'impression de gaspiller une ressource essentielle à l'humanité.

Économiser l'eau est le premier « geste vert » perçu par les ménages. Le récupérateur d'eau de pluie correspond à la prestation type dont la « valeur psychologique attribuée » dépasse toujours le coût réel.

MATÉRIAUX SANTÉ

VOLET DESCRIPTIF

Le rôle de l'IAC (biorupteur) :

L'installation électrique toute entière émet un champ électrique, notamment si les fils ne sont pas convenablement blindés ou lorsque l'installation électrique est ancienne. Il existe désormais des interrupteurs automatiques de champ, ceux-ci permettent de couper l'alimentation électrique d'une pièce lorsqu'aucune consommation n'y est enregistrée.

Le circuit est alors protégé en l'absence de toute consommation, il se trouve complètement isolé du réseau électrique du reste du bâtiment. Ceci permet donc la création d'une zone neutre, libre de tout potentiel, donc non génératrice de champs électriques et électromagnétiques.

L'usage de l'interrupteur automatique de champ est particulièrement conseillé pour les réseaux des chambres à coucher. Ce type de pièce est en fait celui où l'on passe le plus de temps dans la maison sans avoir la nécessité d'utiliser d'électricité (notamment pendant le sommeil).

Par contre, il est déconseillé d'utiliser les IAC dans des pièces telles que :

- La cuisine, où il y a des charges constantes ou presque (frigo, congélateur, etc.) ;

- La salle de bains et lieux de passage car le temps d'occupation y est trop bref.

Son principe de fonctionnement :

Au repos, une faible tension continue (4V DC) est présente sur un des deux fils électriques : l'appareil mesure la résistance du circuit. Si la résistance est infinie, c'est-à-dire qu'aucune charge n'est en fonctionnement, l'appareil reste au repos.

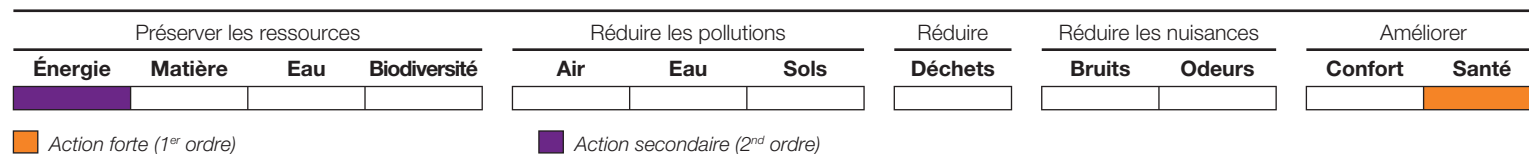
Si l'appareil décèle une résistance (par exemple une lampe allumée), il bascule et enclenche le 220 V en supprimant le 4V DC. L'appareil travaille se met alors à mesurer le courant consommé. Tant qu'il y aura consommation, l'IAC laissera passer le 220 V.

Quand il n'y a plus de consommation, le rupteur détecte l'arrêt de charge et 5 secondes après, coupe le réseau de façon bipolaire et rétablit la tension de veille de 4V DC.

L' IAC coupe donc le circuit au niveau du coffret lorsque tous les appareils sont débranchés (pas de fonctionnement si par exemple la télévision reste en veille).

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental du rupteur de champ électrique est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- L'installation de l'IAC est simple et peu onéreuse, et peut être réalisée sur beaucoup d'installations électriques existantes ;
- L'IAC permet d'éviter les problèmes de santé générés par les champs électriques.

Point de vigilance

- Le biorupteur doit être protégé par un fusible pour éviter sa destruction si un court-circuit se produit.

Les différents postes du coût global

Investissement :

De 60 à 150 € pour l'appareil.

Entretien maintenance :

Ce type de système ne nécessite pas d'entretien particulier. Seul le fusible du biorupteur est à changer en cas de besoin.

Économie de charges :

Les économies de charge ne sont pas importantes, par contre, le gain se situe au niveau du confort.

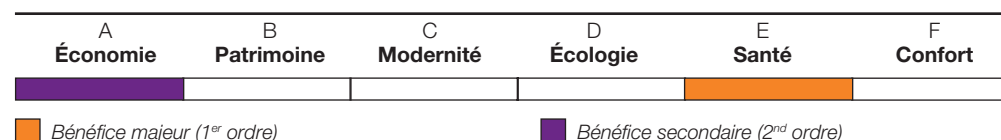
VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Il s'agit d'un système simple à mettre en œuvre par les entreprises, pas de spécialisations nécessaires. Il suffit aux entreprises de le prévoir dans le devis et de l'installer en phase chantier.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

La santé est l'un des thèmes préférés des français. Grâce à un investissement minime, un constructeur ou un promoteur peut prouver sa préoccupation d'un produit irréprochable sur le plan sanitaire. L'argument sera d'autant plus porteur qu'il porte sur un risque caché et presque toujours oublié par les concurrents.

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

Le recours aux matériaux isolants d'origine végétale répond à deux familles de préoccupations :

- La santé, par la limitation des risques d'allergies associés aux matériaux de la pétrochimie (polyuréthane, polystyrène, etc.) ou aux laines minérales (laine de verre, laine de roche) ;
- Le cycle de vie des produits, de l'extraction des matières premières à la production de déchets ultimes.

Les avantages des isolants végétaux portent en effet autant sur la réduction des risques sanitaires en phase de mise en œuvre et tout au long de la vie de la construction, que sur l'exploitation de ressources renouvelables, contribuant à la fixation de carbone au cours de la photosynthèse. Leur production locale est le plus souvent possible sur le territoire français, ce qui limite les impacts liés au transport et contribue à l'économie régionale (approche du « circuit court »). Le lin et le chanvre, en particulier, se prêtent bien à une agriculture biologique.

Matériaux isolants à base de cellulose :

Ils sont fabriqués à partir soit de cellulose fraîche, soit de papier journal recyclé, moulu ou découpé et mélangé à de l'acide borique et à des sels de bore, pour assurer une protection contre l'incendie, les insectes et la moisissure. Les flocons de cellulose sont insufflés dans les cavités sèches (par exemple les rampants des combles), à même le sol pour l'isolation des plafonds sous combles, ou floqués après humidification sur les parois verticales.

Caractéristiques :

- Perméabilité à la diffusion de la vapeur d'eau ;
- Panneaux en ouate de cellulose sont des isolants acoustiques remarquables.

Matériaux isolants dérivés du bois :

Les panneaux mous de fibre de bois, qui doivent être de préférence agglomérés à l'aide de la résine du bois, sont utilisés pour l'isolation thermique et acoustique des sols, ainsi que pour l'isolation sur chevrons. Les panneaux de « fibragglo », composés de laine de bois et de copeaux agglomérés à l'aide de carbonate de magnésie ou de ciment Portland, doivent être associés à des isolants classiques pour améliorer le coefficient d'isolation final.

Matériaux isolants à base de lin ou de chanvre :

Les rouleaux isolants en fibre de lin ou de chanvre offrent de bonnes propriétés d'isolation, notamment pour les toitures, lorsqu'ils sont posés entre les chevrons. Le lin et le chanvre nécessitent très peu de pesticides et insecticides. Le chanvre est naturellement fongicide et antibactérien, se présente également en granulats pour les enduits isolants. Il nécessite cependant une ignifugation.

Matériaux isolants à base de liège :

Les panneaux de liège agglomérés sont fabriqués à partir de l'écorce de chêne liège : le liège brut est réduit en granules, qui sont

expansés à la vapeur à 300°C, et agglomérés à l'aide de la résine contenue dans le liège, la subérine. En raison de leurs propriétés acoustiques, et d'une bonne résistance à la compression, ils peuvent être utilisés pour l'isolation des planchers. La matière première est peu abondante, faute de reboisement suffisant des régions sèches. Le liège expansé présente une faible perméabilité à la vapeur d'eau. Il est ininflammable, imputrescible, résistant aux attaques d'insectes, de rongeurs, de champignons.

Le liège est aussi disponible en granules, pour l'isolation des vides (planchers, combles) et comme composant de béton allégé. Sous forme de dalles, le liège est aussi utilisé en revêtement de sol isolant et antiallergique (fourniture : 20 à 30 €/m²)

MATÉRIAUX	Liège en vrac	Liège en panneau	Laine de mouton	Laine de lin	Lin en panneau	Granulats de bois
Valeur Lambda (W/m.K)*	0,043	0,032	0,035	0,038	0,038	0,07

MATÉRIAUX	Chanvre vrac	Laine de chanvre	Ouate de cellulose	Vermiculite	Perlite
Valeur Lambda (W/m.K)*	0,04	0,045	0,035	0,05	0,05

Illustration 77 : Caractéristiques thermiques de différents matériaux.

**(Comparatif : Laine de verre, Lambda = 0,04)*

Pour le maître d'ouvrage :

Le maître d'ouvrage doit pouvoir disposer des caractéristiques environnementales des produits, provenant de diverses sources :

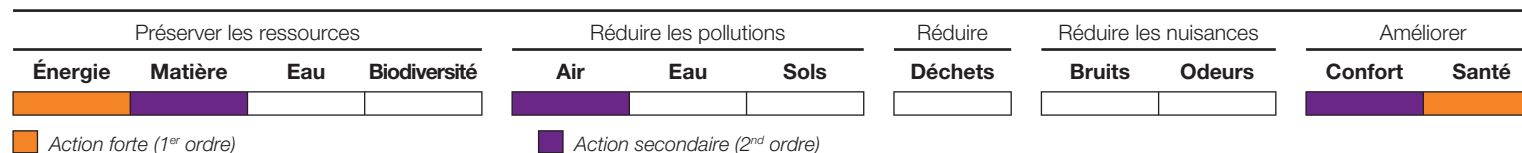
- l'AIMCC ;
- le CSTB (avis techniques, base INIES et fiches FDES) ;
- l'AFNOR (norme P01-010).

Sources documentaires :

ADEME,
Qualité environnementale des bâtiments, Manuel à l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment, Avril 2002.
 Öko test, *Eco-logis, la maison à vivre*, Kônemann, 1998.
 Revue : *La Maison écologique*.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental des isolants d'origine végétale est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- Performances d'isolation comparables à celle de la laine de verre (et valeurs du coefficient Lambda parfois légèrement inférieures) ;
- Impact négatif sur la santé très réduit pour les isolants à base de lin ou de chanvre ;
- Contribution à la fixation de CO₂ (quoique faible en raison de la masse représentée, de l'ordre de 1% du poids total de la construction).

Points de vigilance

- Coûts plus élevés que ceux qui sont pratiqués pour les isolants conventionnels (laines minérales, mousses) ;
- *Cellulose* : son application libère des quantités importantes de poussières, faiblement biodégradables, et doit être réservée aux entreprises spécialisées ;
- *Liège* : les distances d'approvisionnement de la matière première, en provenance du Maghreb, du Portugal, de la Corse, grèvent le bilan environnemental.

