

La maison passive

*Réponses aux questions & informations
complémentaires*

1. Pourquoi
 - [La problématique](#) **3**
 - [tant se soucier du réchauffement climatique ?](#) **4**
2. [Pourquoi éviter ces ponts thermiques ?](#) **5**
3. [Comment en arriver à ne plus utiliser de chauffage ?](#) **6**
4. [L'importance des fenêtres](#) **7**
5. [L'isolation : garder la chaleur](#) **8-14**
 - 5.1 [L'isolation : comment la disposer ?](#) **9**
 - 5.2 [L'isolation : comment la vérifier ?](#) **10-11**
 - 5.3 [L'isolation : comment la quantifier ?](#) **12**
 - 5.4 [L'isolation : comment la choisir ?](#) **13-17**
6. [Gagner la chaleur](#) **18-20**
 - 6.1 [VMC](#) **19**
 - [aspiration/extraction d'air](#) **20**
 - [inconvenients](#) **20**
 - [réchauffer et refroidir](#) **21**
 - 6.2 [Jouer sur les conditions géographiques et l'exposition solaire](#) **22**
 - [éviter la surchauffe](#) **23**
 - 6.3 [Utiliser correctement l'architecture du bâtiment](#) **24**
7. [Les plus que l'on peut apporter à une maison passive](#) **25-30**
 - 7.1 [Le puits canadien](#) **26**
 - 7.2 [Les panneaux solaires](#) **27-30**
 - [Thermiques](#) **27**
 - [PV](#) **28-30**
 - [Semi-conducteurs](#) **30**
8. [Vivre dans une maison passive](#) **31**
9. [Incitants](#) **32-35**
 - 9.1 [Primes](#) **32-34**
 - [de la Région wallonne](#) **32-34**
 - [du niveau fédéral](#) **32**
 - [du niveau provincial](#) **32**
 - [du niveau communal](#) **32**
 - [détail](#) **33-34**
 - 9.2 [Revente au réseau](#) **35**
10. [Réponses aux questions](#) **36-42**
 - 10.1 [La principale crainte : le froid](#) **36**
 - 10.2 [L'intérêt d'une maison passive](#) **37**
 - 10.3 [Le surcoût lié à la construction d'une maison passive](#) **38**
 - 10.4 [Les caractéristiques fixées des maisons passives](#) **39**
 - 10.5 [L'intérêt des panneaux solaires thermiques](#) **40**
 - 10.6 [Le futur des panneaux solaires](#) **41**
 - 10.7 [Les quatre classes d'inertie thermique](#) **42**
 - 10.8 [Lexique](#) **43**

1. Pourquoi ? La problématique

1. De moins en moins de matières premières dans le futur

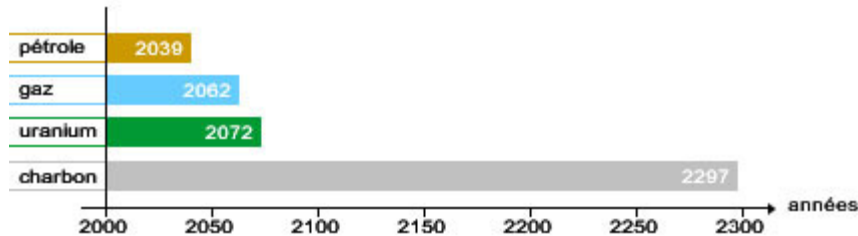


Image 1

2. Le réchauffement climatique

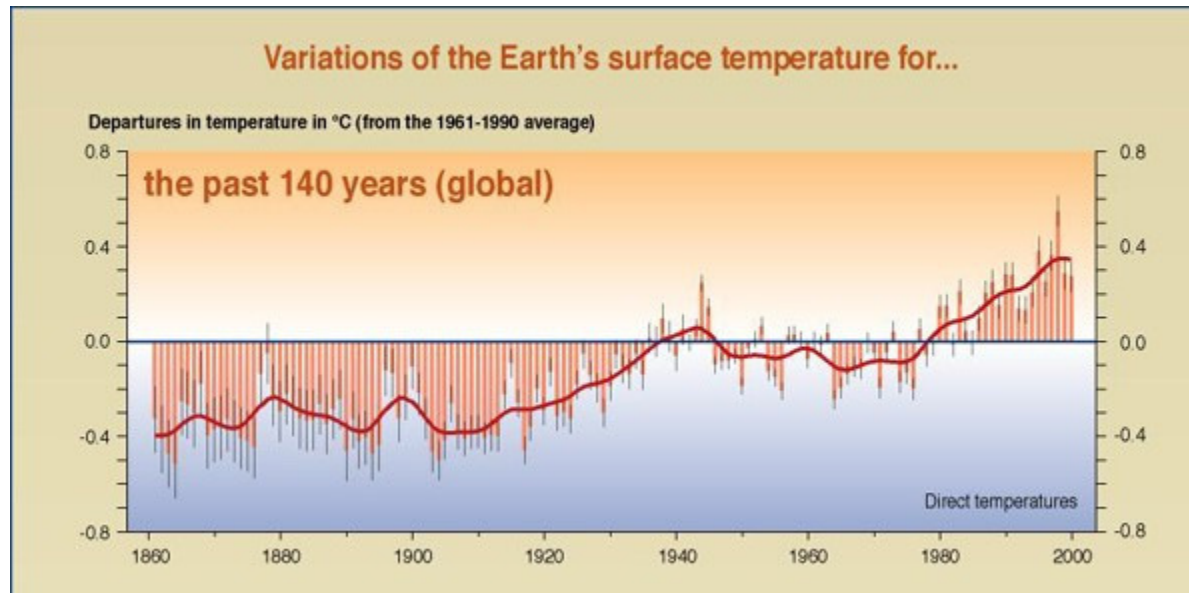


Image 2

Ceci fut d'ailleurs confirmé par le GEC (Groupe d'Experts au Climat).

Pourquoi tant se soucier du réchauffement climatique ?

Bien que le réchauffement climatique soit un phénomène normal, la vitesse à laquelle ce dernier se produit n'est, quant à elle, pas normale.

Pourquoi ?

Ceci est dû aux actions de l'Homme, qui produisent des gaz nocifs :

- H_2O } Combustion d'hydrocarbures (fabrication de plastiques, ...)
- CO_2 } $\text{C}_n\text{H}_{2n+2} + (3n+1)/2 \text{O}_2 \rightarrow n \text{CO}_2 + (n+1) \text{H}_2\text{O} + \text{E}$ (alcane)
- CH_4 } $\text{C}_n\text{H}_{2n} + 3n/2 \text{O}_2 \rightarrow n \text{CO}_2 + n \text{H}_2\text{O} + \text{E}$ (alcène)
- CH_4 (fermentations anaérobies, fuites de gaz naturel, ...)
- CFC (circuits de réfrigération, aérosols, expansion des mousses)
- N_2O (certaines combustions, engrais azotés)
- O_3 .

Que faire ?

Le charbon, le mazout de chauffage, et le gaz naturel nous permettent pour le moment de chauffer nos maisons.

Pourtant, il est tout à fait possible de ne plus chauffer une maison, à condition de respecter certains principes, c'est le principe de la maison passive.

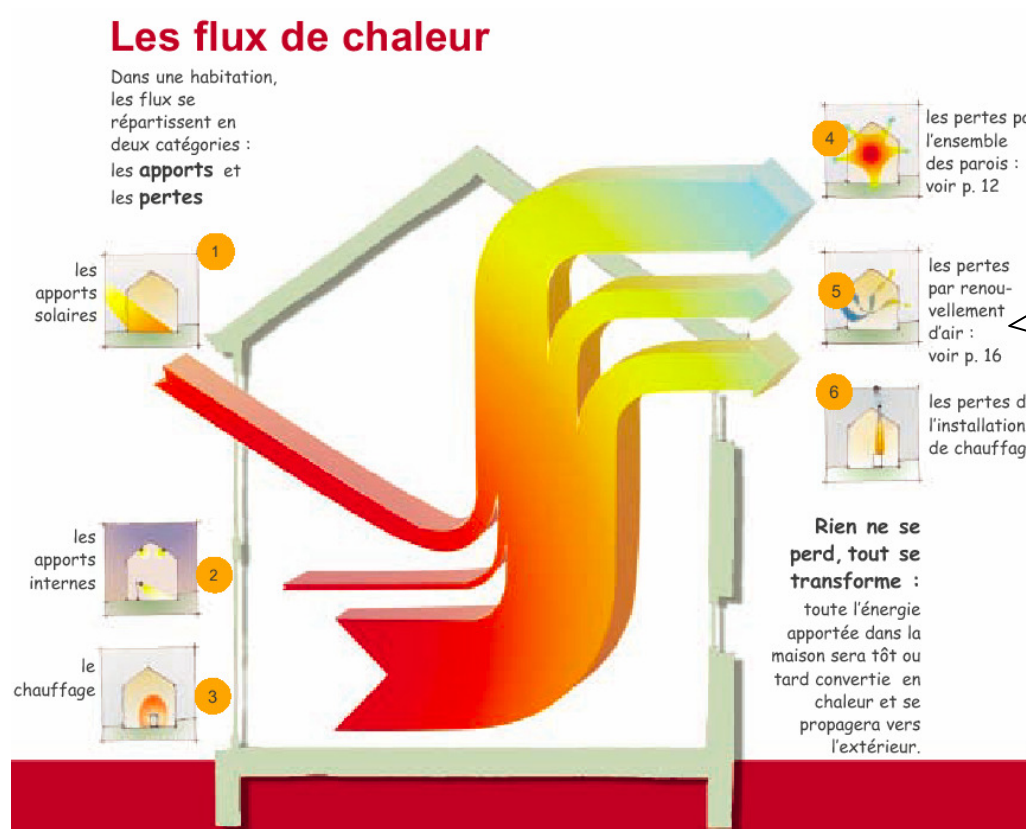


Image 3 : Maison normale

2. Pourquoi éviter ces ponts thermiques ?

Les ponts thermiques sont des interruptions de l'isolation résultant en une différence importante de température. Comme une différence de température entraîne toujours une condensation, la présence de ponts thermiques dans l'isolation de la maison entraînerait des moisissures dans l'isolation de la maison, voire de la charpente, avec les conséquences en résultant...

