

**Master I: Architecture et Environnement**

*Matière: Sciences Pour L'architecture*

**COURS N° 04**

# **COMPORTEMENT THERMIQUE DES BATIMENTS**

*Par: Melle Hamel Khalissa*

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

SZOKOLAY S. V., *Introduction to Architectural Science. The Basis of Sustainable Design*. Architectural Press, AMSTERDAM, BOSTON, HEIDELBERG, LONDON, NEW YORK, OXFORD, PARIS, SAN DIEGO, SAN FRANCISCO, SINGAPORE, SYDNEY, TOKYO, 2008.

- LIÉBARD A. & DE HERDE A., Ed. *Traité d'Architecture et d'Urbanisme Bioclimatiques*, Obser'ER, Paris, 2005.

- CHATELET Alain, FERNANDEZ Pierre, LAVIGNE Pierre, *Architecture climatique, une contribution au développement durable*, Edisud, Aix-en-Provence, 1998.

COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, *La conception bioclimatique. Des maisons confortables et économes*, Edition terre vivante, Mens, 2006/2007. (cote : AV4/99)

- OLIVA J-P., *L'isolation écologique, conception, matériaux et mise en œuvre*, Edition terre vivante, Mens, 2001.

- GIVONI B., *L'homme, l'architecture et le climat*, Éditions du Moniteur, Paris, 1978.

- CNAM Paris – Ergonomie – Cours B1 – M. Millanvoye - 2002-2003.

- LIEBARD A. & DE HERDE A., *Guide de l'architecture bioclimatique*, Edition Systèmes solaires, Paris, 2002.

- MOREL N. & GNANSOUNOU E., *Energétique du bâtiment*, nouvelle édition du cours précédemment donné par Claude-Alain Roulet et Arnaud Dauriat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, 2008.

- TIXIER N., *Bases physiques*, Cours d'environnement thermique et maîtrise énergétique, Ecole d'architecture de Grenoble. (Disponible sur: [www.grenoble.archi.fr/etudes/cours-en-ligne-detail.php?ref=tixier-ambiances-thermiques](http://www.grenoble.archi.fr/etudes/cours-en-ligne-detail.php?ref=tixier-ambiances-thermiques))

- Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant, Thèse de doctorat - C. FLORY-CELINI, Université Claude Bernard, Le 19 juin 2008

- Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, recommandation pratique ENE09, Février, 2007.