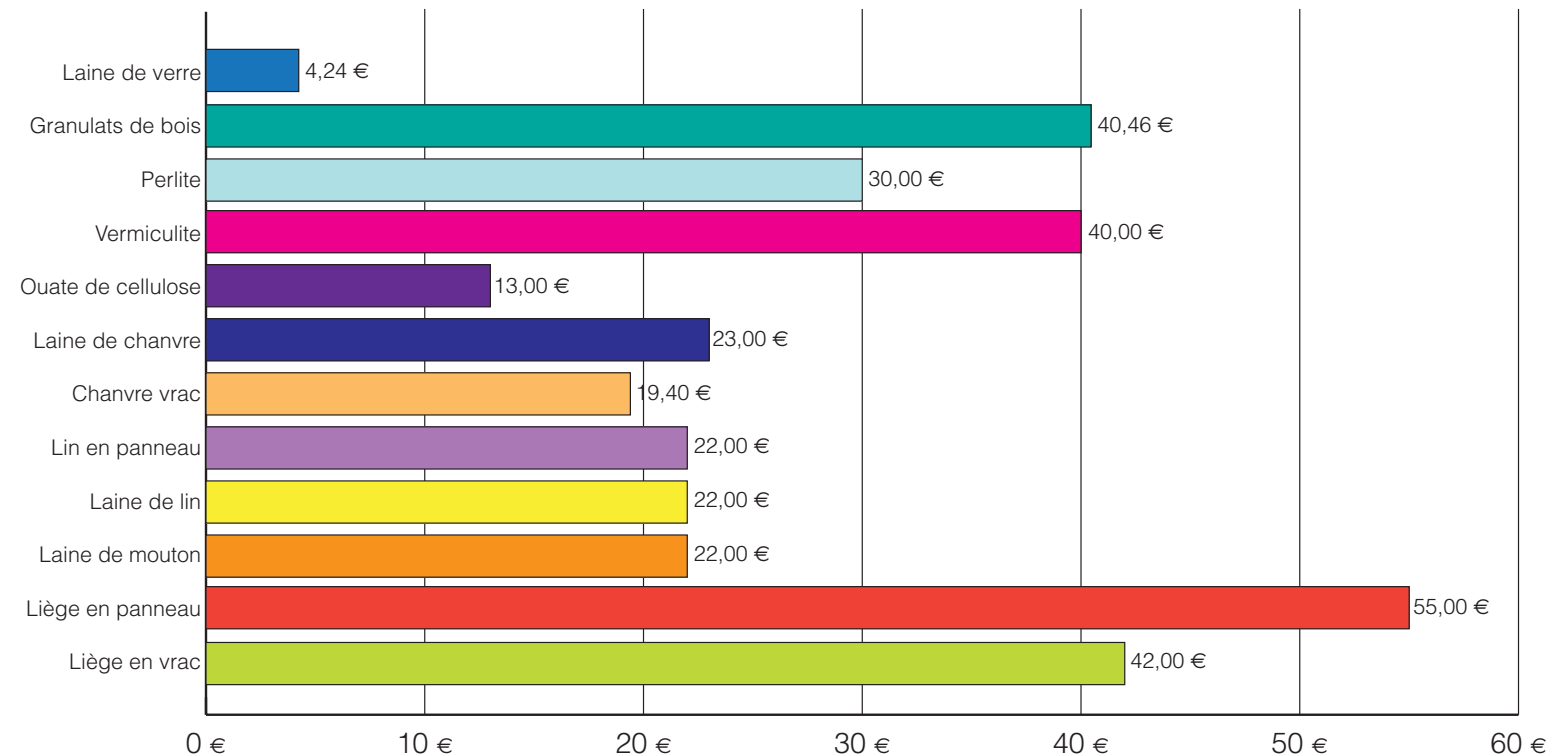


Illustration 78 : Prix comparés de différents isolants – Comparatif au m² à résistance thermique équivalente (5m².K/W) - Base prix constatée en 2006 (coût des matériaux hors pose). Source : ARDITTI JUMEL SOCIETE D'ARCHITECTURE.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Selon les matériaux, l'investissement est de 3 à 10 fois supérieur à celui qu'on réalisait avec la laine de verre, à résistance thermique équivalente (fournitures seules).

Entretien maintenance :

Durée de vie équivalente à celle des isolants classiques.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Nécessite parfois des techniques de mise en œuvre spéciales, les entreprises de plâtrerie, isolation, acquièrent les compétences au fil des chantiers, ou décident de suivre des formations (courtes durée).

De plus des démonstrateurs peuvent être disponibles pour la mise en route du chantier.

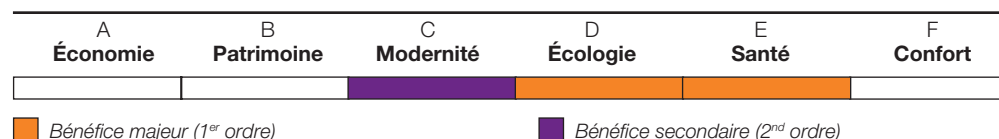
VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

Les deux types d'isolant dont l'usage est généralisé présentent des inconvénients majeurs :

- Les polystyrènes expansés (PSE) sont issus de la pétrochimie ;
- Les laines minérales sont des fibres et le consommateur peut s'interroger sur leur innocuité.

Les isolants d'origine végétale ou animale sont des matériaux d'avenir. Mais leur coût (la plus value pour une maison équivaut à celle d'une cuisine aménagée !) les réserve pour l'instant à une cible étroite de ménages très sensibilisés à la défense de l'environnement ou très préoccupés par le facteur santé.

Bénéfice client :



VOLET DESCRIPTIF

Lors du choix de la peinture, l'objectif principal est de réduire l'utilisation de trois groupes de substances les plus dangereux pour

l'environnement et la santé :

■ **Les solvants organiques :**

Pour les peintures naturelles, les solvants sont d'origine végétale, donc moins nocifs pour la santé puisque présents naturellement dans notre environnement ou **entièrement** diluables à l'eau.

■ **Les agents actifs biocides** (pesticides)

permettent d'allonger la durée de vie du produit et de prévenir des attaques de champignons, d'insectes et de bactéries. Ces produits sont toxiques, il faut donc utiliser des peintures qui en sont dépourvues. Les peintures naturelles contiennent des agents actifs non toxiques.

■ Les pigments contenant des **métaux lourds**

(éviter les peintures aux couleurs vives), contribuent à la pollution de l'environnement et induisent des risques sanitaires. Les peintures naturelles contiennent des pigments de nature minérale, végétale ou animale donc sans risque pour notre santé.

Les critères **d'économie d'énergie** doivent être pris en compte et les **produits issus de**

matières premières renouvelables

seront préférables. Le choix doit se porter sur des peintures dont les liants sont pauvres en énergie grise, et issus de matières premières renouvelables et peu polluantes. Pour les peintures naturelles, les liants sont des produits naturels (des résines d'arbre, des huiles végétales, de la cire d'abeille...). Leur fabrication ne nécessite donc pas de transformations coûteuses.

La durabilité du produit doit également être analysée (résistance à la saleté, à l'abrasion, à l'humidité), l'aspect esthétique du revêtement ainsi que le travail et les frais à prévoir pour sa rénovation ultérieure. Le mieux est de choisir des peintures qui se rénovent facilement (économie de matière première) et qui « gèrent » l'humidité intérieure. Les peintures naturelles sont en effet perméables à la vapeur d'eau et ont une importante capacité hygroscopique contribuant à réguler l'humidité en excès des locaux.

Il est nécessaire de laisser sécher une peinture au moins quinze jours avant d'investir les locaux, afin que les **émissions de composés organiques volatils (COV)** s'évaporent de façon significative. Les COV regroupent les

solvants organiques de diverses origines : produits pétroliers (white-spirit, toluène), solvants chlorés (trichloréthylène), solvants oxygénés (acétone, alcools).

Réglementation :

Il existe une directive européenne entrée en application depuis le 1/01/01 et de nouvelles exigences sont apparues : la directive européenne 2004/42/CE du 21 avril 2004 a fixé des seuils de teneurs maximales en COV pour les vernis et les peintures. Ces seuils sont applicables depuis le 1/01/07. Une seconde étape est prévue en 2010.

Les Peintures labellisées :

En France, il existe deux écolabels officiels : la Marque NF Environnement et l'Ecolabel européen. Tous deux créés par les pouvoirs publics, ils ont comme objectifs de permettre aux consommateurs de reconnaître les produits plus respectueux de l'environnement, mais également d'amener les producteurs à améliorer la qualité écologique de leurs produits.

Ils garantissent à la fois l'efficacité des produits et la limitation de leurs impacts sur l'environnement (eau, air, déchets, énergie...).

Leurs exigences sont fixées après une analyse du cycle de vie des produits, de l'extraction des matières premières à l'élimination ou au recyclage en passant par la production, la distribution et l'utilisation.

L'écolabellisation est une démarche volontaire mais stricte, les produits doivent être conformes à tous les critères de sa catégorie. Ceci se traduit pour les peintures, par les critères suivants :

- La quantité de pigment blanc est réduite tout en continuant à garantir un recouvrement suffisant ;
- Les pigments sont produits selon des critères écologiques rigoureux ;
- Le produit libère moins de solvants ;
- Le produit ne contient pas de métaux lourds ni de substances toxiques ou cancérigènes.



Illustration 79 :
Écolabel européen.
Créé en 1992, il est reconnu dans les 25 pays de l'Union Européenne. En France, AFAQ AFNOR Certification est aussi l'organisme en charge de la gestion et de l'attribution de l'Ecolabel européen.



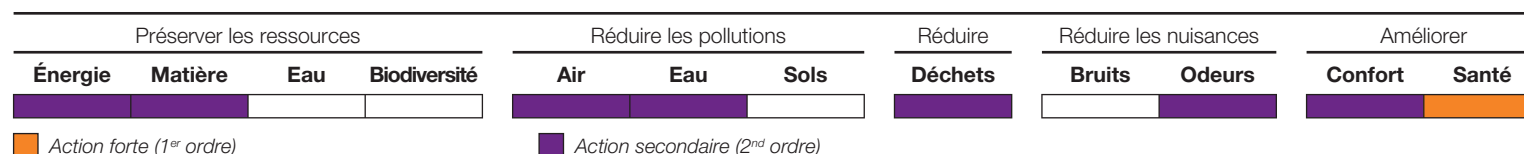
Illustration 80 :
Marque NF Environnement.
Créée en 1991, la marque est gérée et délivrée par AFAQ AFNOR Certification.

Le conditionnement :

Il existe aujourd'hui des conditionnements de plus de 200 litres, permettant de réduire les matériaux d'emballage. Certains conditionnements sont constitués d'une poche en matériau de synthèse avec un sur-emballage cartonné et livré sur palette bois.