SOLUTIONS

ISOLER → Diminuer les pertes calorifiques

Involontaire → adopter une **étanchéité** correcte, face à l'air

Volontaire → utiliser une **VMC** double-flux à récupération de chaleur

Ne plus utiliser de **chauffage**

A EVITER

Ponts thermiques

Débit insuffisant

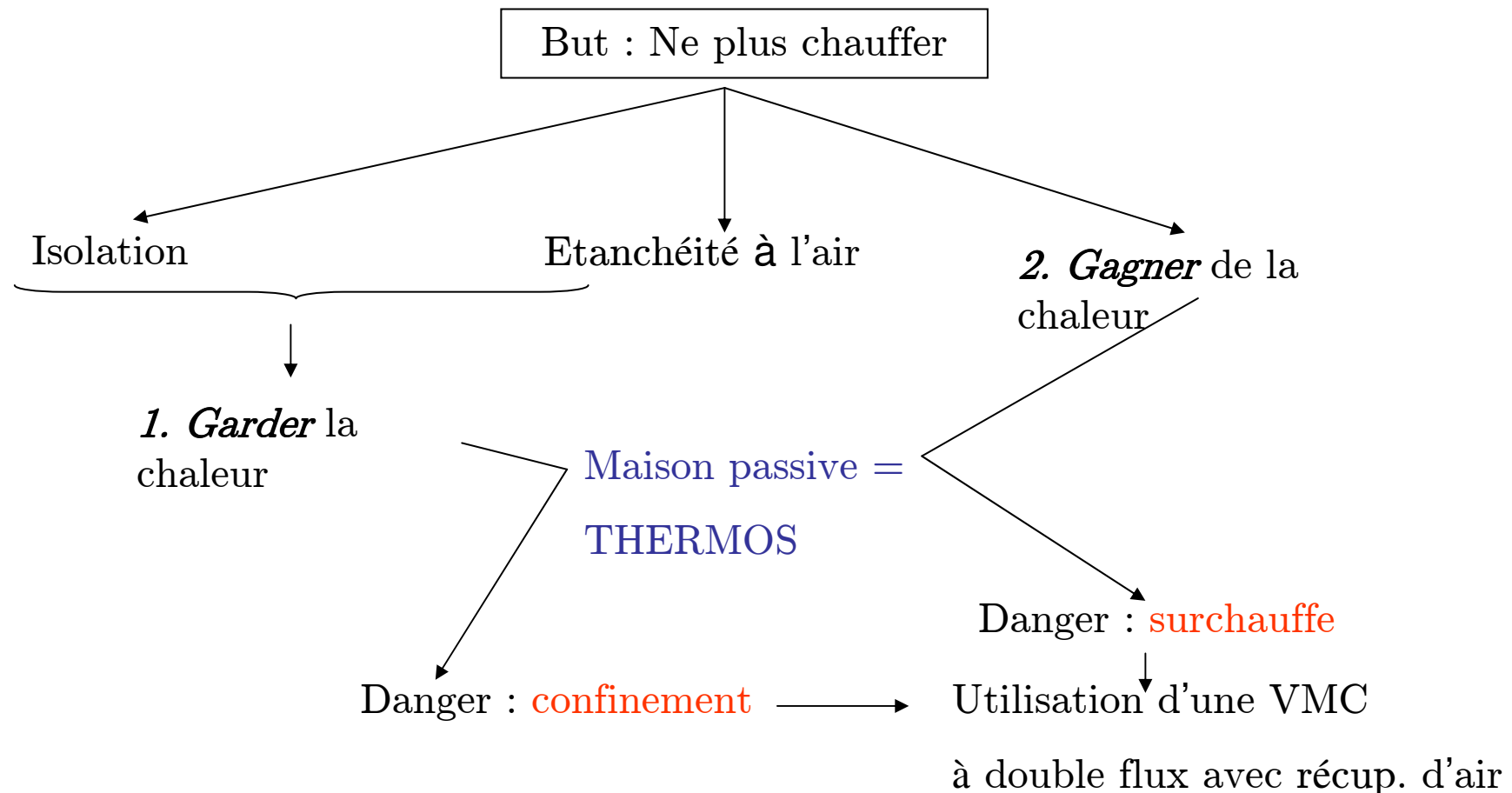
→ - **Surchauffe**

→ Inconfort

→ utilisation de **CLIM.**

3. Comment en arriver à ne plus utiliser de chauffage ?

Comme énoncé sur la diapositive précédente, quelques points cruciaux sont à respecter, en vue de diminuer sa demande thermique à un point tel que le chauffage n'est plus nécessaire...



4. L'importance des fenêtres

La fenêtre, en elle-même

Attention, l'isolation ne concerne pas seulement l'introduction de matériaux isolants !

Les fenêtres, en plus de posséder des châssis isolés, doivent être triple-vitrages et Low-E (Low-Emissivity, basse émission). Leur composition triple-vitrage fait baisser fortement leur facteur U.

Low-E ?

Les fenêtres qualifiées de Low-E (Low-Emissivity, basse émission), possèdent une couche invisible d'oxyde métallique qui permet à la lumière arrivant de passer au travers, mais qui bloque le rayonnement de chaleur intérieur (Ar ou Kr).

Les fenêtres, où les placer ?

- Au Nord, utiliser le minimum de fenêtres, pour éviter les pertes thermiques ;
- Utiliser beaucoup de fenêtres au Sud, orientées du Sud-Est au Sud-Ouest pour un ensoleillement maximal.

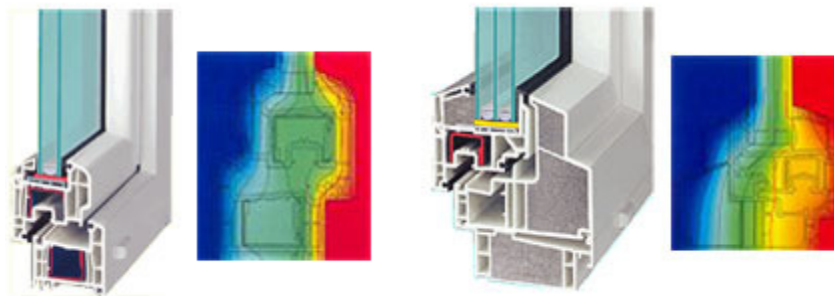


Image 4 : Comparaison : double et triple vitrages, dans un châssis.
La thermographie montre une surface intérieure droite du triple vitrage plus chaude (orange) que la surface intérieure droite du double vitrage

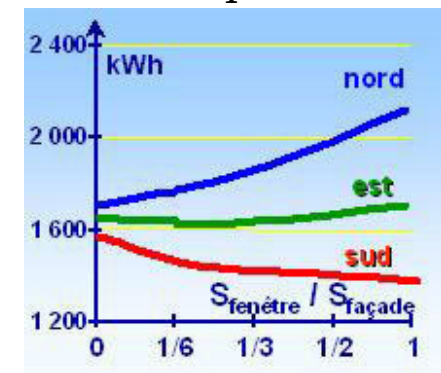


Image 5 : Besoins en chauffage, selon les proportions fenêtre/façade, et les orientations

5. L'isolation :
garder la chaleur

5.1 L'isolation, *garder* la chaleur Comment la *disposer* ?

L'isolation doit être disposée de manière à éviter au maximum les ponts thermiques, et à éviter les pertes de chaleur.

A ces fins, il faut :

- Que la **résistance thermique** soit aussi **haute** que possible là où une interruption de l'isolation est nécessaire ;
- **Eviter** les **chevauchements** de couches d'**isolants** dans les articulations de la maison ;
- Que les **couches d'isolants** soient **jointes** les unes aux autres (donc une isolation continue).

5.2 L'isolation, *garder* la chaleur Comment la *vérifier* ?

Trois principaux tests existent, afin de vérifier les fuites thermiques, et donc l'isolation.

- 1) Le test « **Blowerdoor** » ;
- 2) L'utilisation d'un **thermographe**, ou d'un anémomètre ;
- 3) L'utilisation de **fumée** artificielle.



Image 6 : Test Blowerdoor

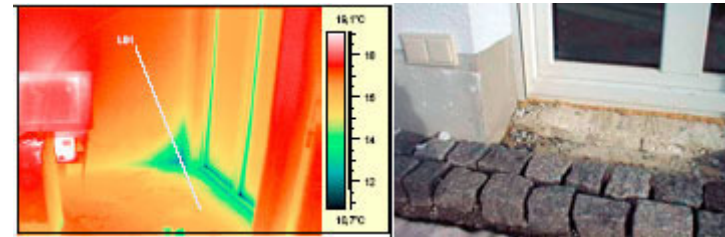


Image 7 : Thermographie : sur l'échelle des couleurs, le bleu et le vert indiquent les températures les plus froides, et illustrent bien la déperdition de chaleur

1) Le test « Blowerdoor »

Mode d'emploi

1. On cale un ventilateur de façon hermétique dans une ouverture du bâtiment (souvent une porte) ;
2. On crée une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment (fenêtres et portes fermées).

Cette dernière peut être de deux types :

- 2.1 Dépression → pour tracer de l'intérieur les fuites ;
 - 2.2 Surpression → pour tracer les fuites par fumée.
3. On mesure le débit d'air (ici n50) pour maintenir ΔP constant (=50 Pa pour le n50).

débit_{air} = V d'air sortant de la maison par les trous dans l'enveloppe

$$\text{Et } n_{50} = \frac{\text{débit}_{\text{air}}}{V_{\text{pièce}}}$$

Pour être en accord avec les normes sanitaires, n50 < 0,6 /h.

2) L'utilisation de fumée artificielle

Mode d'emploi

Lors de la mise en surpression du bâtiment, pendant le test Blowerdoor :

On envoie une fumée artificielle et inoffensive, qui s'infiltré aux endroits perméables.



Image 8 : Test Blowerdoor

5.3 L'isolation, *garder* la chaleur

Comment la *quantifier* ?

Facteur $U_{\max} = k_{\max}$

Le facteur qui mesure la perte thermique à travers un matériau est le *facteur U*.