# PLAN DU COURS

**1. Contrôle  
solaire**

**2. La  
ventilation**

**3. Flux de  
chaleur en  
régime  
permanent**

**4. Réponse  
dynamique  
des  
bâtiments**

# Introduction

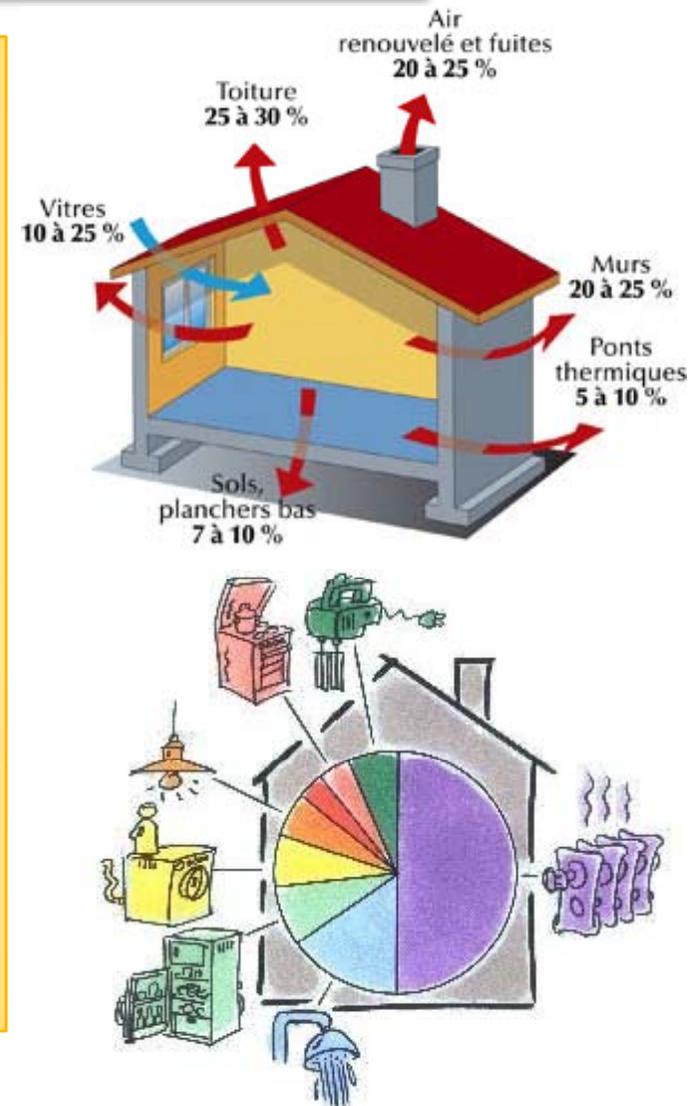


## Introduction

## BILAN THERMIQUE DU BATIMENT : BILAN ÉNERGÉTIQUE

Si l'on désire optimiser le confort tout en minimisant la consommation d'énergie achetée, il est nécessaire de comprendre où passent les flux de chaleur et de connaître leur importance. Or il est difficile et onéreux de mesurer tous les flux de chaleur traversant un bâtiment, et cette mesure est impossible sur un bâtiment en projet. C'est pourquoi le calcul du bilan énergétique du bâtiment est d'une grande utilité.

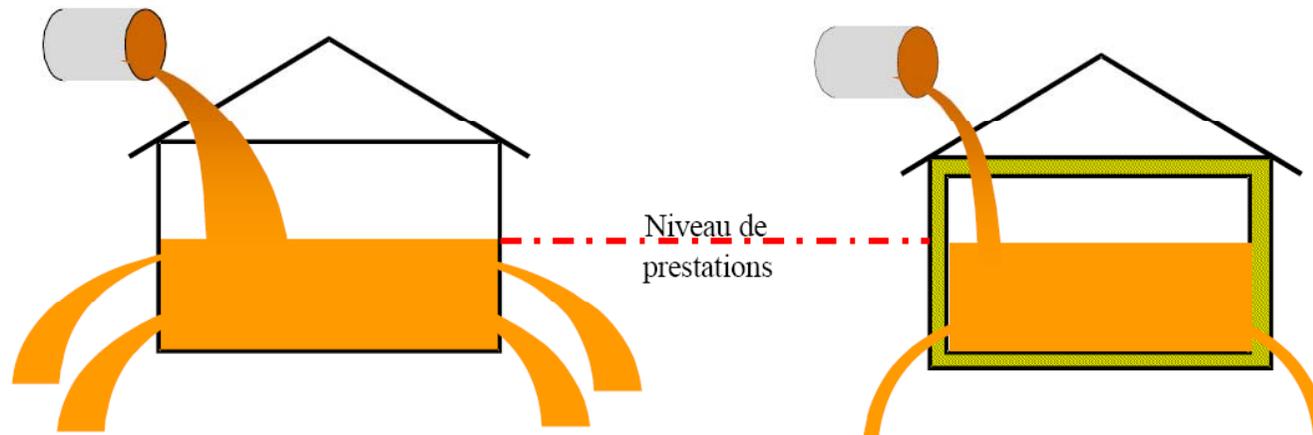
(Morel et Al, 2008)



## Introduction

## BILAN THERMIQUE DU BATIMENT : BILAN ÉNERGÉTIQUE

Le *bilan énergétique du bâtiment* est basé sur le fait que pratiquement toute l'énergie entrant dans un bâtiment finit par être transformée en chaleur. Étant donné qu'en moyenne, l'intérieur du bâtiment est à température constante, toute cette énergie finit par en sortir. Le bâtiment peut être comparé à un tonneau des Danaïdes dans lequel on maintient un niveau d'eau en le remplissant continuellement. Le niveau correspond au confort demandé et le débit d'eau aux flux d'énergie. Une partie de l'énergie est perdue, parce que versée à côté du tonneau.



***Le bâtiment est un tonneau des Danaïdes: on maintient le confort grâce à un flux d'énergie. A gauche, bâtiment mal isolé, à droite, bâtiment correct.***

(Morel et Al, 2008)

## Introduction

## BILAN THERMIQUE DU BATIMENT : BILAN ÉNERGÉTIQUE

Le bilan énergétique est une comptabilité des **entrées et des sorties d'énergie** du bâtiment pendant une période de temps donnée. Ce bilan doit évidemment être équilibré, par conservation de l'énergie. Le bilan énergétique détaille donc toutes les pertes et tous les gains, les sommes des gains et des pertes étant égales si la période de consommation est suffisamment grande (par exemple une année, voire un mois s'il n'existe pas de capacité de stockage particulièrement grande).