VOLET ENVIRONNEMENTAL

Le profil environnemental des peintures écologiques est le suivant :



VOLET COÛT GLOBAL

Avantages

- Outre l'impact sur la santé et l'environnement, les peintures naturelles sont de bonne qualité et ont un bon pouvoir couvrant ;
- Leur prix est souvent comparable aux peintures synthétiques de bonne qualité ;
- Elles imprègnent mieux le support ;
- Elles sont perméables à la vapeur d'eau ; elles peuvent donc être utilisées en cuisine et salle de bains ;
- Elles sont biodégradables.

Points de vigilance

- Les peintures écologiques ne sont pas toutes « lavables » ;
- Elles sèchent en général moins vite que les peintures classiques ;
- Certaines peintures nécessitent une couche supplémentaire ;
- La palette des teintes est moins large.

Les différents postes du coût global

Investissement :

Le surcoût moyen est dû au fait que l'on réalise une couche supplémentaire avec les peintures écologiques.

	En bidon de 5 litres	En bidon de 15 litres
Capablanc	-	6,23 €/L
Indeko fix	8,72 €/L	8,46 €/L
Indeko mat	10,82 €/L	9,94 €/L
Indeko satin	10,82 €/L	9,94 €/L
Indeko velours	10,82 €/L	9,94 €/L

Illustration 81 : Prix indicatif (TTC) de différentes marques de peinture écologiques.

Entretien maintenance :

Il n'y a pas d'entretien maintenance particulier pour les peintures écologiques.

Économie de charges :

Néant.

VOLET FAISABILITÉ ET RÉFÉRENCES

Les peintures écologiques se trouvent partout. Elles nécessitent souvent une couche supplémentaire, mais pas d'application particulière.

VOLET MARKETING COÛT SOCIÉTAL

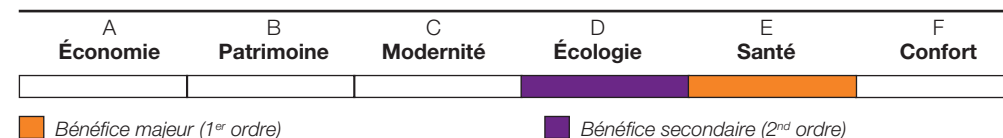
Les peintures labellisées écologiques présentent un atout commercial important, et peuvent être utilisées par les promoteurs.

La motivation essentielle d'une majorité de ménages acheteurs d'une maison individuelle est de donner à la famille un « cocon » protecteur : sécurité et santé. Un des facteurs les plus importants de la santé est la qualité de l'air respiré.

Les COV correspondent au facteur majeur de dangerosité possible de l'air intérieur, et ils émanent surtout des peintures utilisées.

Et pourtant, rares sont les argumentaires, ou les marquages produit susceptibles de donner du promoteur une image forte de citoyenneté: « Il s'intéresse à la santé de ses clients ».

Bénéfice client :



SYNTHÈSE

Partie 2.5

LES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES (MTD)

2.5.1

VOLET DESCRIPTIF

Le tableau suivant présente de manière synthétique les 25 fiches thématiques concernant la construction. Pour chacune de ces Meilleures Techniques Disponibles, sont présentés :

- Les techniques classiques utilisées dans la construction ;
- Les incidences de la technique proposée sur le plan environnemental, en terme d'éco-gestion ainsi qu'en terme de confort et de santé ;

- La visibilité commerciale de son utilisation ;
- L'investissement sur la durée de vie du composant, c'est-à-dire le temps de retour de l'investissement pour l'emploi de cette technique.

L'incidence économique de chacune de ces techniques est présentée de façon schématique selon le codage suivant :

★	★	★★	★★★
investissement non récupéré intégralement	investissement récupéré intégralement sur la durée de vie du composant	investissement récupéré au moins deux fois sur la durée de vie du composant	investissement récupéré au moins trois fois sur la durée de vie du composant

Lot concerné	N° de la fiche	Désignation de la meilleure technique disponible	Techniques classiques	Incidence environnementale	Incidence en terme d'éco-gestion	Incidence en terme de confort, santé	Visibilité commerciale	Investissement sur la durée de vie
Isolation	2.1.1	Isolation répartie en brique Monomur	Isolation périphérique par l'intérieur, en doublissimo 80 + 13 mm de plâtre	Structure porteuse et isolation en un seul produit : moins de déchets. Plus grande durabilité	Ponts thermiques diminués, donc baisse de la consommation de chauffage	Matériau régulateur d'hygrométrie, améliore le confort d'été, pas de dégagement toxique	Maintenant très demandé par les ménages. Donne une image de qualité à l'ensemble de la construction	★★★
	2.1.2	Isolation par l'extérieur 8 cm : U = 0,385 20 cm : U = 0,245	Isolation périphérique par l'intérieur, en doublissimo 80 + 13 mm de plâtre	Réduction des impacts liés à la consommation d'énergie de chauffage	Diminution des consommations par réduction des ponts thermiques	Amélioration du confort d'été par augmentation de l'inertie	Technique inhabituelle pour les ménages français. Il n'y a pas l'aspect minéral de l'enduit monocouche. Il faudra argumenter sur les performances en isolation	★★

Lot concerné	N° de la fiche	Désignation de la meilleure technique disponible	Techniques classiques	Incidence environnementale	Incidence en terme d'éco-gestion	Incidence en terme de confort, santé	Visibilité commerciale	Investissement sur la durée de vie
Énergie passive	2.1.3	Double vitrage faiblement émissif à lame argon	Double vitrage 4/12/4	Réduction des impacts liés à la consommation d'énergie de chauffage	Moins de déperditions, donc diminution de la consommation de chauffage	Meilleur confort des usagers, car limitation de la dissymétrie de T°C de rayonnement et de l'effet de paroi froide	Tous les logements sont livrés avec double vitrage ; l'utilisation de vitrages à lame argon permet de se différencier commercialement pour un coût négligeable	★ ★ ★
	2.1.4	Menuiserie bois capoté aluminium	PVC	Bois issus de forêts gérées durablement, matériau renouvelable faisant office de puits de carbone, faible énergie grise du châssis	-	En cas d'incendie, émission peu nocive par rapport au PVC	Prestation considérée comme « de luxe ». Associe le standing et la facilité d'entretien de l'alu, et l'isolation écologique du bois.	★ ★
	2.1.5	Énergie solaire passive (vérandas, verrière, bow window)	-	Apports solaires permettant des économies d'énergie	Diminution des consommations de chauffage et d'éclairage artificiel (meilleur taux de lumière naturelle)	Confort thermique amélioré (si protections solaires efficaces)	Surfaces vitrées plus importantes : meilleure sensation de confort et de « liberté »	★
	2.1.6	Mur trombe	-	Apports solaires permettant des économies d'énergie	Consommation de chauffage diminuée, meilleure résistance thermique	-	Permet par son inertie, de réellement utiliser les apports solaires passifs. Mais son coût, sa complexité de mise en œuvre le réservent à une élite	★
Perméabilité à l'air	2.1.7	Correction avant finition avec instrumentation sur site		Moins de consommations d'énergie	6 à 8 % de réduction de consommations	Meilleure maîtrise des pollutions externes	Visibilité commerciale nulle car c'est une qualité du bâti qui ne repose sur rien de visuel ... mais sur la rigueur de la mise en œuvre	
Éclairage naturel	2.1.8	Canons à lumière	-	Éclairage naturel dans des pièces sans ouvertures sur l'extérieur ou si éclairage insuffisant	Baisse de la consommation électrique (moins d'éclairage artificiel)	Meilleur confort visuel des usagers	Permet aux « extravertis » de se différencier, et aux « introvertis » de vivre, volets fermés, à la lumière du jour	★
Confort d'été	2.1.9	Puits canadien	-	Réduction des impacts liés à la consommation d'énergie de chauffage	Économie de chauffage - Fonction de climatisation naturelle en été	Réduction de la pollution de l'air (pollen) et de la poussière dans la maison grâce à un système de filtre réduit	Très demandé par les ménages écologistes. Il permet d'économiser sur le chauffage en hiver, et de se passer de climatisation en été	★
	2.1.10	Protections solaires	-	-	Permet d'éviter l'installation d'une climatisation	Limitation de l'inconfort d'été dû aux surchauffes et régulation de la quantité de lumière	Mise en valeur architecturale du standing du bâtiment	★

LES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES (MTD)

2.5.1

Lot concerné	N° de la fiche	Désignation de la meilleure technique disponible	Techniques classiques	Incidence environnementale	Incidence en terme d'éco-gestion	Incidence en terme de confort, santé	Visibilité commerciale	Investissement sur la durée de vie
Ventilation	2.2.1	Ventilation mécanique double flux	Ventilation mécanique autoréglable simple flux	Limitation des rejets de gaz à effet de serre	Réduction des besoins de chauffage	Diminution des mauvaises odeurs, de la condensation et des moisissures	Équipement coûteux et caché. Il faudra argumenter sur les avantages en termes de confort « vivre fenêtres fermées dans un air sain car filtré ».	★ ★
	2.2.2	Ventilation naturelle	Ventilation mécanique autoréglable simple flux	Pas de déchets ni de pollution lors de la fabrication	Consommation nulle d'énergie pour le fonctionnement de cette ventilation	-	Difficile à vendre car remplace de façon invisible un équipement qui lui-même est invisible	★ ★ ★
Solaire thermique	2.2.3	Solaire thermique (CESI + SSC)	Ballon ECS électrique	Énergie naturelle, propre et inépuisable. Évite rejet de CO ₂ dans l'atmosphère, limitation des polluants et réduction du kWh d'énergie primaire	Production d'eau chaude sanitaire d'origine renouvelable	-	Équipement très à la mode, très visible (les panneaux sur le toit) et remboursé à 50% par le crédit d'impôt!	★ ★
Solaire photovoltaïque	2.2.4	Panneaux photovoltaïques	-	Produit fini non polluant, n'entraîne aucune perturbation du milieu, pas d'émission de gaz à effet de serre	Diminution de la consommation d'électricité	-	Équipement très élitiste à la mode, et très visible. Vendre l'électricité produite 0,45 €/ kWh à EDF et la racheter à 0,16 €, « c'est malin ».	★
Bois énergie	2.2.5	Poêles à bois	Chauffage électrique ou gaz	Bois : matériau naturelle d'origine et renouvelable	Réduction de la consommation d'énergie de chauffage	Très bon confort thermique	Filière bois énergie mobilise 4 fois plus de main d'œuvre que les énergies fossiles : secteur créateur d'emplois	★ ★ ★
Géothermie	2.2.6	Pompes à chaleur eau ou sol	Chauffage électrique ou gaz	Source d'énergie renouvelable en partie, consommation réduite d'énergie primaire	Réduction de la consommation d'énergie de chauffage	-	Plus de 25% des ménages demandent maintenant cet équipement encore coûteux, donc valorisant en standing.	★ ★
Aérothermie	2.2.7	Pompes à chaleur air	Chauffage électrique ou gaz	Source d'énergie renouvelable en partie, consommation réduite d'énergie primaire	Réduction de la consommation d'énergie de chauffage	-	Idem. Les nouveaux systèmes Aéro thermiques ne présentent plus d'inconvénient sonore en lotissement	★
Chauffage	2.2.8	Chaudière à condensation	Chauffage électrique ou gaz	Récupération de la chaleur latente, ce qui permet une réduction des besoins d'énergie de chauffage, très peu d'émission de CO ₂	Consommation de chauffage moins importante	-	Moyen pour consommer moins, tout en restant utilisateur d'un « bon vieux chauffage central »	★ ★ ★