Il est exprimé en W/m^2K . Plus U est petit, plus la déperdition calorifique est faible.

Conductivité thermique λ

Un isolant thermique destiné au bâtiment dispose d'une conductivité thermique $\lambda \leq 0,065 W/m.F$. Plus il est petit, moins il conduit la chaleur.

Composant de la maison	Facteur U max. (W/m^2K)	
	Maison passive	Maison traditionnelle
Mur	0,15	2,2
Sol	0,15	0,9 (isolé)
Toit	0,15	0,45 (isolé)
Fenêtre	0,80 (triple-vitrage avec Ar ou Kr)	5,8 (simple-vitrage), 3,3 (double-vitrage)
Châssis (PVC)	0,85	2,68
Porte	0,80	1,25 (PVC) 2,69 (Alu) ou 1,5 (Alu isolé)

Résistance thermique

Un isolant thermique destiné au bâtiment dispose d'une résistance thermique $\geq 0,5m^2.K/J$. Plus la résistance thermique est grande, plus l'isolant résiste à des différences importantes de température.

Facteur K

Dans une maison, l'isolation thermique globale est représentée par la variable K. Plus K est petit, meilleure est l'isolation.
 $10 < K_{\text{maison passive}} < 15$.

Il est établi à partir des caractéristiques des diverses parois délimitant le volume à chauffer (ex. : toit, cloisons, planchers, surface, matériaux qui définissent le pouvoir isolant).

5.4 L'isolation, *garder* la chaleur Comment la *choisir* ?

Le tout est de choisir un matériau isolant qui soit respectueux de l'environnement, et qui plaise au bâtisseur.

Il en existe plusieurs, mais plus l'isolation inhérente au matériau est mauvaise, plus l'épaisseur de l'isolant devra être importante, pour obtenir le même facteur U, donc la même isolation globale de la paroi.

Matériau	Conductivité thermique en W/mK	Epaisseur en mètre pour U=0,13 W/mffK
Béton ordinaire	2,100	15,80
Brique	0,800	6,02
Brique aérée	0,400	3,01
Bois de résineux	0,130	0,98
Brique isolante	0,110	0,83
Paille	0,055	0,410
Isolant conventionnel (laine de verre, cellulose, polystyrène,...)	0,040	0,300
Isolant plus performant (Mousse de polyuréthane,...)	0,025	0,188
Panneau isolant sous vide	0,015	0,113
	0,008	0,060

Image 9

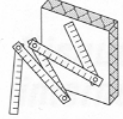
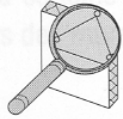
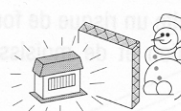
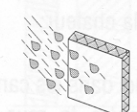
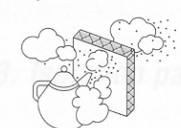
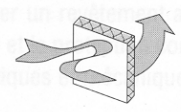
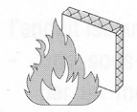
Tableau 1	Laine minérale MW	Mousses synthétiques				Verre cellulaire CG
		EPS	XPS	PUR revêtue	PIR revêtue	
Conditionnement commercial  Longueur (cm) : Largeur (cm) : Epaisseur (mm) :	Panneau rigide ou semi-rigide 100 à 130 60 40 à 120	Panneau rigide avec ou sans emboîtements 100 à 130 60 40 à 120				Panneau rigide 120 60 40 à 100
Origine et fabrication 	Obtenue à partir de verre ou de roche en fusion. Les fibres sont transformées en produit homogène à l'aide d'un liant hydrofuge	Obtenue par moussage de matières plastiques issues de la pétrochimie (chimie du pétrole)				Constitué de verre pur expansé

Image 10

Tableau 1 (suite)	Laine minérale MW	Mousses synthétiques				Verre cellulaire CG
		EPS	XPS	PUR revêtue	PIR revêtue	
Conductivité thermique (λ) 	⁽¹⁾ ⁽²⁾ 0,032 à 0,041 0,045	0,033 à 0,040 0,045	0,027 à 0,034 0,040	0,024 à 0,029 0,035	0,024 à 0,029 0,035	0,040 à 0,048 0,055
Comportement à l'eau 	Non capillaire (n'absorbe pas l'eau)	Imperméable = étanche à l'eau				Imperméable = étanche à l'eau
Comportement à la vapeur d'eau 	Totalement perméable à la vapeur d'eau Non hygroscopique (prise d'humidité quasi nulle)	Faiblement perméable à la vapeur d'eau				Etanche à la vapeur d'eau
Perméabilité à l'air 	Totalement perméable à l'air	Très faiblement perméable à l'air				Imperméable à l'air
Réaction au feu 	Non combustible	Combustible				Non combustible

⁽¹⁾ Id : intervalle de valeurs certifiées dans les agréments techniques ATG.

⁽²⁾ Selon l'addendum 1 à la norme NBN B 62-002, on utilise la valeur normalisée à défaut de valeur Id.

(*) autres isolants

MW : laine minérale - laine de roche ou laine de verre

EPS : polystyrène expansé

XPS : polystyrène extrudé

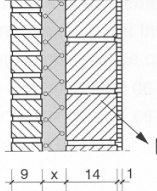
PUR : polyuréthane

PIR : polyisocyanurate

CG : verre cellulaire

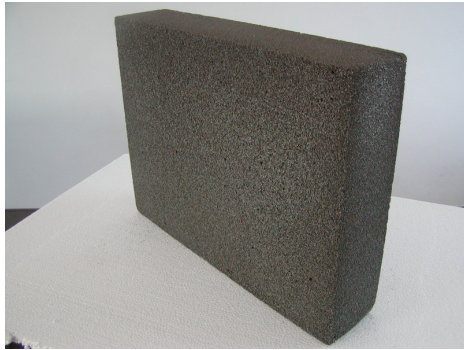
(*) Pour des isolants tels que la perlite, la vermiculite, le liège, ... qui ne disposent pas d'un agrément technique, on se référera à la brochure "Isolation thermique de la toiture inclinée".

Tableau 4
Composition du mur creux



Composition du mur creux	Coefficient k de la façade sans isolant (W/m ² .K)	k = (W/m ² .K)	Epaisseurs d'isolant (x en cm) à ajouter pour			
			Nature de l'isolant (*)			
			MW EPS	XPS	PUR PIR	CG
B = blocs de béton lourd ou mi-lourd	2,17	0,6	5,8	5,1	4,5	7,0
		0,4	9,5	8,4	7,4	11,6
		0,3	13,3	11,8	10,3	16,2
B = blocs perforés de terre cuite	1,37	0,6	4,5	4,0	3,5	5,6
		0,4	8,3	7,4	6,4	10,1
		0,3	12,0	10,7	9,4	14,7
B = blocs perforés de terre cuite allégée	1,07	0,6	3,6	3,2	2,8	4,4
		0,4	7,4	6,5	5,7	9,0
		0,3	11,1	9,9	8,6	13,6
B = blocs de béton léger	1,42	0,6	4,7	4,1	3,6	5,7
		0,4	8,4	7,5	6,5	10,3
		0,3	12,2	10,8	9,5	14,9
B = blocs de béton cellulaire	0,88	0,6	2,7	2,4	2,1	3,4
		0,4	6,5	5,8	5,0	7,9
		0,3	10,2	9,1	8,0	12,5

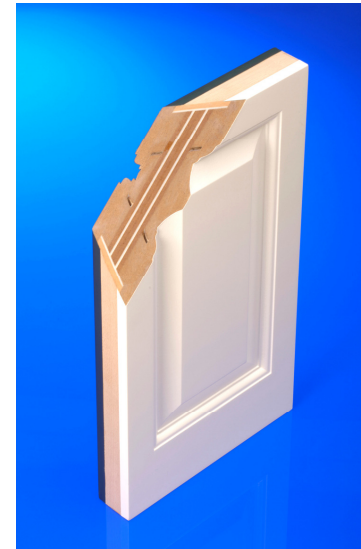
Composition du mur plein	Coef k du mur plein sans isolant (W/m ² .K)	kmax W/m ² .K	Epaisseur de l'isolant (en cm) à ajouter pour obtenir :			
			Nature de l'isolant			
			MW	XPS EPS	PUR	CG PIR
Bloc de béton cellulaire ép 20 cm, densité ≤ 500 kg/m ³	0,56	0,60	-	-	-	-
		0,40	2,9	2,4	2,0	3,4
		0,30	6,3	5,2	4,3	7,4
Bloc de béton cellulaire ép 24 cm, densité ≤ 500 kg/m ³	0,48	0,60	-	-	-	-
		0,40	1,8	1,5	1,2	2,1
		0,30	5,2	4,3	3,5	6,1
Bloc de béton cellulaire ép 20 cm, densité ≤ 400 kg/m ³	0,49	0,60	-	-	-	-
		0,40	2,0	1,6	1,4	2,3
		0,30	5,4	4,5	3,7	6,3
Bloc de béton cellulaire ép 24 cm, densité ≤ 400 kg/m ³	0,42	0,60	-	-	-	-
		0,40	0,6	0,5	0,4	0,7
		0,30	4,0	3,3	2,7	4,7



CG – Cellular Glass ↑
Verre cellulaire



XPS – eXtruded PolySterene ↑
Polystyrène extrudé *boîtes à CD*



← PIR –
PolyIsocyanuRate
Polyisocyanurate



EPS – Expanded PolySterene ↑
Polystyrène expansé
frigolette



PUR – PolyURethane ↑
Polyuréthane



↖ Glass Wool
Laine de verre

MW – Mineral Wool
(Glass ou Rock wool)
(Laine de verre ou de roche)



← Rock Wool
Laine de roche

6. *Gagner* la chaleur

Une fois que l'on a pris les mesures nécessaires pour *garder* la chaleur, il faut *gagner* la chaleur, en évitant tout de même la surchauffe !

Ceci peut s'effectuer par trois moyens différents, qui doivent être simultanément mis en œuvre :

- 6.1 Utiliser une **VMC** (Ventilation Mécanique Contrôlée) ;
- 6.2 Jouer sur les **conditions géographiques** et l'exposition **solaire** ;
- 6.3 Utiliser correctement l'**architecture** du bâtiment.