Déperditions	Gains
Transmission de chaleur au travers de l'enveloppe	Rayonnement solaire entrant par les fenêtres et autres systèmes de captage passifs
Transmission de chaleur au travers du sol	Chaleur métabolique des habitants
Pertes de chaleur dans l'air vicié	Capteurs solaires
Pertes de chaleur dans les égouts (eau chaude)	Chaleur restituée par la structure
Chaleur accumulée dans la structure	Apport d'énergie: électricité
Déperditions des installations techniques	combustibles
<b>Total des pertes</b>	<b>Total des gains</b>

(Morel et Al, 2008)

**Introduction****BILAN THERMIQUE DU BATIMENT : BILAN ÉNERGÉTIQUE**

Le bâtiment reçoit de l'énergie sous différentes formes:

- 1) Les combustibles: mazout, gaz, charbon, bois,
- 2) L'électricité
- 3) Le rayonnement solaire et le rayonnement thermique de l'extérieur
- 4) La chaleur de l'air externe et la chaleur métabolique des habitants, éventuellement de la chaleur d'une centrale de chauffage, etc.

Toutes ces formes d'énergie sont transformées en d'autres formes utilisables. Or pratiquement toute l'énergie transformée dans le bâtiment finit sa carrière en chaleur, et cette chaleur passe tôt ou tard à l'extérieur de l'enveloppe.

(Morel et Al, 2008)

## Introduction

## BILAN THERMIQUE DU BATIMENT : BILAN ÉNERGÉTIQUE

Enfin on peut dire que le bâtiment est un système thermique, avec des séries d'inputs et d'outputs thermiques (analogie au bilan thermique humain), dont les termes sont les suivants:

$Q_i$ : gain de chaleur interne.

$Q_c$ : gain ou perte de chaleur par conduction.

$Q_s$ : gain thermique solaire.

$Q_v$ : gain ou perte de chaleur par ventilation.

$Q_e$ : perte de chaleur par évaporation.

Donc on peut écrire l'équation suivante:

$$Q_i + Q_c + Q_s + Q_v + Q_e = \Delta S$$

Où  $\Delta S$  est le changement ou la différence de la chaleur stockée dans le bâtiment.

Introduction

BILAN THERMIQUE DU BATIMENT : BILAN ÉNERGÉTIQUE

$$Q_i + Q_c + Q_s + Q_v + Q_e = \Delta S$$

- $\Delta S = 0$  : Il y a un équilibre dans le bilan thermique du bâtiment.
- $\Delta S > 0$  : la température à l'intérieur du bâtiment augmente.
- $\Delta S < 0$  : le bâtiment se refroidit.

# **I. Contrôle solaire**

## 1. Contrôle solaire

Les gains solaires peuvent être des sources de surchauffes et d'éblouissement dans les bâtiments en saison chaude. Les contrôler permet d'améliorer le confort thermique et visuel en réduisant les surchauffes et les risques d'éblouissement, tout en assurant l'intimité.



**Le contrôle solaire** doit être fait en parallèle avec l'éclairage et la ventilation naturels. Les niveaux intérieurs d'éclairage naturel et la ventilation naturelle ne doivent pas être négligés au point que l'éclairage artificiel et la ventilation mécanique soient nécessaires.

La modulation des gains de chaleur solaires entrant dans un bâtiment est permise par :

- 1) **l'orientation et la géométrie des ouvertures,**
- 2) **les dispositifs de protection solaire**
- 3) **le contrôle des propriétés solaires et optiques des éléments opaques et transparents.**

**1. Contrôle solaire**

Le dispositif de protection devrait être dimensionné de façon à exclure le rayonnement solaire en été et de l'admettre en hiver quand il peut améliorer le confort et réduire les charges de chauffage.