Lot concerné	N° de la fiche	Désignation de la meilleure technique disponible	Techniques classiques	Incidence environnementale	Incidence en terme d'éco-gestion	Incidence en terme de confort, santé	Visibilité commerciale	Investissement sur la durée de vie
Maîtrise de la consommation d'eau	2.3.1	Maîtrise de la consommation d'eau (limiteur de pression, douchettes venturi, détecteurs fuites d'eau, WC très économes)	-	Milieus naturels moins sollicités	Économies de charges	-	Le risque écologique du manque d'eau est l'un des mieux perçus par les ménages. L'investissement est très faible, par rapport au bénéfice.	★ ★ ★
	2.3.2	Toitures végétales	Toiture terrasse imperméable	Taux d'imperméabilisation plus faible, végétaux absorbant le CO ₂	Limitation de l'engorgement des canalisations, isolation thermique renforcée	-	Une signature très visible de l'engagement écologique de la famille propriétaire. Réservé aux cibles pilotes	★
Eau de pluie	2.3.3	Puits d'infiltration	-	Réduction des risques d'inondation	Allègement du volume d'eau transmis au réseau, d'où réduction des coûts d'investissement et d'exploitation	-	Les avantages techniques et fonctionnels sont difficiles à vendre car le produit n'est pas visible	★
	2.3.4	Récupération des eaux de pluie	-	Limitation des problèmes d'inondation	Gains en consommation d'eau (nettoyage des locaux, chasse d'eau)	-	« Fierté » d'utiliser l'eau de pluie récupérée	★ ★
Matériaux santé	2.4.1	Interrupteur automatique de champ	-	-	-	Neutralisation des champs électriques et électromagnétiques	Difficile à vendre car la problématique santé des champs électromagnétiques reste très confidentielle	★ ★
	2.4.2	Matériaux isolants d'origine végétale	-	Fixation du carbone	Faible énergie grise du produit	Limitation des risques d'allergie	Produits invisibles après la pose et encore trop souvent considérés comme « folkloriques ».	★ ★

CAPACITÉS DES TECHNIQUES À RÉPONDRE À LA RÉGLEMENTATION ET AUX LABELS ÉNERGÉTIQUES

2.5.2

Le tableau suivant présente, pour chaque une des fiches MTD, leur capacité à évoluer et à répondre aux objectifs des différents labels énergétiques. Ainsi, après avoir défini la maturité de la technique, du procédé et/ou du composant, ce tableau définit leur capacité à atteindre les niveaux de performance de quatre scénarios: la réglementation thermique 2005, le label H&E, l'objectif de basse consommation (labels de haute performance) et la maison passive et/ou à énergie positive. Ces scénarios sont repris et développés dans la dernière partie du guide.

Lot concerné	N° de la fiche	Désignation de la meilleure technique disponible	Maturité technique, Applicabilité à court terme,	RT 2005	H et E	Basse consommation : 50 kWh chauffage +ECS	Maisons passives, énergie positive
Isolation	2.1.1	Isolation répartie en brique Monomur	oui, mais surmonter les problématiques surcoûts et capacité entreprise	oui	oui	oui	oui
	2.1.2	Isolation par l'extérieur 8 cm : U = 0,385 20 cm : U = 0,245	-	oui	oui	complément d'isolation nécessaire	non en l'état actuel de la technique
Énergie passive	2.1.3	Double vitrage faiblement émissif à lame argon	oui, en passe de devenir la pratique courante	oui	oui	non, remplissage krypton au minimum	non, nécessité du triple vitrage
	2.1.4	Menuiserie bois capoté aluminium	oui, mais surcoût par rapport au PVC	oui	oui	oui, mais châssis particulièrement performant	oui, mais châssis spéciaux labellisé « Passivhaus »
	2.1.5	Énergie solaire passive (vérandas, verrière, bow window)	oui	oui	oui	-	-
	2.1.6	Mur trombe	Favoriser plutôt la captation par les vitrages	oui	oui	non	non
Perméabilité à l'air	2.1.7	Correction avant finition avec instrumentation sur site	oui, léger surcoût mais gains importants	oui, mais non impératif	oui, mais non impératif	nécessaire	nécessaire
Éclairage naturel	2.1.8	Canons à lumière	oui	oui	oui	oui, mais correction forte du pont thermique (traversée de l'isolation)	Pb du pont thermique engendré à régler
Confort d'été	2.1.9	Puits canadien	Professionnalisation de la technique	oui	oui	oui	Recommandé
	2.1.10	Protections solaires	oui	Conformité RT2005	Idem	Dimensionnement au delà de l'exigence réglementaire (simulation dynamique nécessaire)	Dimensionnement au delà de l'exigence réglementaire (simulation dynamique nécessaire)

CAPACITÉS DES TECHNIQUES À RÉPONDRE À LA RÉGLEMENTATION ET AUX LABELS ÉNERGÉTIQUES

2.5.2

Lot concerné	N° de la fiche	Désignation de la meilleure technique disponible	Maturité technique, Applicabilité à court terme,	RT 2005	H et E	Basse consommation : 50 kWh chauffage +ECS	Maisons passives, énergie positive
Ventilation	2.2.1	Ventilation mécanique double flux	Ventilation mécanique autoréglable simple flux	oui, mais non impératif	oui, mais non impératif	nécessaire	nécessaire avec du matériel haute gamme
	2.2.2	Ventilation naturelle	Conformité avec la réglementation	Ventilation naturelle assistée possible	non	incompatible	incompatible
Solaire thermique	2.2.3	Solaire thermique (CESI + SSC)	oui, réseau de professionnels formés	oui	oui	obligatoire	obligatoire
Solaire photovoltaïque	2.2.4	Panneaux photovoltaïques	oui, réseau de professionnels limités	oui	oui	oui	oui
Bois énergie	2.2.5	Bois énergie	oui	oui	oui	oui	Gamme actuelle : trop puissante par rapport aux faibles besoins
Géothermie	2.2.6	Pompes à chaleur	oui	oui	oui	oui	Existence d'une gamme de matériels estampillé « Passivhaus »
Aérothermie	2.2.7	Pompe à chaleur air/air	oui	oui	oui	Non, en raison des COP plus faibles qu'en géothermie, et de l'énergie primaire d'origine électrique	non
Chauffage	2.2.8	Chaudière à condensation	oui	oui	oui	oui	Gamme actuelle : trop puissante par rapport aux faibles besoins
Maîtrise de la consommation d'eau	2.3.1	Maîtrise de la consommation d'eau (limiteur de pression, douchettes venturi, détecteurs fuites d'eau, WC très économes)	oui	oui	oui	oui	oui
	2.3.2	Toitures végétales	-	oui	oui	oui	oui
Eau de pluie	2.3.3	Puits d'infiltration	peu courant en individuel	oui	oui	oui, mais adoption de structure de toiture terrasse permettant la mise en œuvre d'épaisseur importante isolant	oui, mais adoption de structure de toiture terrasse permettant la mise en œuvre d'épaisseur importante isolant
	2.3.4	Récupération des eaux de pluie	oui	oui	oui	oui	oui
Matériaux santé	2.4.1	Interrupteur automatique de champ	oui	oui	oui	oui	oui
	2.4.2	Matériaux isolants d'origine végétale	oui, réseau entreprise limité	oui	oui	oui	oui
	2.4.3	Peintures NF Environnement sans dérivés de l'éthylène glycol	oui, mais surmonter sur-investissement	oui	oui	oui	oui

SCÉNARIOS ÉNERGÉTIQUES

AIDE À L'APPROCHE « MARKETING »

Partie

3

Les différentes solutions techniques présentées dans les fiches traitées dans les parties 1 et 2 peuvent se combiner en 4 scénarios, qui correspondent à différents « produits logements » aux performances énergétiques distinctes. Ces « packages » types peuvent constituer un support à la démarche commerciale des promoteurs et des constructeurs. Tous répondent aux enjeux de la construction durable, mais chacun de ces « produits » correspond à un segment de marché spécifique, sur le plan de la solvabilité des acheteurs, et de leur sensibilité au développement durable.

La segmentation proposée repose pour partie sur les catégories du diagnostic de performance énergétique (DPE), dont l'utilisation se généralise, et qui vont donc rapidement être connues du grand public, et sur la consommation d'énergie primaire (Cep) comme critère de performance exprimé en kWh ep/m²/an par mètre carré de SHON.

Nous proposons ci-dessous quatre classes de logement, qui correspondent chacune à une combinaison de solutions techniques :

CLASSE “C+”

Soit Cep \leq 115 kWh ep/m²/an

(Le respect de la RT 2005 correspond à 130 kWh primaire /m² SHON/ an en zone H1, le minimum de qualité à Sénart doit correspondre à la norme Haute Performance Énergétique – HPE – soit RT - 10%).

CLASSE “B”

Soit Cep entre 51 et 90 kWh ep/m²/an

Label THPE avec gaz, ou THPE avec énergie renouvelable.

CLASSE “A”

Soit Cep \leq 50 kWh ep/m²/an

En correspondance avec les labels de hautes performances : Minergie – Passivhaus – BBC Effinergie.

CLASSE “+”

Soit à impact nul ou à énergie positive. Ce scénario correspond à des opérations pilotes, qui resteront commercialement marginales, mais pourront avoir un effet « d'image » important.

Les caractéristiques de ces quatre scénarios sont développées dans les tableaux suivants présentant, pour chaque classe de logement la démarche marketing à associer, la synthèse technique de chaque produit, un exemple de combinaison technique à mettre en œuvre pour atteindre la performance énergétique visée, et la faisabilité économique.

A. Démarche marketing : clientèle ciblée et axe « produit »

	CLASSE C+	CLASSE B	CLASSE A	CLASSE +
CIBLE	Ménages conscients de la nécessité d'économiser les ressources non renouvelables et attirés par le « geste vert », mais : <ul style="list-style-type: none"> • qui restent traditionalistes dans leurs goûts et leurs modes de vie ; • qui disposent de budgets réduits. 	Ménages suiveurs de la vogue du développement durable, qui voudront un logement exceptionnel par son classement DPE, et se voudront modernistes sans excentricité. Budget d'environ 20% supérieur à la même maison en RT 2005 .	Ménages aisés, très sensibles aux enjeux du développement durable.	Ménages « entrepreneurs » capables de relever le défi de produire plus d'énergie (propre) qu'ils n'en consomment.
AXE	La maison classique à haute performance énergétique	La vraie maison contemporaine : celle qui ne sera pas obsolète avant longtemps	Une « Passivhaus » à la Française calée sur le label BBC, bâtiment à basse consommation	La maison à énergie positive, grâce au photovoltaïque.