6.1 La ventilation mécanique contrôlée (VMC)

Rôle

La ventilation mécanique contrôlée à double-flux est un composant essentiel d'une maison passive, grâce à ses différents avantages.

Elle est double-flux, et est appelée *VMC* (pour « Ventilation Mécanique Contrôlée »).

Pourquoi ?

Une maison passive étant comme un thermos (puisque étanche à l'air, hermétique), il faut forcément la ventiler, c'est-à-dire faire rentrer et sortir de l'air dans et de toute la maison, de façon à ce que l'habitant puisse respirer un air non vicié.

Avantages

- Filtrer l'air avec différents filtres.
- Evacuer :
 - Les mauvaises odeurs, et les substances dangereuses, telles que des produits chimiques dans l'air, i.e. venant des matériaux utilisés pour la construction ;
 - L'humidité (en diminuant l'hygrométrie) : les miroirs ne sont plus jamais recouverts de buée !
- Diminuer le taux de CO₂ provenant de la respiration des personnes.
- **Réchauffer** l'air de la maison en hiver, grâce à la récupération d'air et à son réchauffement ; et le **refroidir** en été, pour maintenir ainsi une **température** agréable et **constante**, toute l'année, et dans toutes les pièces.

Aspiration / extraction d'air

L'air frais est aspiré dans les pièces sèches (living, chambres, ...), alors que l'air « utilisé » (vicié) est pris de la cuisine, ou de la salle de bain, et évacué.

L'air est porté par les appareils d'évacuation, ou par des « ouvertures de transferts » dans les portes ou les murs porteurs, passant ainsi par les couloirs et escaliers.

Comme l'air sec possède une pression forte, et que l'air humide est peu pressurisé, un flux d'air est créé, c'est pourquoi les odeurs (provenant de la cuisine, des toilettes, ...) ne sont pas amenées dans les pièces telles que le living (voir image 15)

Inconvénients ?

- On pourrait penser que la ventilation mécanique est « gourmande » en énergie, mais, même si cette dernière utilise de l'énergie additionnelle, c'est peu, comparé au gain de chaleur qu'elle apporte !
- Il n'y a aucun bruit si la ventilation est bien installée.

Comment (réchauffer et refroidir) ? – Système de récupération d'air

C'est ici que réside tout l'intérêt du système de récupération d'air à double-flux, de la VMC.

Comme les tuyaux d'entrée-sortie air frais/chaud – air chaud/frais sont proches, le système est conçu de telle façon que la chaleur de l'air d'un des deux tuyaux chauffe celle de l'autre tuyau, car ils passent à côté l'un de l'autre dans l'échangeur air-air. Le mieux est de placer cet échangeur air-air dans l'enveloppe thermique isolante, de façon à encore limiter les pertes calorifiques de cet échangeur.

Ceci permet :

- En hiver : l'aspiration d'**air frais** provenant de dehors, qui est **réchauffé** par conduction par l'air chaud sortant ;
- En été, le phénomène inverse : l'aspiration d'**air chaud** provenant de dehors, qui est **refroidi** par conduction de l'air froid sortant.

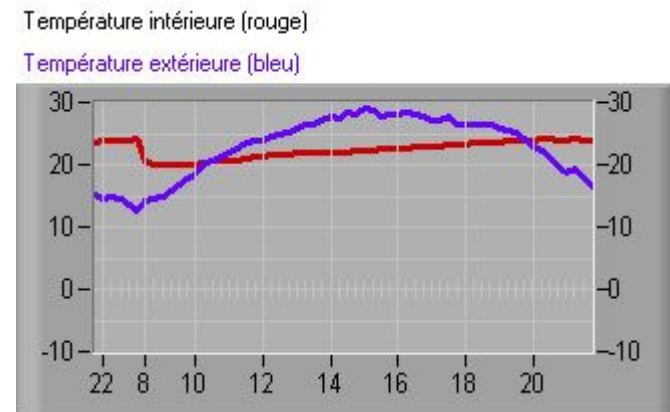


Image 14 : Vague de chaleur : lorsque la ventilation s'active, La température de la maison garde sa constance



Image 15

6.2 Les conditions géographiques et l'exposition solaire

Garder la chaleur

- Protéger des vents dominants ;
- Éviter les vallées et les endroits ombrés (voir image 15 diapositive 23), comme les pentes exposées au Nord, ou la face Nord de forêts denses, ou des hauts buildings ;
- Éviter l'ombrage dû aux constructions et végétation non caduques avoisinantes (donc éviter de planter près de la maison), balcons, auvents non optimisés, barrières, etc. (voir image 15 diapositive 19) ;
- Exposer la maison : +/- 30° d'orientation Sud, afin de bénéficier du meilleur du soleil, avec des fenêtres faisant face au Sud ;
- Préférer les maisons mitoyennes, et même encore mieux, créer un village « écologique », comme à Freiburg, en Allemagne, pour diminuer la demande énergétique de 15% à 30%.

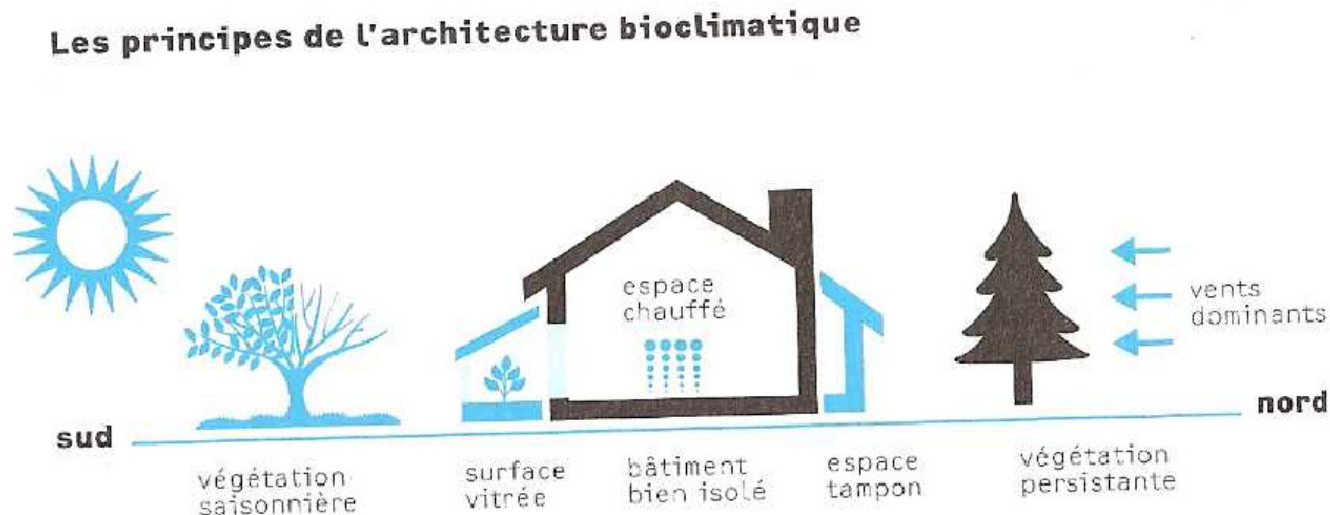


Image 16

Eviter la surchauffe (en été)

En utilisant, notamment :

- Un toit en pente (voir image 17) ;
- Ou des auvents et dépassements de toits optimisés (voir image 17), pour des orientations Sud ;
- Ou des stores à lamelles, utiles après 1 h. p.m. car, l'après-midi, le soleil est plus bas ;
- Ou une protection mobile, pour des orientations Ouest et Est ;
- Ou de la végétation, qui perd ses feuilles en hiver, de façon à ce que, au printemps et en été, les rayons solaires ne traversent pas les feuilles (voir image 13).

Ou, si c'est vraiment nécessaire, en augmentant la vitesse de rotation du ventilateur (voir image 14, diapositive 21).



Image 17 : Toit en pente à 14h

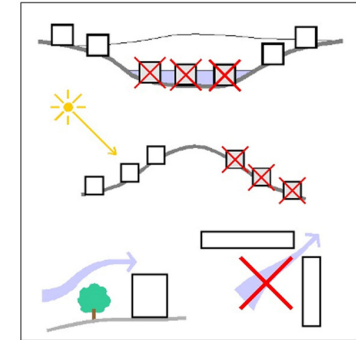


Image 19' : Un emplacement optimal offre la possibilité d'utiliser l'énergie solaire passive de façon efficace. Le design de la maison passive utilise des technologies qui ne dépendent pas de l'ensoleillement solaire.

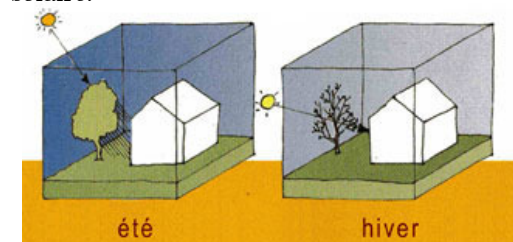
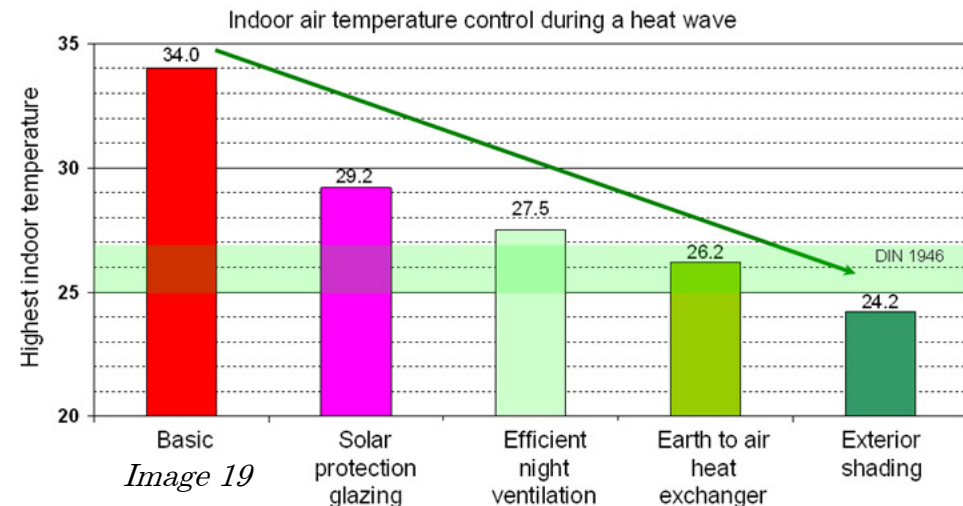


Image 18



6.3 L'agencement architectural

Il est également intéressant de minimiser les surfaces externes, donc la perte calorifique (car la chaleur est plus vite perdue sur des surfaces en contact avec l'extérieur), en utilisant une maison compacte.