1. Contrôle solaire

Les objectifs d'une protection solaire

objectifs principaux

limiter les surchauffes

limiter l'éblouissement

objectifs secondaires

augmenter le pouvoir isolant de la fenêtre

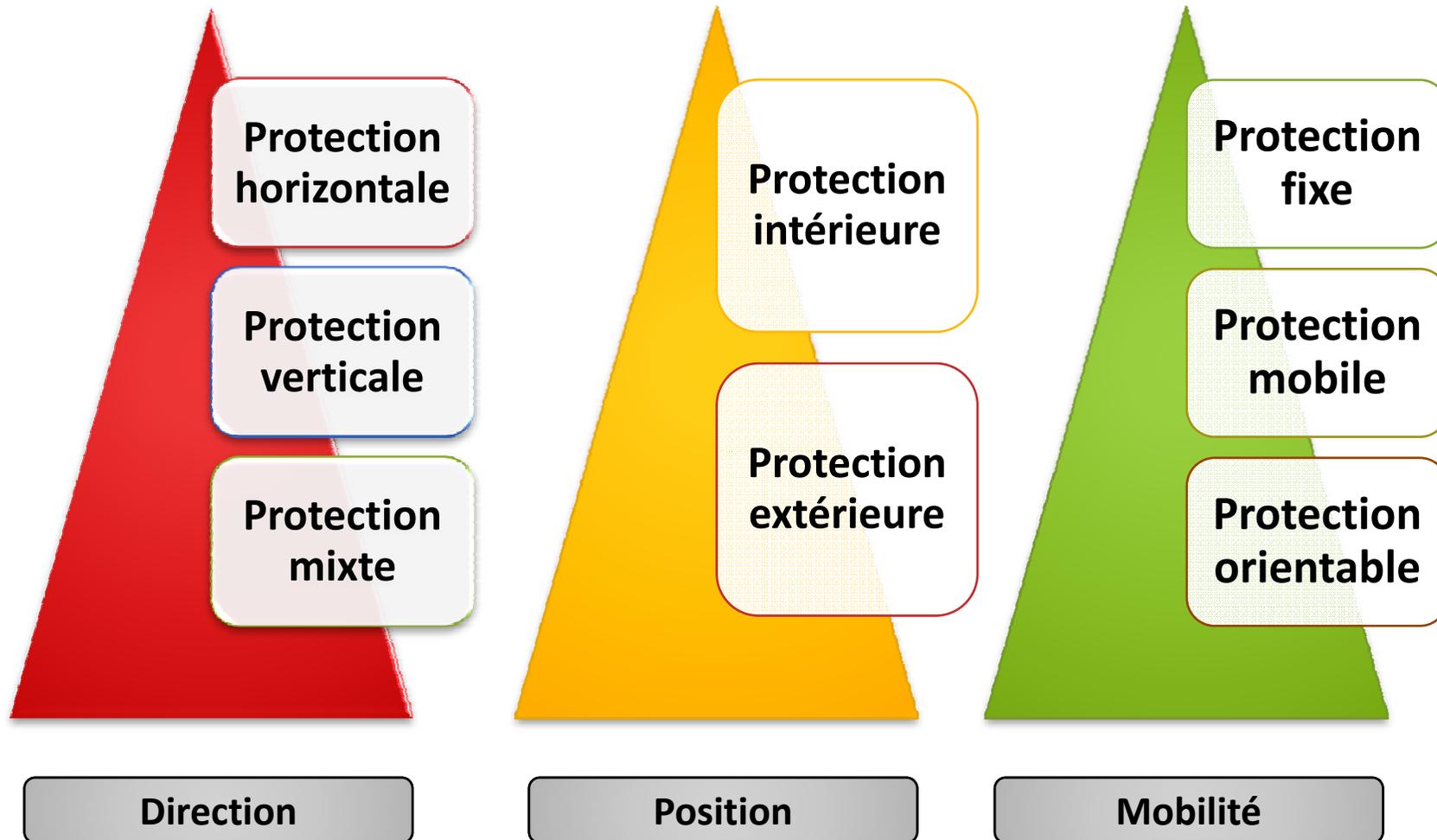
assurer l'intimité des occupants ou occulter un local

décorer la fenêtre



1. Contrôle solaire

Typologies des protections solaires

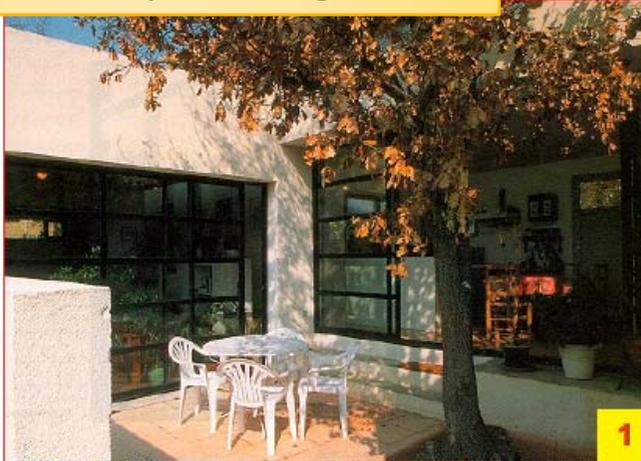


(Hamel Khalissa, 2013)