B. Synthèse du produit technique type

CLASSE C+	CLASSE B	CLASSE A	CLASSE +
<p>Cep < 115 kWh ep/m²/an (Chauffage + Eau Chaude Sanitaire ou ECS + Electricité domestique).</p> <p>1 Plan et style classique du 5 pièces de 90 m² soit en plain pied, soit en combles aménagés.</p> <p>2 Construction traditionnelle en parpaings avec isolation intérieure, huisseries PVC, thermique conforme à la RT 2005.</p>	<p>Pour atteindre un Cep < 90 kWh ep/m²/an, le promoteur pourra travailler à trois niveaux :</p> <p>1 Conception architecturale (architecture Bio-climatique).</p> <p>2 Construction (matériaux gros œuvres isolants tels que brique monomur, béton cellulaire, ossature bois).</p> <p>3 Équipements (chauffage thermodynamique réversible, domotique, ...).</p>	<p>Le label BBC établit un niveau d'exigence calé pour le résidentiel sur 50 kWh_{ep}/m²/an en énergie primaire, en prenant en compte les consommations de tous les usages (chauffage, refroidissement; production d'ECS, ventilation et éclairage). Décliné selon les zones climatiques de la RT2005, avec un coefficient de 1,3 pour la région Ile-de-France, le label exige d'atteindre 65 kWh_{ep}/m²/an.</p> <p>Le promoteur devra en conséquence travailler sur les trois niveaux suivants :</p> <p>1 Conception architecturale (architecture Bio-climatique).</p> <p>2 Construction (utilisation de matériaux tels que brique monomur, béton cellulaire, ossature bois).</p> <p>3 Équipements (chauffage, domotique, ...).</p>	<p>Idem Classe A pour la conception de l'enveloppe et le choix des équipements de chauffage.</p> <p>Cependant la contrainte du « zéro énergie » nécessite de compenser la dépense d'énergie consommée par le logement par une production d'énergie équivalente renouvelable.</p> <p>Le système le plus approprié est une installation photovoltaïque qui bénéficie d'un coût de revente du kWh particulièrement intéressant.</p>

C. Exemples de combinaisons à mettre en œuvre pour atteindre l'objectif

CLASSE C+	CLASSE B	CLASSE A	CLASSE +
<p>1 Chauffage électrique, Plancher Radiant Électrique (PRE) + poêle à bois (hautes performances ou à accumulation) ou chauffage central Gaz Naturel avec chaudière à accumulation.</p> <p>2 ECS solaire.</p> <p>3 Récupérateur des eaux de pluie (système basique pour WC et arrosage jardin).</p> <p>4 Équipement en ampoules basse consommation.</p> <p>5 Incitation à l'utilisation d'électroménager de classe A.</p>	<p>1 Plan de maison cubique à étage ; 6 pièces 140 m².</p> <p>2 Grandes baies vitrées, soit > 20% sh (sauf au nord) sans ombrages, avec volets roulants à fonctionnement automatique.</p> <p>3 Briques monomur de 20 + isolation extérieure.</p> <p>4 Chauffage électrique PRE ou gaz naturel avec chaudière à condensation</p> <p>5 Planchers béton (avec rupteurs de ponts thermiques).</p>	<p>1 Chauffage thermodynamique (géo, ou aéro thermie) ou Ventilation double flux (VMC2F) avec Pompe à Chaleur (PAC) chaudière gaz à condensation, ou recours au bois.</p> <p>2 Étanchéité à l'air.</p> <p>3 Huisseries et occultations hautes performances (triple vitrage).</p> <p>4 Conception : utilisation de l'énergie solaire passive.</p> <p>5 ECS solaire.</p> <p>6 Protection solaire complémentaire par toiture végétalisée.</p>	<p>1 Toiture photovoltaïque de 20 à 40 m² soit 2 à 4 kWh.</p> <p>2 Un contrat de rachat des kW par EDF.</p> <p>3 Voiture électrique pour les déplacements quotidiens.</p>

D. Faisabilité économique, performance et intérêt du produit

CLASSE C+	CLASSE B	CLASSE A	CLASSE +
<p>Faisabilité Les apports correspondent, par rapport au standard de la maison populaire, à une plus-value de l'ordre de 10 000 € soit environ 5 000 € après aides publiques...</p> <p>Performances/intérêt Les économies de charges devraient être de l'ordre de 500 à 800 € /an.</p>	<p>Faisabilité Les prix de construction devraient être de 30 000 € TTC supérieurs à ceux d'une construction conventionnelle.</p> <p>Performances/intérêt Il est possible de développer un type d'architecture qui s'adapte bien sur de petits terrains, d'où une économie foncière possible.</p>	<p>Faisabilité De telles maisons devraient pouvoir se contenter d'une très faible puissance de chauffage. Des équipements spécialisés couplent et intègrent à travers un bloc thermodynamique le chauffage, la production d'ECS et le traitement de l'air hygiénique.</p> <p>Performances/intérêt Le retour sur investissement par les économies d'énergie n'est pas l'objectif pour des produits « d'image » ou de conviction. Les performances sont plus liées à la construction qu'à l'équipement. Le capital construit pourra dans quelques décennies garder une valeur que les autres constructions, obsolètes, auront perdu. Il faut cependant rappeler que l'obtention du label BBC est aussi conditionnée par le choix de l'énergie, privilégiant le bois et le solaire dans l'expression en énergie primaire.</p>	<p>Faisabilité Les difficultés techniques et administratives, difficiles à surmonter dans un cadre individuel, peuvent être moins prégnantes dans le cadre d'une opération groupée.</p> <p>Performances/intérêt Effet d'image pour l'aménageur et le promoteur : montrer que le résidentiel, et en particulier le résidentiel individuel, peut être d'un impact énergétique positif. Le ménage échange son statut de consommateur, contre un statut de producteur !</p>

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DES SCÉNARIOS

3.2

Le tableau qui suit croise les scénarios décrits précédemment et les niveaux de performances énergétiques envisageables.

	H et E Cerqual (HPE)	THPE gaz ou avec énergie renouvelable	Label BBC (Marque Effinergie)	Énergie + Activ House (*)
Classe C. HPE				
Classe B				
Classe A				
Classe « + »				

Illustration 82 : Scénarios et performances énergétiques envisageables.

(*) Il ne s'agit pas de labels, mais d'objectifs énergétiques.

Afin d'atteindre les valeurs de performances énergétiques exigées par les différents niveaux réglementaires ou labels, ces scénarios induisent des caractéristiques de parois, de vitrage, d'isolation et de ventilation.

Le tableau suivant présente ces caractéristiques de manière indicative (ces caractéristiques devant faire l'objet de validation par des méthodes de calculs plus fines).

Ce tableau permet toutefois d'apprécier le degré d'exigence vis-à-vis de la RT 2005.

	U MURS (W/m ² .K)	U TOIT (W/m ² .K)	U SOL (W/m ² .K)	U VITRAGES	Type d'isolation	Type de ventilation
RT 2005	0,36	0,2	0,27	1,8	ITI	Hygro-réglable A
C HPE	0,33	0,18	0,243	1,62	ITE	Hygro-réglable B
B THPE gaz ou EnR	0,25	0,13	0,2	1,1	ITE+	VMC2F
A PASSIVHAUS	0,12	0,12	0,12	0,75	ITE++	VMC2F
Énergie + ACTIV HOUSE	Pour réaliser l'objectif d'une production énergétique supérieure à la consommation, il faut une enveloppe très performante calée à minima sur les labels Minergie, Effinergie ou Passivhaus					

Illustration 83 : Caractéristiques des scénarios (valeurs indicatives).

ITI Isolation thermique par l'intérieur.

VMC2F Ventilation mécanique contrôlée

ITE (+/++) Isolation thermique par l'extérieur
(+/++ : degré de traitement des ponts thermiques).

double flux.

HygroB Ventilation avec boucles hygro-réglables en extraction d'air vicié et en entrée d'air frais.

Cependant, pour atteindre les niveaux de performances recherchés, les coefficients d'isolation et les épaisseurs d'isolants doivent être ajustés en fonction du système énergétique associé. En effet, les niveaux de performance attendus, exprimés dans la réglementation en énergie primaire par mètre carré de SHON, incluent le chauffage, la fourniture d'eau chaude sanitaire ainsi que l'énergie utilisée dans la VMC, les auxiliaires de chauffage et l'éclairage.

La conversion en énergie primaire distingue les fossiles (coefficient de 1), l'électricité (coefficient de 2,58) et le solaire thermique (coefficient 0). Le label BBC privilégie également le bois, en lui affectant un coefficient de conversion de 0,6, afin de tenir compte de la qualité d'énergie renouvelable du combustible. Il est parfois difficile de comparer les consommations unitaires exigées par les différents labels ou réglementations européens.

Par exemple, l'indice thermique adopté par Minergie® adopte des coefficients de conversion légèrement différents de ceux qui ont été adoptés en France : coefficient de 1 pour les fossiles, de 2 pour l'électricité et de 0,5 pour le bois.

Pour l'obtention du label BBC, les solutions à mettre en œuvre sont toutes arrivées à maturité :

- Un niveau d'isolation élevé du bâti (du type Ubat de 25% inférieur au niveau RT2005) ;
- Une compensation sur la ventilation dépendant de la typologie du logement et du mode de chauffage : de la VMC hygro A

(maisons de ville avec pompes à chaleur) à la VMC double flux avec récupérateur pour le pavillon équipé de chaudière gaz à condensation) ;

- Des émetteurs de chaleur à basse température (planchers chauffants de préférence) ;
- Une génération de chaleur soit par pompe à chaleur géothermale, soit par chaudière gaz à condensation ou chaudière bois ;
- Un chauffage de l'eau sanitaire (ECS) par récupération sur l'air extrait dans le cas de pompes à chaleur, soit avec appoint solaire pour la solution gaz ou chauffe eau électrique classique.

Cible	Consommations unitaires [kWh/(m ² .an)]	Remarques
RT2005 (Cref)	Fossiles : 130 Elect : 250 - coeff. 2,58 (1) (en kWh/(m ² SHON.an))	Chauffage + ECS + auxiliaires Énergie primaire
HPE / THPE	Cref - 10% Cref - 20% (en kWh/(m ² SHON.an))	Application au 1er juillet 2007
BBC	65 kWh/(m ² .an) pour la zone H1 50 kWh/(m ² .an) en moyenne métropole	Chauffage + ECS + auxiliaires + ventilation + éclairage Énergie primaire
Minergie S	Indice énergétique thermique : 42 kWh/(m ² .an)	Chauffage + ventilation+ ECS Électricité : coefficient 2 Bois : coefficient 0,5
Minergie P Passivhaus	Indice : 30 kWh/(m ² .an) 15 kWh/(m ² .an)	Cf. Minergie S Chauffage seul, besoins
Énergie positive	Production énergie supérieure à la consommation d'énergie	

Illustration 84 : Consommations unitaires et labels.