De plus, les pièces « chaudes » doivent être mises le plus proche possible des autres pièces, de façon à ce qu'elles les réchauffent, i.e. mettre la pièce avec la chaudière, et la salle de bain au milieu de la maison.

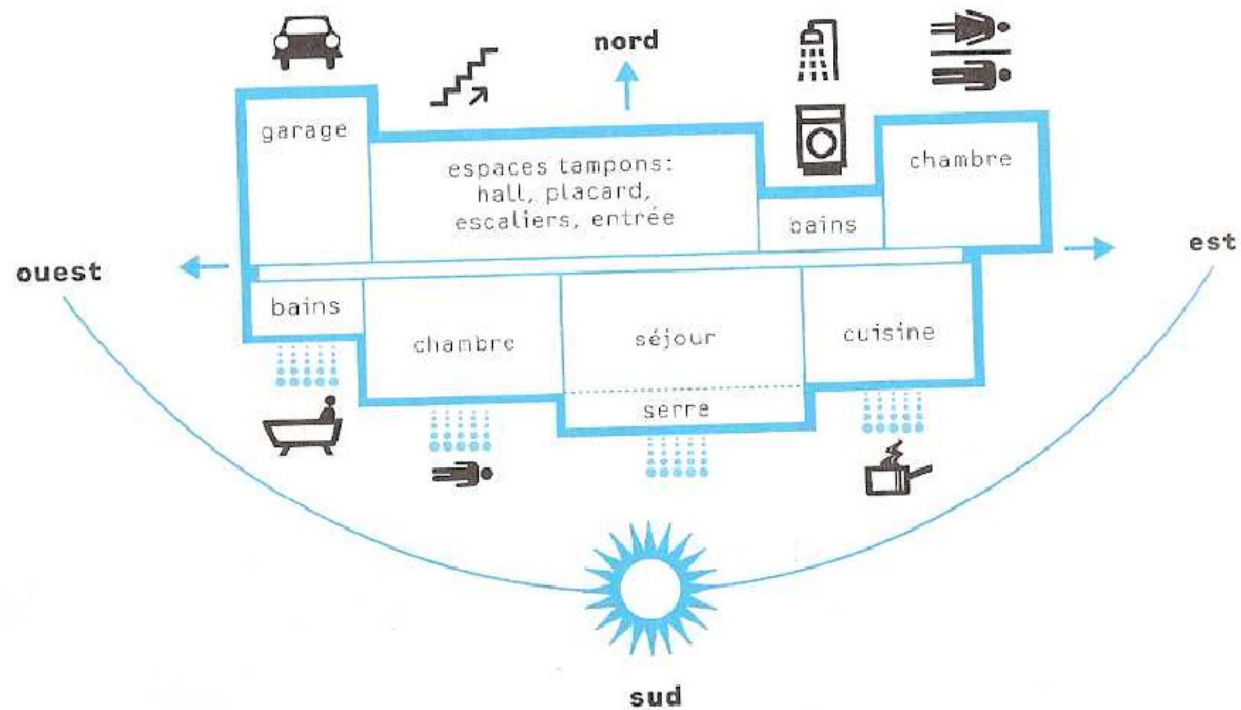


Image 20

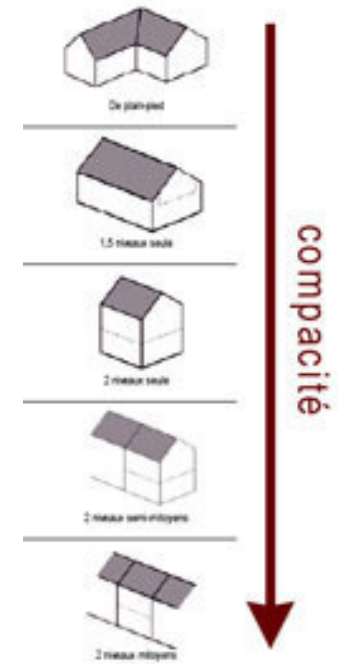


Image 21

7. Les « plus » que l'on peut apporter à une maison passive

- 7.1 Le puits Canadien
- 7.2 Les panneaux solaires
 - 7.2.1 thermiques (thermopiles)
 - 7.2.2 photovoltaïques (photopiles)

7.1 Le puits Canadien : complémentaire à la Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC)

PRINCIPE :

1. Air extérieur aspiré ;
2. Refroidissement (en été) de l'air car le sol est plus froid
OU Réchauffement (en hiver) de l'air car le sol est plus chaud ;
- Compensation des différences de température entre l'air extérieur aspiré et l'air intérieur
3. Air envoyé dans l'échangeur AIR entrant – AIR sortant ;
4. Réchauffement / Refroidissement de la maison.

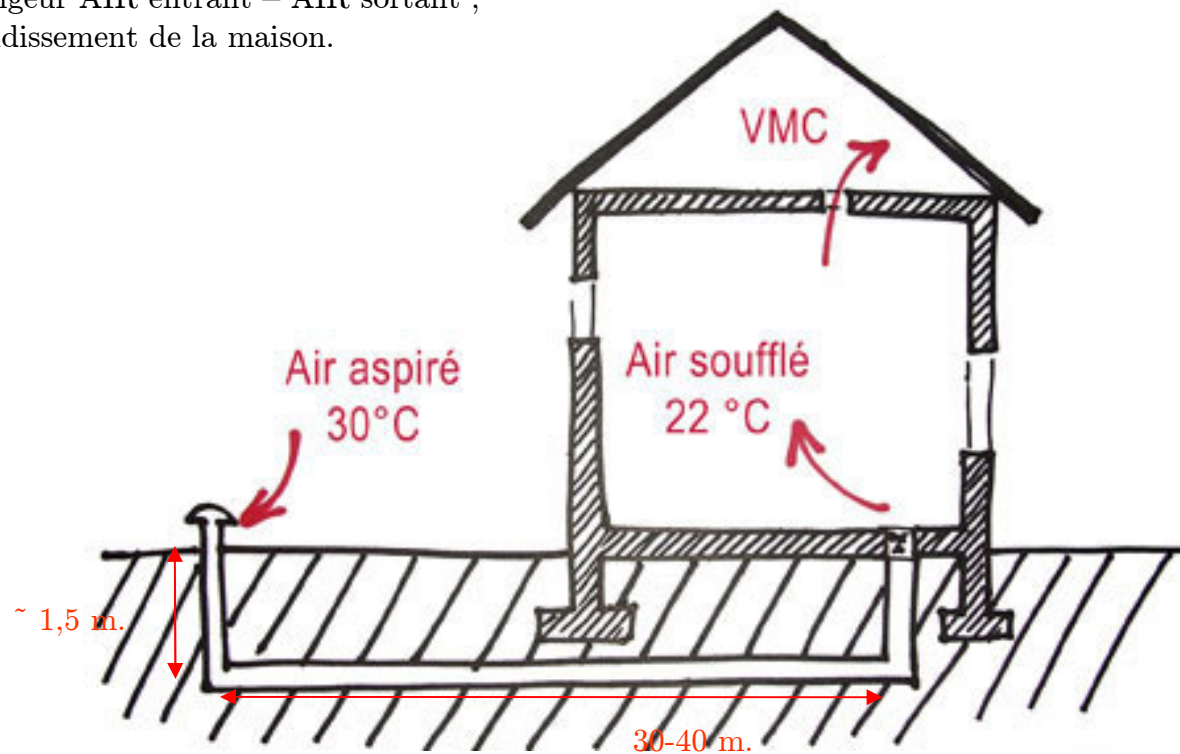


Image 22

7.2 Les panneaux solaires

7.2.1 Thermiques (thermopiles)

PRINCIPE :

1. Le rayonnement solaire atteint le capteur plat (composé de tuyaux) ;
2. Les tuyaux qui composent le capteur se réchauffent ;
3. Le liquide caloporteur (ici, de l'eau) présent dans les tuyaux chauffe ;
4. Ce liquide est envoyé de la partie basse du capteur, et récolté sur le dessus ;
5. L'eau, chauffée, transite par la cuve réserve pour aller vers les appareils sanitaires (évier, etc.).

NB :

L'eau est utilisée dans les régions chaudes car, même la nuit, il n'y gèle pas.
Dans les régions tempérées ou mêmes froides, on utilise un liquide antigel comme liquide caloporteur.