(1) NB : dans la RT 2005, la consommation d'un bâtiment est exprimée en énergie primaire (ep) et est définie par la **Consommation d'énergie finale** (quantité d'énergie disponible pour l'utilisateur final, affichée sur les factures énergétiques) multipliée par un coefficient définit selon l'énergie nécessaire à sa production. En France, on considère les équivalences suivantes :

1 kWh gaz (final) = 1 kWh_{ep}

1 kWh fioul (final) = 1 kWh_{ep}

1 kWh elec (final) = 2,58 kWh_{ep} (ce coefficient est lié aux pertes du réseau et au rendement des centrales.

Indicateur CO₂ (selon DPE)

En gCO₂/kWh énergie finale

Gaz naturel 234

GPL: 274

Fioul : 300

Autres fossiles: 320

Bois : 13

Charbon : 384

Réseau de chaleur : 154 (+)

Électricité hiver : 180 (*)

Électricité autre : 40 (*)

(+) : Source Manicore, moyenne des réseaux en France

(*) : sans ACV

La neutralité en carbone est approchée pour différentes solutions de chauffage, lorsque l'ECS est produite par ballon électrique avec appoint solaire thermique (couverture de 50% des besoins) :

- le chauffage bois ;
- le chauffage PAC géothermique ;
- l'effet Joule, mais à des niveaux de performance de type Passiv Haus.

Illustration 85 : Indicateur CO₂ de différentes solutions de chauffage (selon DPE).

« POUR EN SAVOIR PLUS »

Annexes

Afin d'approfondir certaines des thématiques abordées dans ce guide, plusieurs sources d'informations complémentaires accessible sur Internet sont présentées ci-après. Les liens proposés ne visent pas l'exhaustivité. Le choix s'est porté sur des fiches techniques ou des articles clairs, mais également sur des sites d'organismes nationaux ou régionaux, d'associations et de syndicats professionnels susceptibles de pouvoir apporter des informations précises sur les moyens techniques et/ou les produits disponibles.

N° fiche	Désignation MTD	Volet « En Savoir Plus »	
1.3	Conception bioclimatique	<p>Article Wikipedia, l'encyclopédie libre en ligne http://fr.wikipedia.org/wiki/Bioclimatique</p> <p>Dossier FIABITAT www.fiabitat.com/bioclimatisme.php</p> <p>Glossaire de la maison passive www.lamaisonpassive.fr/spip/spip.php?article11</p> <p>Maison bioclimatique – maison environnementale www.maison-bioclimatique.fr/fr/maison-bioclimatique-conception.html</p> <p>Observ'ER, Organisme d'information sur les énergies renouvelables www.observe-er.org</p>	
Échelle de l'opération	1.5	Noues végétales	<p>FICHES TECHNIQUES</p> <p>Fiche de la Communauté d'Agglomération de Toulouse, «Les noues et les fossés» www.grandtoulouse.org/admin/upload/document/476-Fichetechnique_7_+_schema.pdf</p> <p>Fiche descriptive sur les noues : www.aeu.fr/fr/web_noue/noues.html</p> <p>Fiche ARENE, «Techniques d'infiltration» : www.arenidf.org/entreprises/Fiches/pdf/Fiche_4-02.pdf</p> <p>ORGANISMES</p> <p>Office Internationale de l'Eau (OIEAU) : www.oieau.fr</p> <p>Institut Nationale de Recherche Agronomique (INRA) : www.inra.fr</p> <p>Centre d'information sur l'eau (CIEAU) : www.cieau.com</p> <p>Fédération Française du Paysage (FFP) : www.f-f-p.org</p> <p>Agence de l'eau, Bassin Seine-Normandie : www.eau-seine-normandie.fr</p>

	N° fiche	Désignation MTD	Volet « En Savoir Plus »
Isolation	2.1.1	Isolation répartie	<p>FICHES TECHNIQUES</p> <p>Guide ADEME grand public, isolation thermique http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/pdf/isolation.pdf</p> <p>CERTU, Mémento technique du bâtiment - les façades http://www.certu.fr/ROOT/customer/documents/pdf00101762.pdf</p> <p>FICHES PRODUITS</p> <p>Office Internationale de l'Eau (OIEAU) www.oieau.fr</p> <p>SYNDICATS PROFESSIONNELS</p> <p>CTMNC, Centre Technique de Matériaux Naturel de Construction www.ctmnc.fr</p> <p>FTTB, Fédération Française des tuiles et briques www.fttb.org</p>
	2.1.2	Isolation extérieure	<p>Guide ADEME grand public, isolation thermique http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/pdf/isolation.pdf</p> <p>Fiche technique « isolation en façade » par l'ANAH www.anah.fr/pdf/Isolation_en_facade.pdf</p> <p>Site personnel qui décrit les principes de l'isolation par l'extérieure et ses avantages http://jehhan.ifrance.com/chauffage/p51.html</p>
Énergie passive	2.1.3	Vitrages	<p>FICHES TECHNIQUES</p> <p>Guide ADEME grand public, isolation thermique http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/pdf/isolation.pdf</p> <p>FICHES PRODUITS</p> <p>Le site du Vitrage à Isolation Renforcée (site commercial) http://www.vitragevir.fr/</p>
	2.1.4	Huisseries	<p>Label AEV et ACOTHERM www.guidehme.com</p>
	2.1.5	Énergie solaire passive	<p>INES, Institut National de l'Énergie Solaire www.ines-solaire.com/outils.htm#passif</p> <p>Outils Solaires : Information sur l'énergie solaire www.outilssolaires.com</p>

	N° fiche	Désignation MTD	Volet « En Savoir Plus »
Perméabilité à l'air	2.1.7	Correction de la perméabilité à l'air	<p>Xpair, site portail du génie climatique www.xpair.com</p> <p>Association Française d'Agence de Contrôle par Thermographie et infiltrométrie pour la maîtrise de l'Énergie http://aactime.com</p>
	2.1.9	Puits canadien	<p>FICHES TECHNIQUES</p> <p>Fiche descriptive complète sur le puits canadien http://www.aeu.fr/fr/web_puiprov/puiprov.html</p> <p>SYNDICATS PROFESSIONNELS</p> <p>Association Qualité Énergies Renouvelables www.qualit-enr.org</p> <p>CLER – Comité de Liaison Énergies Renouvelables www.cler.org</p> <p>Observ'ER, Organisme d'information sur les énergies renouvelables www.observe-er.org</p> <p>Outils de calcul gratuit, GEAA (GR) www.ines-solaire.com/outils.htm#passif</p>
Confort d'été	2.1.10	Protections solaires	<p>SYNDICATS PROFESSIONNELS</p> <p>SNFPSA, Syndicat National de la Fermeture, de la Protection Solaire et des Professions Associée www.snfpsa.ffbatiment.fr Publication du guide de la protection solaire</p> <p>FFB, Fédération Française du Bâtiment (fermetures et stores) www.ffb.fr</p> <p>SNFA, Syndicat National de la construction des fenêtres, façades et activités associées : www.snfa.fr</p>
	2.2.1	Ventilation double flux	<p>FICHES TECHNIQUES</p> <p>Guide ADEME grand public, ventilation http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/pdf/ventilation.pdf</p> <p>SYNDICATS PROFESSIONNELS</p> <p>Xpair, site portail du génie climatique www.xpair.com/</p> <p>UCF, Union climatique de France : www.ucf.fr</p>
Ventilation	2.2.2	Ventilation naturelle	<p>FICHES TECHNIQUES</p> <p>Guide ADEME grand public, ventilation http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/pdf/ventilation.pdf</p>

N° fiche	Désignation MTD	Volet « En Savoir Plus »
2.2.3	Le solaire thermique	<p>FICHES TECHNIQUES</p> <p>Fiches ARENE sur l'énergie solaire : http://www.arenidf.org/Énergies/solaire.html</p> <p>ORGANISMES</p> <p>Association Qualité Énergies Renouvelables : www.qualit-enr.org</p> <p>Association professionnelle de l'énergie solaire (ENERPLAN) www.enerplan.asso.fr</p> <p>CLER – Comité de Liaison Énergies Renouvelables www.cler.org</p> <p>Observ'ER, Organisme d'information sur les énergies renouvelables www.observ-er.org</p> <p>Outils Solaires : Information sur l'énergie solaire www.outilssolaires.com</p> <p>QUALISOL, Charte de qualité des installateurs de solaire thermique : www.qualisol.org/</p>
		Solaire
2.2.4	Le solaire photovoltaïque	<p>FICHES TECHNIQUES</p> <p>Fiches ARENE sur l'énergie solaire : http://www.arenidf.org/Énergies/solaire.html</p> <p>ORGANISMES</p> <p>Association Qualité Énergies Renouvelables : www.qualit-enr.org</p> <p>Association professionnelle de l'énergie solaire (ENERPLAN) www.enerplan.asso.fr</p> <p>CLER – Comité de Liaison Énergies Renouvelables www.cler.org</p> <p>Observ'ER, Organisme d'information sur les énergies renouvelables www.observ-er.org</p> <p>Outils Solaires : Information sur l'énergie solaire www.outilssolaires.com</p>

	N° fiche	Désignation MTD	Volet « En Savoir Plus »
Bois énergie	2.2.5	Le bois énergie	<p>FICHES TECHNIQUES</p> <p>Fiches ARENE sur la filière bois-énergie : http://www.arenidf.org/Énergies/bois.html</p> <p>ORGANISMES</p> <p>Association Qualité Énergies Renouvelables : www.qualit-enr.org</p> <p>ATEE, Association Technique Énergie Environnement www.atee.fr</p> <p>Charte « flamme verte » (lien vers les produits signataires) www.flammeverte.org</p> <p>CLER – Comité de Liaison Énergies Renouvelables www.cler.org</p> <p>ITEBE, Institut Technique Européen du Bois Énergie www.itebe.org</p> <p>Observ'ER, Organisme d'information sur les énergies renouvelables www.observ-er.org</p>
Géothermie	2.2.6	Géothermie basse température	<p>FICHES TECHNIQUES</p> <p>Fiche technique (site commercial : Ventilation de Bretagne) www.ventilation.fr/home.php?cible=GÉOTHERMIE</p> <p>Article ARENE sur la géothermie en Ile-de-France www.arenidf.org/Énergies/laGÉOTHERMIE.html</p> <p>Certification Eurovent (produits de climatisation et de réfrigération, an accord avec les normes européennes et internationales) : www.eurovent-certification.com</p> <p>ORGANISMES</p> <p>Association Française pour les Pompe A Chaleur (AFPAC) www.afpac.org</p> <p>Association Qualité Énergies Renouvelables www.qualit-enr.org</p> <p>CLER – Comité de Liaison Énergies Renouvelables www.cler.org</p> <p>Observ'ER, Organisme d'information sur les énergies renouvelables www.observ-er.org</p> <p>UCF, Union climatique de France www.ucf.fr</p> <p>CETIAT, Centre technique des Industries Aérauliques et Thermiques www.cetiat.fr</p> <p>Site Géothermie, partenariat ADEME BRGM www.GÉOTHERMIE-perspectives.fr</p>