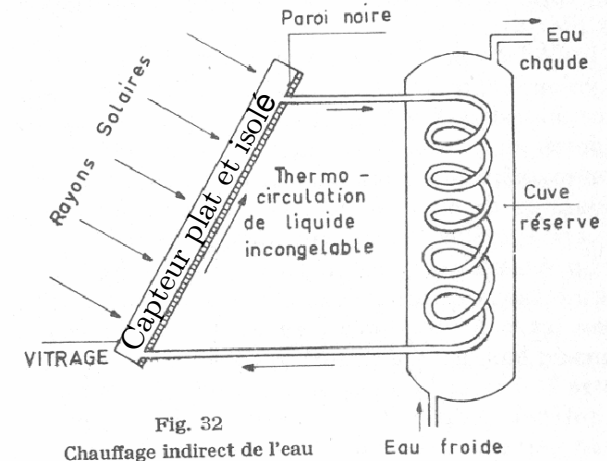
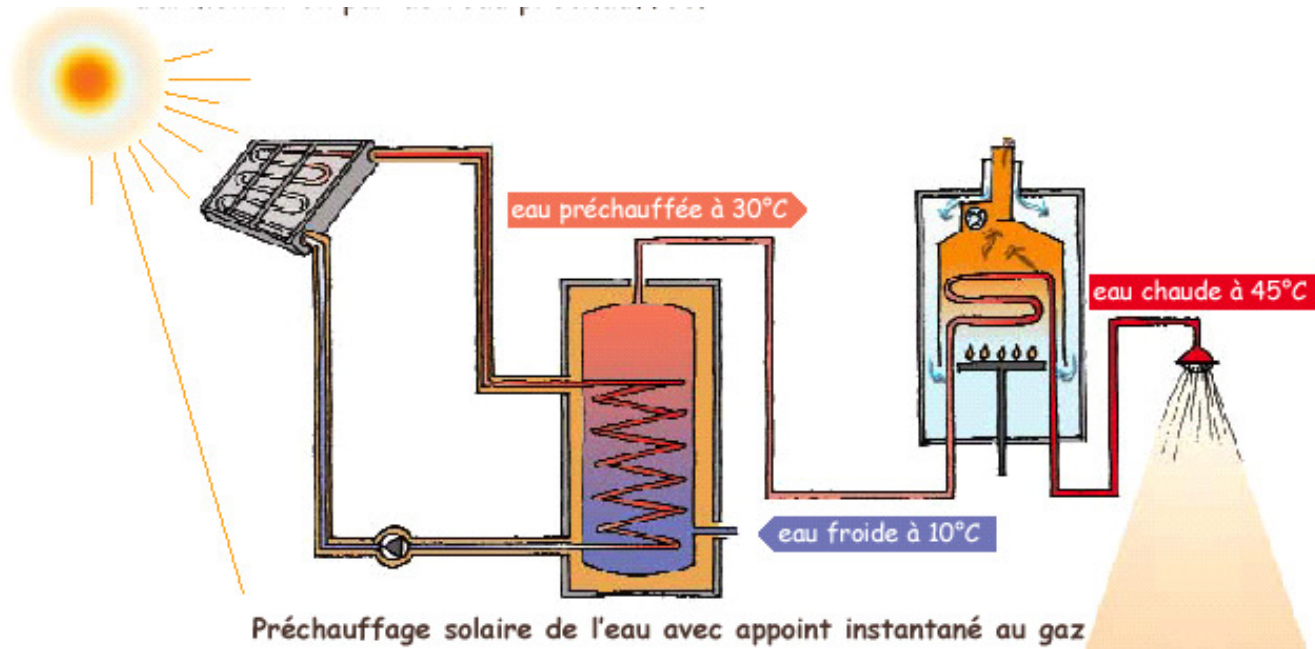


Fig. 32

Chauffage indirect de l'eau

Eau froide

Image 23



Installation thermique pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS).

Image 24

7.2 Les panneaux solaires

7.2.2 Phovoltaïques (photopiles)

PRINCIPE :

Les deux zones (n et p) sont créées à partir de matériaux semi-conducteurs, qui ont des propriétés de conductivité électrique intermédiaires, entre celles des métaux, et celles des isolants.

On « dope » le semi-conducteur, en lui introduisant des impuretés, de manière à lui ajouter ou retirer des électrons.

- La zone **n** (n-layer, **négative**) est une zone riche en électrons, car on lui a ajouté des électrons.
- La zone **p** (p-layer, **positive**) est une zone pauvre en électrons, car on lui a retiré des électrons. En lui retirant des électrons, des trous se sont formés, « là » où les électrons ont été retirés.

Ces deux zones forment une jonction, appelée PN, qui a la propriété de ne laisser passer le courant que dans un seul sens : c'est une diode.

Comme il y a des trous sur la couche P, les électrons de la couche N vont venir les remplir, sous l'action des photons du rayonnement solaire.

Du coup, c'est la couche N qui va posséder des trous, que les électrons de la couche P vont remplir. Ce mécanisme va se produire tant qu'il y aura des photons (donc de la lumière solaire), et générer un courant.

RENDEMENT & W_C :

$$\eta_{\text{photopile}} = E_{\text{élec. produite}} / E_{\text{lum reçue du soleil}}$$

Quand l'ensoleillement atteint un maximum, c-à-d 1000 W/m², sous 25 °C, la

photopile atteint un rendement max, c'est la définition du W_C (Watt-Crête, ou W_p , Watt-Peak en Anglais) : énergie maximale produite par la photopile sous ces conditions.

Pourquoi les assembler en série ?

Propriétés d'un circuit série :

$$U_{\text{tot}} [V] = \sum_{k=1}^n U_k \quad , \text{ où } n = \text{le nombre de panneaux PV}$$

$$I_{\text{tot}} [A] = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \rightarrow \text{proportionnel à l'intensité du rayonnement incident.}$$

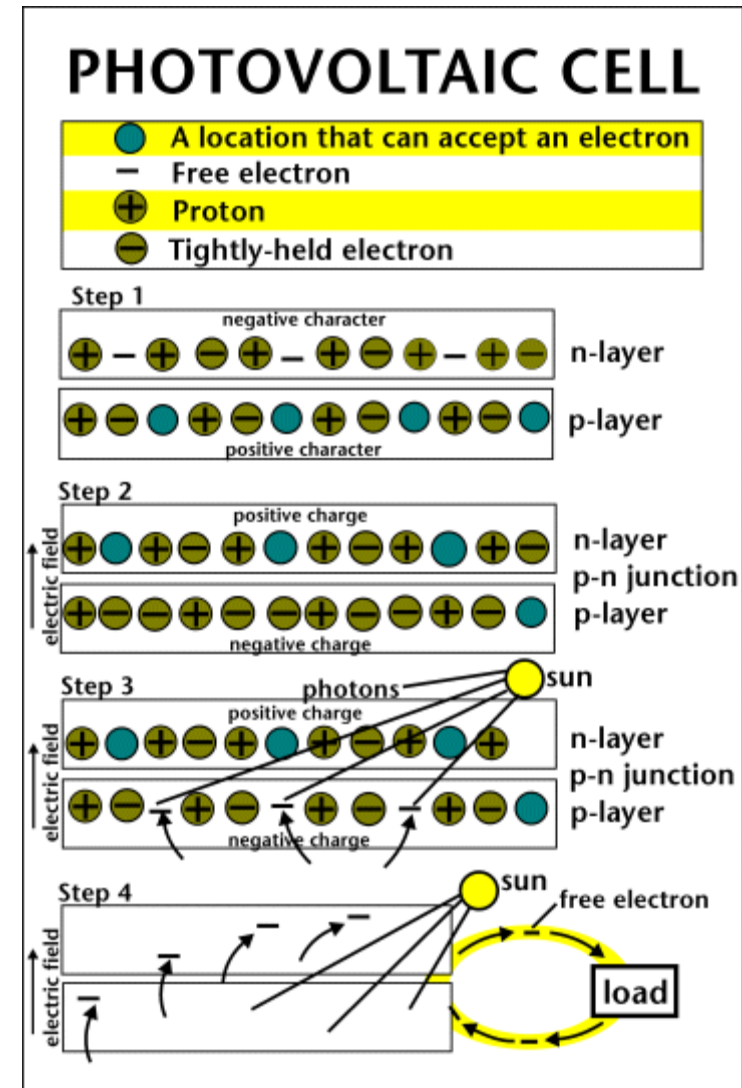


Image 25



Reportage CPS sur les énergies vertes

7.2 Les panneaux solaires

7.2.2.1 Les semi-conducteurs pour les panneaux PV

- Structure cristalline ;
- Peu de charges libres → les e^- sont liés par la couche de valence ;
- Au zéro absolu, un semi-conducteur = isolant parfait, car les électrons sont tous dans la couche de valence.
- A T° ordinaire, et ss. l'action du rayonnement, les e^- vont se déplacer de la bande de valence à la bande de conduction → rupture liaisons du semi-conducteur (ici du Si).
- E_g =Energie « de trou de bande » (Band gap energy)
[eV] : niveau auquel un électron lié à son atome est libéré. 1,7 eV pour le a-si (amorphous-Si).

8. Vivre dans une maison passive

La vie dans une maison passive nécessite quelques aménagements personnels chez l'habitant, par rapport à une maison traditionnelle.

Toute une série d'habitudes seront remises en question : il convient de perdre certaines habitudes, et d'en créer de nouvelles.

Par exemple :

- ne plus allumer le chauffage (il n'y a plus de radiateurs !) ;
- ne plus ouvrir les fenêtres (la ventilation interfère) ;
- planifier l'utilisation énergétique (lessiver quand il y a beaucoup de soleil, puis faire sécher le linge à l'extérieur) ;
- diminuer sa demande énergétique ;
- utiliser des appareils à faible consommation énergétique (classe AA de préférence), pour l'entièreté de la maison (le séchoir, le frigo, et les lumières) ;
- régler la ventilation mécanique, si nécessaire ;
- gérer les récupérations de chaleur (du four, des autres appareils électriques) ;
- prévoir une pièce spéciale pour les appareils relatifs à la maison passive, parce qu'ils peuvent chauffer, et faire du bruit ! ;
- aménager différemment l'architecture intérieure.

Cette manière de vivre peut sembler déroutante au début, mais se révélera particulièrement valorisante par sa collaboration à l'avenir de la planète, et aussi par les économies engrangées.

9. Incitants

1. Primes

Il existe quantité de primes, émanant chaque des différentes autorités belges : régions, niveau fédéral, provinces, communes...

Certaines sont cumulables, d'autres non ; la plupart le sont, mais le détail de ces primes sort du contexte de cette présentation.

Du fait de leur multitude, je ne saurais toutes les détailler, ni les expliciter, mais on peut citer notamment les suivantes, qui conviennent pour tout résident wallon :

De la Région wallonne

- Système PV (octroi de certificats verts) → Plan Solwatt
- chauffe-eau solaire → Plan Soltherm
- Maison passive → 5000€
- Installation d'une VMC double flux à récupération d'air
- Audits (thermographie, Blowerdoor)

Du niveau fédéral

Réduction d'impôts (40%).