N° fiche	Désignation MTD	Volet « En Savoir Plus »
Aérothermie	2.2.7	Aérothermie
<p>FICHES TECHNIQUES</p> <p>Fiche technique (site commercial : Ventilation de Bretagne) www.ventilation.fr/home.php?cible=GÉOTHERMIE</p> <p>ORGANISMES</p> <p>Association Française pour les Pompe A Chaleur (AFPAC) www.afpac.org</p> <p>Association Qualité Énergies Renouvelables www.qualit-enr.org</p> <p>CLER – Comité de Liaison Énergies Renouvelables www.cler.org</p> <p>Observ'ER, Organisme d'information sur les énergies renouvelables www.observ-er.org</p> <p>UCF, Union climatique de France www.ucf.fr</p> <p>CETIAT, Centre technique des Industries Aérauliques et Thermiques www.cetiat.fr</p> <p>Site Géothermie, partenariat ADEME BRGM www.GÉOTHERMIE-perspectives.fr</p>		
Chauffage	2.2.8	Chaudière gaz à condensation
<p>UCF, Union climatique de France www.ucf.fr</p> <p>CETIAT, Centre technique des Industries Aérauliques et Thermiques www.cetiat.fr</p> <p>Cegibat, Information Conseil de Gaz de France pour les professionnels du bâtiment www.cegibat.com</p>		
Maîtrise consommation d'eau	2.3.1	Maîtrise de la consommation d'eau
<p>Office Internationale de l'Eau (OIEAU) www.oieau.fr</p> <p>Centre d'information sur l'eau (CIEAU) www.cieau.com</p> <p>Agence de l'eau, Bassin Seine-Normandie www.eau-seine-normandie.fr</p>		

N° fiche	Désignation MTD	Volet « En Savoir Plus »
2.3.2	Toiture végétalisée	FICHES TECHNIQUES Fiches ARENE sur les toitures végétales http://www.arenidf.org/entreprises/Fiches/FichesHTML/02.03.html
		ORGANISMES Office Internationale de l'Eau (OIEAU) www.oieau.fr
		Centre d'information sur l'eau (CIEAU) www.cieau.com Agence de l'eau, Bassin Seine-Normandie www.eau-seine-normandie.fr
2.3.3	Puits d'infiltration	FICHES TECHNIQUES Fiches ARENE sur les techniques d'infiltration http://www.arenidf.org/entreprises/Fiches/pdf/Fiche_4-02.pdf
		ORGANISMES Office Internationale de l'Eau (OIEAU) www.oieau.fr
		Centre d'information sur l'eau (CIEAU) www.cieau.com Agence de l'eau, Bassin Seine-Normandie www.eau-seine-normandie.fr
2.3.4	Récupération des eaux de pluie	Office Internationale de l'Eau (OIEAU) www.oieau.fr
		Centre d'information sur l'eau (CIEAU) www.cieau.com Agence de l'eau, Bassin Seine-Normandie www.eau-seine-normandie.fr

Eau de pluie

	N° fiche	Désignation MTD	Volet « En Savoir Plus »
Matériaux santé	2.4.1	Interrupteur Automatique de Champ	<p>Article « la fée électricité » www.construire-sain.com/feeelectricite.htm</p> <p>CD2E, Création Développement d'Éco-Entreprise www.cd2e.com/CD2E/ecoMATÉRIAUX/EM_accueil</p>
	2.4.2	Isolant d'origine végétale	<p>ACERMI, association pour la certification des matériaux isolant acermi.cstb.fr</p> <p>CD2E, Création Développement d'Éco-Entreprise www.cd2e.com/CD2E/ecoMATÉRIAUX/EM_accueil</p>
	2.4.3	Peinture écologique	<p>Fiches « Peintures, Vernis et Connexes » www.marque-nf.com/marquenf/pdf/Peintures_verniss.pdf</p> <p>Union Européenne, article sur les Écolabels (angl) ec.europa.eu/environment/ecolabel</p> <p>CD2E, Création Développement d'Éco-Entreprise www.cd2e.com/CD2E/ecoMATÉRIAUX/EM_accueil</p>

INFORMATIONS À CARACTÈRE GÉNÉRAL

2

La liste suivante présente, de manière non exhaustive, différents organismes, bureaux de contrôle, centres d'études et agences qui informent des objectifs, des techniques et des outils permettant d'appréhender les aspects environnementaux d'une opération urbaine et/ou de construction. Plusieurs associations et unions professionnelles sont également présentées, notamment celles localisées en région Ile-de-France.

AAA Expertise	(Audit, Analyse Arbitrage)	www.aaa-expertises.com
Académie d'Architecture		www.archi.fr/AA
ACERMI	Association pour la Certification des Matériaux Isolants	www.acermi.cstb.fr
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie	www.ademe.fr
AFIE	Association Française des Ingénieurs Écologues	www.afie.net
AFITE	Association Française des Ingénieurs et Techniciens de l'Environnement	www.afite.org
AFOCERT	Association Française des Organismes de Certification des Produits de Construction	www.afocert.asso.fr
AFSSET	Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail	www.afsse.fr
AGEDEN EnR	Espace info énergie Isère	www.ageden.org
Agence de l'eau	Agence de l'eau 6 agences pour chaque Grand Bassin français	www.eaufrance.fr
AIMCC	Association des Industries de Matériaux, Produits, Composants et Equipements pour la Construction (fédération professionnelle)	www.aimcc.org
ANAH	Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat	www.anah.fr
ANIL	Association Nationale pour l'Information sur le Logement	www.anil.org
Annuaire de produits recyclés, centre national du recyclage		www.produits-recycles.com

Apogée-périgée	Association de gestionnaire d'immeuble	www.apogee-perigee.com
AQC	Agence Qualité Construction statut associatif (loi 1901)	www.qualiteconstruction.com
ARCHINOV	Groupe Environnement, Santé, Ambiance et Bâtiment	www.archinov.com
ARENE Ile-de-France	Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles énergies d'Ile-de-France.	www.arenidf.org
Association 4D	Dossiers et Débats pour le Développement Durable	www.asociation4d.org
Association HQE		www.assohqe.org
Association internationale de collecte de l'eau de pluie	L'IRCSA (International Rainwater Catchment Systems Association)	
ASTE	Association pour le développement des Sciences et Techniques de l'Environnement	www.aste.asso.fr
BâtiProduit	Site d'information produits de la construction	www.batiproduits.com
CAPEB	Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment	www.capeb.fr
CD2E	Création Développement d'Éco-Entreprise	www.cd2e.com/CD2E/ecoMATÉRIAUX/EM_accueil
CEEB	Centre d'Etude de l'Économie du Bois	
Cegibat	Information-Conseil de Gaz de France pour les professionnels du bâtiment	www.cegibat.com
CENTREX	Centre d'informations utiles sur les produits du Bâtiment, basé en Aquitaine	
CERDD	Centre Ressource du Développement Durable	www.cerdd.org
CERIB	Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton	www.cerib.com
CETIAT	Centre Technique des Industries Aérodynamiques et Thermiques	www.cetiat.fr
CETE	Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement – IdF : Direction Régionale de l'équipement de l'Ile-de-France (DREIF)	www.equipement.gouv.fr

CICF	Chambre des Ingénieurs Conseil de France (fédération professionnelle)	www.cicf.fr
C.I.EAU	Centre d'Information sur l'Eau	www.cieau.com
CLER	Comité de Liaison des Énergies Renouvelables	www.cler.org
CNDB	Comité National pour le Développement du Bois	www.bois-construction.org
CNOA	Conseil National de l'Ordre des Architectes	www.architectes.org
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique	www.cnrs.fr
COSTIC	Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques	www.costic.com
CRATerre-EAG	Centre International de la construction en Terre	
CROA	Conseil Régional de l'Ordre des Architectes	www.architectes-idf.org
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment	www.cstb.fr
CTBA	Centre Technique du Bois et de l'Ameublement	www.ctba.fr
CTMNC	Centre Technique de Matériaux Naturel de Construction	www.ctmnc.fr
DIREN	Direction Régionale de l'Équipement (Ile-de-France)	www.ile-de-france.ecolgie.gouv.fr
Domotique News	Plateforme d'information et de communication sur les bâtiments intelligents	www.domotique-news.com
DRASS et DDASS	Directions Régionales et Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales	ile-de-france.sante.gouv.fr
DRE	Direction Régionale de l'Environnement	ile-de-france.equipement.gouv.fr
DRIRE	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (Ile-de-France)	www.ile-de-france.drire.gouv.fr
Edf	Électricité de France	www.edf.com
EEDEMS	Évaluation Environnementale Déchets, Matériaux et Sols pollués (Réseau scientifique)	www.eedems.com

FBTP 77	Fédération du Bâtiment et des Travaux Publics de Seine-et-Marne (fédération professionnelle)	www.btp77.org/federation-batiment-77/Seine-et-Marne/accueil.htm
FFB IdF	Fédération Française du Bâtiment Région Paris – Ile-de-France (fédération professionnelle)	www.ffb-paris-idf.fr
FFP	Fédération Française du Paysage (fédération professionnelle)	www.f-f-p.org
FIEC	Fédération Européenne de la Construction	www.fiec.be
FILMM	Syndicat national des Fabricants d'Isolants en Laines Minérales Manufacturées (fédération professionnelle)	www.filmm.fr
FIPEC	Fédération des Industries des Peintures, Encres et Couleurs (fédération professionnelle)	www.fipec.org
FNAU	Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme (fédération professionnelle)	www.fnau.org
FNCAUE	Fédération Nationale des Conseils d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement	www.fncaue.fr
FNPC	Fédération Nationale des Promoteurs-Constructeurs (fédération professionnelle)	www.fnpc.fr
FNSCOP	Fédération Nationale des Sociétés Coopératives Ouvrières de Production du Bâtiment, des Travaux Publics, des Activités Annexe et Connexes (fédération professionnelle)	scpbtp.org
Gaz de France	Gaz de France	www.gazdefrance.com
Géothermie perspectives	site partenariat ADEME – BRGM	www.GÉOTHERMIE-perspectives.fr
IAURIF	Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France	www.iaurif.org
ICEB	Institut des Conseillers Environnement pour le Bâtiment (fédération professionnelle)	www.associationiceb.org
IFEN	Institut Français de l'Environnement	www.ifen.fr
INES	Institut National de l'Énergie Solaire	www.ines-solaire.com