Du niveau provincial

650 € pour la province de Liège.

Du niveau communal

250 € pour Liège, 200 € pour Herstal.

No de prime		Détail
<u>Primes à l'isolation</u>		
1	Isolation du toit	Si l'isolation est placée par un entrepreneur enregistré, la prime est de 8 € par m ² de surface isolée. Si vous placez l'isolation vous-même, la prime est de 4 € par m ² de surface isolée. Le maximum octroyé est de 10.000 € par an et par bâtiment.
2	Isolation des murs	Un audit enregistré doit être préalablement réalisé, en conformité avec le prescrit de la prime 15. La prime est de 25 € par m ² de murs isolés en contact avec l'ambiance extérieure ou un espace non chauffé ou qui n'est pas à l'abri du gel. Le maximum octroyé est de 10.000 € par an et par bâtiment. L'entrepreneur doit être agréé et enregistré.
3	Isolation des planchers	Un audit enregistré doit être préalablement réalisé, en conformité avec le prescrit de la prime 15. La prime est de 25 € par m ² de sol isolé. Le maximum octroyé est de 10.000 € par an et par bâtiment. L'entrepreneur doit être agréé et enregistré.
4	Remplacement du simple vitrage par du double vitrage haut rendement	La prime est de 40 € par m ² de vitrage placé. Lorsque le châssis est également remplacé, la prime est calculée sur base des dimensions extérieures du châssis. Le maximum octroyé est de 10.000 € par an et par bâtiment. L'installation doit être réalisée par un entrepreneur enregistré et agréé, disposant de l'accès réglementé aux activités de la menuiserie, et de la vitrerie.
6	Maison passive	La prime est de 6.500 € pour la construction d'une maison unifamiliale passive, présentant une consommation de chauffage très faible, inférieure à 15 kWh/m ² .an. Cette prime n'est pas cumulable avec la 5 (isolation d'une maison unifamiliale) et la 7.
<u>Prime à la ventilation</u>		
7	Installation d'un système de ventilation avec récupération de chaleur	Le montant de la prime est de 75 % de l'investissement global avec un maximum de 1.500 € par unité d'habitation équipée dans le logement.
<u>Primes à l'audit</u>		
15	Audit énergétique	Dans le cas d'une maison unifamiliale, la prime pour la réalisation d'un audit énergétique est de 60% du montant de la facture TVA comprise (ou de la note d'honoraires) et ne peut excéder 360 € par audit. Pour tout autre bâtiment, la prime est de 60 % de la facture TVA comprise ou de la note d'honoraires, et ne peut excéder 1.000 € par audit et par bâtiment. L'audit doit être réalisé par un auditeur PAE (Procédure d'Avis Énergétique), selon la méthode PAE.
16	Audit par thermographie	Dans le cas d'une maison unifamiliale, la prime pour la réalisation d'un audit énergétique est de 50 % du montant de la facture TVA comprise (ou de la note d'honoraires) et ne peut excéder 200 € par audit. Pour tout autre bâtiment, la prime est de 50 % de la facture TVA comprise ou de la note d'honoraires et ne peut excéder 700 € par audit et par bâtiment.

<u>Prime aux panneaux PV (grâce au Plan Solwatt)</u>		
19	Installation de panneaux solaires photovoltaïques	<p>La prime est de 20 % des coûts éligibles, augmenté de la TVA si le demandeur n'est pas assujéti avec un maximum de 3.500 € par installation et par compteur EAN.</p> <p>Les coûts éligibles représentent le montant de la facture hors TVA relative au placement d'une installation photovoltaïque (les panneaux solaires, le générateur, le sectionneur de courant continu, l'onduleur, le compteur d'électricité verte, le disjoncteur de courant alternatif, les supports de fixation des panneaux, l'éventuel dispositif de suivi du soleil et le câblage nécessaire, ainsi que la main d'œuvre relative à ces différents éléments).</p> <p>Ces coûts sont limités au produit de la puissance de l'installation exprimé en Wc, par :</p> <p>7 € /Wc pour un système fixe ; 8 € /Wc pour un système intégré ; 9 € / Wc pour un suiveur solaire.</p> <p>Pendant les 15 premières années, le plan Solwatt octroie un revenu complémentaire sous forme de « Certificats verts », en raison de la production d'électricité verte :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 7 "Certificats verts" / MWh pour les 5 premiers kWc de l'installation ; - + 5 "Certificats verts" / MWh pour les 5 kWc suivants ; - + 4" Certificats verts" / MWh entre 10 and 250 kWc. <p>Ces certificats verts ont une valeur minimale garantie de 65 €/pièce ; ils peuvent être revendus et négociés à des producteurs d'énergie à un prix égal ou supérieur à 90 €.</p> <p>L'installation doit être réalisée par un entrepreneur disposant d'un accès réglementé pour les activités électrotechniques, à l'exception de placements des panneaux PV, qui doivent être réalisés par un entrepreneur disposant de l'accès réglementé pour les activités de la toiture et de l'étanchéité.</p> <p>La facture de solde doit être postérieure au 31 décembre 2007.</p> <p>Dispense de permis d'urbanisme pour l'installation des panneaux PV, en toiture, et sous certaines conditions (voir commune).</p> <p>Possibilité de prêt hypothécaire.</p>
<u>Prime aux panneaux thermiques (grâce au Plan Soltherm)</u>		
20	Installation d'un chauffe-eau solaire	<p>La prime est de 1500 € pour les systèmes de 2m² à 4m² de capteurs. A cela, il faut ajouter 100€ par capteur supplémentaire, jusqu'à un plafond maximum de 6000 €.</p> <p>Dispense de permis d'urbanisme pour l'installation des panneaux T, en toiture, et sous certaines conditions (voir commune), et en-dessous de 10m² de surface totale.</p>

2. Revente au réseau

Les batteries présentent de nombreux inconvénients : elles sont polluantes, chères, encombrantes, et leur rendement est faible.

Pour pallier ceci, une autre solution fut trouvée : l'injection sur le réseau de l'électricité.

PRINCIPE :

Lorsque $\text{production} > \text{consommation}$, $\text{surplus}_{\text{production}} \rightarrow$ compteur « tourne à l'envers » \rightarrow déduction de la facture électrique \rightarrow gain financier.



<http://www.plansolvatt.be/uploads/images/tmpl/site/SOLWATTanim.swf>

10. Réponses aux questions

10.1 La principale crainte : le froid

Ce qui suscite souvent des doutes chez les personnes susceptibles de réaliser la construction d'une maison passive est la peur du froid.

Il est vrai que, lorsque l'on regarde les températures intérieures d'une maison passive, elles avoisinent souvent 20°C.

Ce que peu de gens savent, c'est que la température affichée au thermomètre, dans une pièce, n'a pas toujours un lien direct avec la température ressentie.

On définit la température de confort T_C comme :

$$T_C = (T_{\text{parois}} + T_{\text{air}})/2$$

Par cette relation, on perçoit aisément que, si $T_{\text{air}} = 20\text{fC}$, que l'on se sent bien dans la pièce (avec comme $T_C = 22\text{fC}$), $T_{\text{parois}} = 24\text{fC}$, ce qui est tout à fait possible, vu l'isolation d'une maison passive.

10.2 L'intérêt d'une maison passive ?

Les maisons passives sont réputées pour couvrir 70% des besoins en Eau Chaude Sanitaire (ECS), et donc en chauffage.

Mais est-ce toujours vrai ? Un exemple...

	kWh consommés [Neufchâteau – passive] 2007	kWh consommés [ma maison - traditionnelle] 2007
Total Consommé (kWh)	1116,90	4089
Tarif	0,189 €/ kWh	
Total	$1116,90 * 0.189$ = 211,09 €	$4089 * 0.189$ = 773 €
Gain	$773 - 211,09 = 561,91$ €	
Economie	$561,91 * 100 / 773 = 72,69\%$	

10.3 Le surcoût lié à la construction d'une maison passive ?

Les maisons passives sont réputées pour être chères, et présenter un surcoût important, par rapport aux maisons traditionnelles.

Mais est-ce vrai ? Le détail...

Poste	Maison passive (réelle)		Maison traditionnelle (simulation)
Endroit (lieu)	Neufchâteau (terrain en pente)	Price (HTVA) [€]	
Etudes, architecte, installation et sécurité chantier		20.630,42	
Terrassements, égouttage, fondations		31.009,41	
Bois de structure, isolation	Bois non traité (indigène)	91.526,05	
Toiture et bardage	Bois canadien. Plafonnage et briques en argile.	39.697,34	
Portes et fenêtres	Laine de chanvre, Pavatex, Fermacell, OSB Sterling.	28.782,38	
Sanitaire, ventilation, chauffe-eau solaire		17.745,01	
Parachèvement intérieur, électricité		25.802,60	
Parachèvement extérieur		5.534,82	
(Surface totale) : 290m ²		Non comprise	Non comprise
Stores à lamelles		3555,00	
Sous-Total		260.728,03	240.342,77
+21% (TVA)		+54.752,89	+63.888,58
Sous-Total (2)		315.480,92	304.231,35
		→ surcoût = 4,5%	
Primes		-5000 €	
Total		310.480,92	304.231,35
		+36€/an (pour l'entretien)	

→ Un surcoût de 6000 € seulement, sans compter l'amortissement de la maison !

10.4 Caractéristiques fixées des maisons passives

Pour des latitudes comprises entre 40° et 60°, une maison est qualifiée de passive quand :

- la **partie principale** de la maison est orientée vers le **Sud** (30%) ;
- il n'y a **pas d'ombres involontaires** provenant des arbres, ou des constructions avoisinantes ;
- elle est pourvue de **fenêtres** uniquement composées de **triple-vitrages**, de type **Low-E** ;
- les **châssis** sont **parfaitement isolés**, pour éviter les ponts thermiques (**$10 < K < 15$**) ;
- les **murs, sols, fenêtres et toiture** sont **isolés** :
 - $U_{\text{toiture}} < 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$;
 - $U_{\text{menuiserie extérieure}} < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (**châssis, portes ext., vitrages**) ;
- la **qualité de l'air** est **garantie** par un système de ventilation mécanique à double flux (**VMC type D avec récupération d'air**), avec **$n_{50} < 0,6/\text{h}$** donc **$30\text{m}^3 \text{ h/personne d'air}$** ;
- **besoin en énergie net (chauffage) $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{.an}$** ;
- **besoin en énergie total $< 42\text{kWh/m}^2\text{.an}$** ;
- performance de l'échangeur d'air $\geq 80 \%$;
- appareils utilisés économiques ;
- les appareils participant à la "passivité" de la maison n'émettent pas plus de 22-25dBa pour ne pas déranger l'habitant.

10.5 L'intérêt des panneaux solaires thermiques ?

Les panneaux solaires thermiques suscitent de nombreux doutes de la part du public, mais qu'en est-il, du point de vue des rendements ?

L'irradiation annuelle peut aller jusqu'à 1000 kWh/m².an.

Pour une installation familiale (un tank de 300 L), un collecteur de 4 à 5m², peut, s'il est bien orienté, suffire à apporter de l'eau chaude en suffisance, entre 40°C et 50°C.

Les capteurs solaires thermiques atteignent aujourd'hui des rendements de 70-80 %.

En général, les installations sont prévues pour couvrir 30% à 70% des besoins annuels en chauffage et *ECS* (Eau Chaude Sanitaire).

10.6 Le futur des panneaux solaires

Comment peut-on envisager le futur des panneaux solaires, plus spécialement pour les panneaux PV ?

(Les panneaux thermiques connaissent encore plus de succès de par leur rendement bien plus important.)

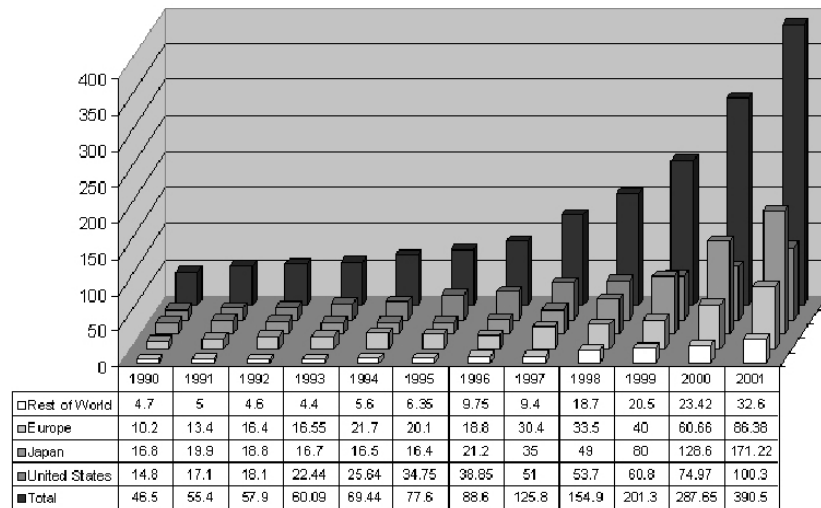


Image 26 : Marché PV mondial (données issues de PV News, éd. Paul Maycock)

← Une demande de plus en plus grande

Marché PV en plein essor : de plus en plus d'acheteurs !

Un prix de plus en plus bas

→
Marché PV en plein essor : de moins en moins cher !

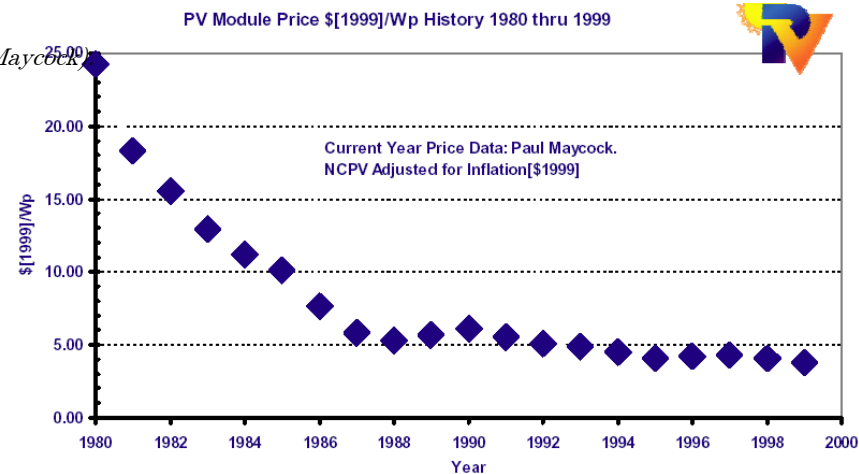


Image 27 : Coût d'un module PV (en 1999), selon les années

Une recherche plus importante

Les scientifiques cherchent sans relâche des solutions pour pallier au rendement faible, et au prix encore trop important des panneaux PV, notamment en utilisant les **semi-conducteurs plastiques**.

10.7 Les quatre classes d'inertie thermique

→ 4 classes d'inertie thermique

Lourd

Le terme «lourd» s'applique aux bâtiments (ou secteurs énergétiques) dont au moins 90% de la surface des éléments de construction horizontaux, inclinés et verticaux sont massifs*.

Mi-lourd

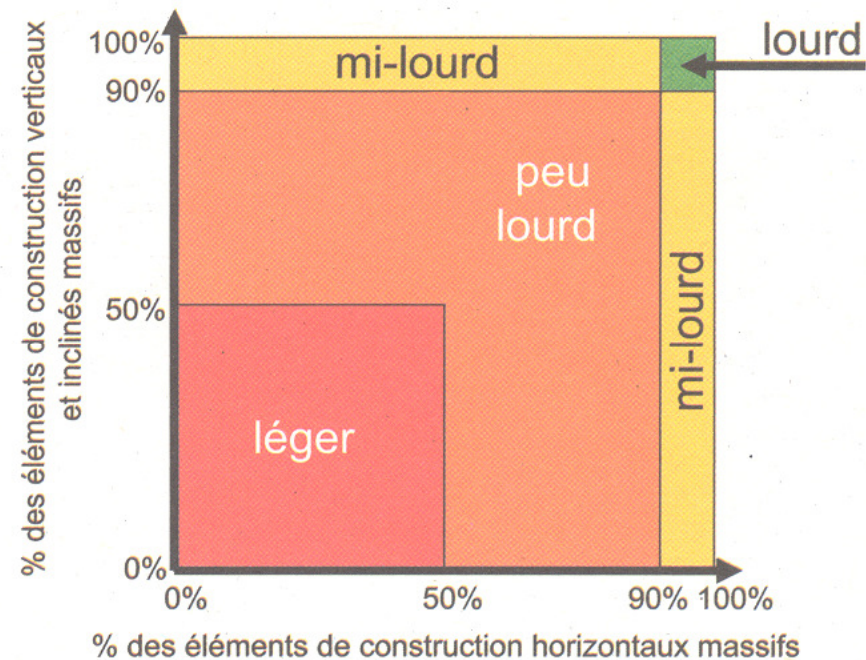
Le terme «mi-lourd» s'applique aux bâtiments (ou secteurs énergétiques) dont au moins 90% des éléments de construction horizontaux sont massifs* sans être protégés par une isolation intérieure, OU aux bâtiments dont au moins 90% des éléments de construction verticaux et inclinés sont massifs*.

Peu lourd

Le terme «peu-lourd» s'applique aux bâtiments (ou secteurs énergétiques) dont 50 à 90% des éléments de construction horizontaux sont massifs* sans être protégés par une isolation intérieure, OU aux bâtiments dont 50 à 90% des éléments de construction verticaux et inclinés sont massifs*.

Léger

Le terme «léger» s'applique à tous les autres bâtiments (ou secteurs énergétiques).



* Les éléments de construction sont considérés comme **massifs** si leur masse est d'au moins 100 kg/m², déterminée en partant de l'intérieur jusqu'à une lame d'air ou une couche de matériau de conductivité thermique inférieure à 0,20 W/mK.

10.8 Lexique

Facteur U : Il représente le taux de chaleur perdue (comme un flux) au travers d'un matériel (1mffl de couche, pour une différence de température de 1fC entre l'intérieur et l'extérieur).

VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée.

ECS : Eau Chaude Sanitaire.

Dopage : Cela consiste en l'introduction de petites impuretés dans un semi-conducteur, de façon à ce qu'il puisse mieux conduire le courant électrique.

Dopage p : C'est quand le dopage rend le semi-conducteur plus pauvre en électrons (plus positif).

Dopage n : C'est quand le dopage rend le semi-conducteur plus riche en électrons (plus négatif).

eV (électroVolt) : C'est l'énergie acquise par un électron dans un champ électrique de 1V ; $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ ergs}$.

Watt-crête (Wc) : C'est la puissance optimale que peut donner la photopile sous un ensoleillement de 1000W/mffl, sous une température de 25fC. Selon le soleil, l'énergie produite par un système de 1 kWc avoisinera 850 kWh/an, pour Tournai, tandis qu'elle atteindra 1200 kWh/an à Nice.

Pour calculer la surface de panneaux PV nécessaire afin de produire l'électricité réclamée pour la consommation, une formule simple peut être appliquée : $1 \text{ kWc} = 850 \text{ kWh/an} = 8\text{m}^2$ de panneaux solaires.

Par exemple, pour une consommation moyenne de 3400 kWh/an = 4 kWc = $4 \cdot 8\text{mffl} = 32\text{mffl}$ de panneaux solaires (ceci est valable pour un ménage de 4 personnes en Belgique, pour une utilisation normale.).

Sachant qu'une installation de 8mffl de panneaux solaires pour produire 1 kWp coûte entre 6500 et 7000 €, 32m² de panneaux solaires, pour produire 4 kWc (= 3400 kWh/an), coûteront de 26000 à 28000 €.

A ce montant, il faut retirer toutes les aides financières.

Certificats verts : Ils sont octroyés par le plan Solwatt (de la région Wallonne), quand de l'énergie « verte » est produite :

7 "Certificats verts" / MWh pour les 5 premiers kWc de l'installation ;

+ 5 "Certificats verts" / MWh pour les 5 kWc suivants ;

+ 4 "Certificats verts" / MWh entre 10 and 250 kWc.