INRA	Institut National de la Recherche Agronomique	www.inra.fr
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité	www.inserm.fr
Institut du verre		www.institutduverre.fr
INTERBAT	Portail d'entrée des professionnels de la construction	www.interbat.com
ITEBE	Institut Technique Européen du Bois Énergie	www.itebe.org
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées Établissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST)	www.lcpc.fr
LEGIRAMA	Service d'informations techniques et réglementaires (Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment)	www.legirama.com
Observ'ER	Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur	www.observ-er.org
OIEAU	Office International de l'Eau	www.oieau.fr
OREE	Organisation pour le Respect de l'Environnement par l'Entreprise	www.oree.org
OTUA	Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier	www.otua.org
RhonalpÉnergie Environnement		www.raee.org
RNDE	Réseau National des Données sur l'Eau	www.rnde.tm.fr

Sandrine	SANté - Développement du Rable - INformation – Environnement (pollution intérieure, Belgique)	
Site commercial d'achat de matériaux alternatifs		www.eco-logis.com
SNFA	Syndicat National de la Construction des Fenêtres, Façades et Activités Associées	www.snfa.fr
société GEP	Exemples de systèmes de récupération d'eau de pluie : collecte, filtration, stockage	www.gep-umwelttechnik.com/indexe.html
SYNTEC Ingénierie	(fédération professionnelle)	www.syntec.fr
UCI -FFB	Union des Constructeurs Immobiliers (fédération professionnelle)	www.uci-ffb.fr/
UESL	Union d'Économie Sociale pour le Logement (fédération professionnelle)	www.uesl.fr
UNCFI	Union Nationale des Constructeurs de Maisons Individuelles (fédération professionnelle)	www.uncfi.org
UNEP	Union Nationale des Entrepreneurs du Paysage (fédération professionnelle)	www.entreprisesdupaysage.org
UNSAFA	Union Nationale des Syndicats Français d'Architecture (fédération professionnelle)	www.unsfa.com
UNTEC	Union Nationale des Economistes de la Construction et des Coordinateurs (fédération professionnelle)	www.untec.com

Les différentes illustrations photographiques de cet ouvrage sont à attribuer à : Isabelle Gausson (photo de couverture), Philippe LAJUS, Anne-Claire SALIOU, l'ARENE, REALTHERM, SOLENER.
Les schémas cités dans le document ont été réalisés par SOLENER, à partir de différentes sources.

Illustration 1	Conditions d'obtention des 5 labels de performance énergétique établis par l'arrêté du 8 mai 2007	6
Illustration 2	Durée journalière moyenne en heures pour laquelle le soleil direct atteint au moins un point du sol pour deux grilles urbaines de maille carrée	11
Illustration 3	Coupe d'une voirie	11
Illustration 4	Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne)	12
Illustration 5	BedZED, Sutton (Angleterre)	12
Illustration 6	Modèle machiya sur deux niveaux avec cour centrale	13
Illustration 7	Le Clos des Jades, Cesson (77)	14
Illustration 8	La densité des formes du développement résidentiel, 2004	14
Illustration 9	Ilot du quartier de Lille Moulins (59) (vue ext. et int. de l'îlot)	14
Illustration 10	Valeurs du rapport Senvelope / Splancher pour six configurations de logements (sol inclus)	15
Illustration 11	Rapport surface de l'enveloppe / surface de plancher pour 6 configurations de logement	16
Illustration 12	Besoins de chauffage pour 6 configurations de logement	16
Illustration 13	Principes de la maison solaire passive	19
Illustration 14	Irradiation solaire incidente sur différentes façades	20
Illustration 15	Effet des protections solaires	20
Illustration 16	Volets bois persiennés	20
Illustration 17	Valeurs d'albédo de différentes surfaces	21
Illustration 18	Schéma de conception bioclimatique appliquée au label Passivhaus	22
Illustration 19	Stationnement engazonné, détail – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne)	23
Illustration 20	Stationnement sous pergola – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne)	24
Illustration 21	Garage et espaces annexes	25
Illustration 22	Parking collectif enterré – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne)	26
Illustration 23	Parking collectif avec toiture photovoltaïque	26
Illustration 24	Locaux annexes participant à la privatisation des espaces extérieurs attenants au logement – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne)	26
Illustration 25	Edicules de stockage des bacs de tri sélectif – BedZED (Angleterre)	27
Illustration 26	Stockage des bacs de tri sous pergolas – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne)	27
Illustration 27	Abri vélo et bacs de collecte de déchet, Vesterbro – Copenhague (Danemark)	27
Illustration 28	Abri vélo – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne)	27
Illustration 29	Dimensionnement des locaux deux roues	28
Illustration 30	Noue végétalisée avec dénivelé	29
Illustration 31	Noue végétalisée attendant à une voirie – Parc de la Haute Borne à Villeneuve d'Ascq (59)	29
Illustration 31bis	Noue végétalisée en bordure de voirie – Quartier Vauban, Fribourg (Allemagne)	29
Illustration 32	Les différents modes d'isolation	38
Illustration 33	Coûts comparés de différents matériaux de construction	38
Illustration 34	Coûts comparés de différents matériaux pour l'isolation répartie	38
Illustration 35	Schéma de principe de l'isolation par extérieur	41
Illustration 36	Coûts comparés de différents types de vitrages	46
Illustration 37	Coûts comparés des différents types d'huisseries	48
Illustration 38	Les apports solaires passifs en été et en hiver	49
Illustration 39	Principe de fonctionnement du mur Trombe (en saison froide)	51
Illustration 40	Description architecturale du mur « Trombe » (en plan)	52
Illustration 41	Localisation des infiltrations d'air dans une habitation	55

Illustration 42	Schéma d'une fausse porte	55
Illustration 43	Porte soufflante (Blower door)	55
Illustration 44	Schéma de principe d'un canon à lumière	57
Illustration 45	Puits de lumière, vue de l'intérieur	58
Illustration 46	Puits à lumière, coût de différents éléments.	59
Illustration 47	Principe de fonctionnement « hiver » d'un puits canadien couplé à une serre	61
Illustration 48	Principe de fonctionnement « été » d'un puits canadien couplé à une serre	62
Illustration 49	Étagère à lumière, Lycée du Pic Saint-Loup (34)	65
Illustration 50	Étagère à lumière, Lycée de Caudry, Calais (59)	66
Illustration 51	Store intégré au double vitrage	66
Illustration 52	Brises soleil, bâtiment SH3, Université de Lille 1 (59)	66
Illustration 53	Schéma général d'un circuit de ventilation double flux	71
Illustration 54	Coûts comparés de systèmes de ventilation double flux	72
Illustration 55	Principe de fonctionnement de la ventilation naturelle	73
Illustration 56	Tour d'extraction de ventilation naturelle	74
Illustration 57	Cheminée de ventilation naturelle assistée	75
Illustration 58	Principe de fonctionnement du chauffe-eau solaire individuel à éléments séparés avec chauffage d'appoint	77
Illustration 59	Les capteurs solaires thermiques en toiture	78
Illustration 60	Intégration architecturale des capteurs solaires	78
Illustration 61	Modules photovoltaïques	81
Illustration 62	Membrane photovoltaïque	82
Illustration 63	Logo Flamme Verte	85
Illustration 64	Coûts comparés de différents équipements de chauffage pour les particuliers (installation et fonctionnement)	87
Illustration 65	Les capteurs géothermiques	89
Illustration 66	Principe de la Pompe à Chaleur	93
Illustration 67	Aérothermie - système Air / Eau avec PAC extérieure et plancher chauffant	95
Illustration 68	Répartition des consommations d'eau par usage	103
Illustration 69	Coûts de différents dispositifs d'économie de l'eau	104
Illustration 70	Schéma de principe d'une toiture terrasse végétalisée	107
Illustration 71	Toitures végétalisées, Stuttgart (Allemagne)	107
Illustration 72	Avantages et inconvénients des solutions de végétalisation intensive et extensive	108
Illustration 73	Comparaison des prix de 2 solutions de végétalisation extensive	109
Illustration 74	Schéma de principe général d'un puits d'infiltration	111
Illustration 75	Les composants techniques du puits d'infiltration	112
Illustration 76	Schéma d'une installation de récupération des eaux pluviales	115
Illustration 77	Caractéristiques thermiques de différents matériaux	124
Illustration 78	Prix comparés de différents isolants	125
Illustration 79	Écolabel européen	127
Illustration 80	Marque NF Environnement	127
Illustration 81	Prix indicatif (TTC) de différentes marques de peinture écologiques	128
Illustration 82	Scénarios et performances énergétiques envisageables	145
Illustration 83	Caractéristiques des scénarios (valeurs indicatives)	145
Illustration 84	Consommations unitaires et labels	146
Illustration 85	Indicateur CO ₂ de différentes solutions de chauffage (selon DPE)	146

Tous les droits sont réservés.

La reproduction des textes, photographies et schémas n'est permise qu'avec l'accord écrit des organismes partenaires.

Design : Xavier Rivain

Réalisation : teatime@orange.fr

Impression : www.lempreintgraphique.fr

Imprimé sur papier 100% recyclé, respectant la charte Imprim'vert®



Achévé d'imprimer en Avril 2008 sur offset presse feuille à Emerainville (77)

Imprimé en France

Dépôt légal : Avril 2008 / N° d'impression : 0408-2451-IC-1509



POUR LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DES LOGEMENTS ARGUMENTAIRE TECHNIQUE ET COMMERCIAL

La production de logements neufs dans nos villes ne peut plus se concevoir sans prendre en compte les enjeux de préservation de l'environnement et d'économie de ressources, qu'elles soient énergétiques ou matérielles. Le temps d'améliorations progressives jugées suffisantes en terme de qualité environnementale de l'habitat est révolu. Il convient dorénavant de mettre en œuvre des stratégies ambitieuses qui visent explicitement la réduction de nos émissions de gaz à effet de serre d'un facteur 4 d'ici l'an 2050. L'objectif est clair, construire des logements à faible consommation énergétique, avec l'ambition de réaliser de plus en plus de bâtiments passifs et à énergie positive.

Ce guide propose donc aux opérateurs urbains, aménageurs, maîtres d'ouvrage et promoteurs, des fiches des meilleures techniques disponibles pour la conception bioclimatique de l'enveloppe, les équipements énergétiques, la maîtrise de l'eau, ou encore les matériaux santé.

Ces préconisations se conçoivent dans une démarche intégrée alliant :

- planification urbaine à l'échelle de l'agglomération ou de la commune : localisation des projets d'urbanisation, impacts sur les déplacements....
- urbanisme à l'échelle du programme : densité, compacité d'ensemble, gestion de l'eau, de l'énergie....
- architecture à l'échelle de l'immeuble : volume, choix des techniques constructives et des équipements, intégration des composants extérieurs.

L'ensemble des solutions présentées revisite le mode de conception des maisons groupées et logements collectifs pour démontrer l'intérêt environnemental et économique des innovations.

Au-delà de simples recommandations pratiques, l'ouvrage contribue, pour les professionnels de la promotion immobilière attentifs à l'avenir de notre planète et des générations futures, à la construction progressive d'un argumentaire marketing répondant aux exigences environnementales croissantes des acquéreurs.