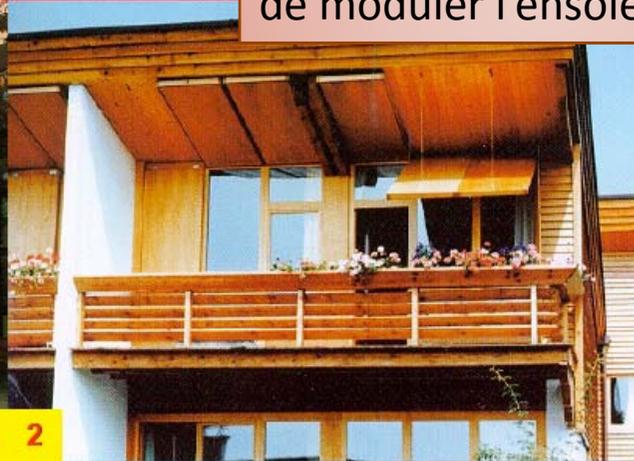
1. Contrôle solaire

Typologies des protections solaires

Protection solaire par la végétation



Volets suspendus permettant de moduler l'ensoleillement



1 2  
4 3

Volets coulissant permettant de tamiser la lumière

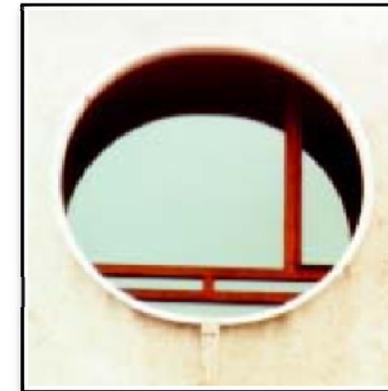
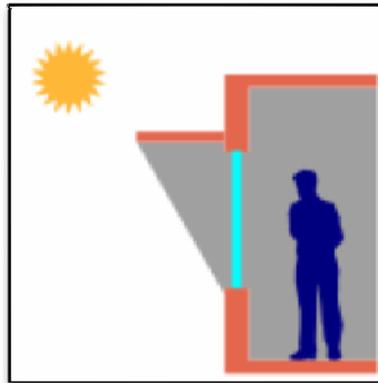
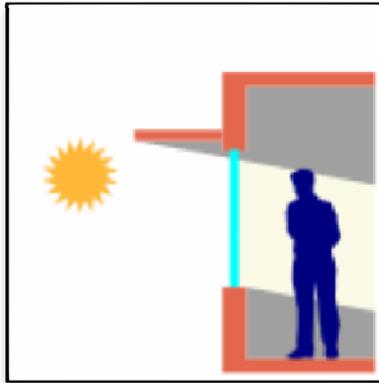


Avant-toit protégeant des rayonnements du soleil



## 1. Contrôle solaire

Les éléments architecturaux (balcons, débords de toiture, décrochements, ...) sont particulièrement efficaces au Sud puisque le soleil est alors haut sur l'horizon.



## 1. Contrôle solaire



Stores verticaux,  
simultanément capteurs  
solaires photovoltaïques.



Certaines protections architecturales tentent de stopper le soleil, tout en privilégiant la réflexion du rayonnement lumineux vers le plafond ("light-shelves").



**Les stores mobiles extérieurs** sont les plus efficaces pour contrôler le flux solaire en fonction du besoin réel. Mais ils sont délicats en terme de maintenance et nécessitent un contrôle automatique pour être relevés en cas de vent. La réduction du champ visuel de l'occupant en est un autre inconvénient.

1. Contrôle solaire

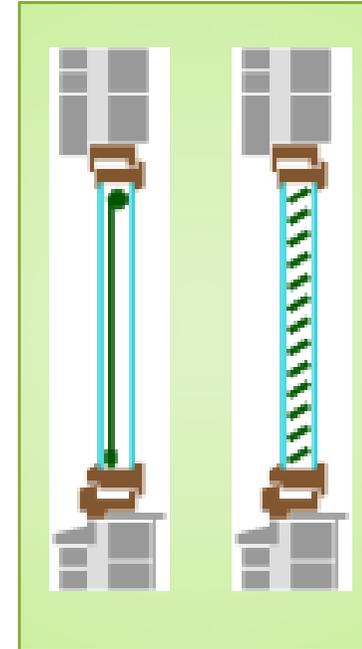
LES STORES



## 1. Contrôle solaire

## Protection insérée dans le double vitrage

La protection, composée d'une toile enroulable ou d'un store vénitien, est intégrée dans l'espace entre les deux vitres d'un double vitrage.

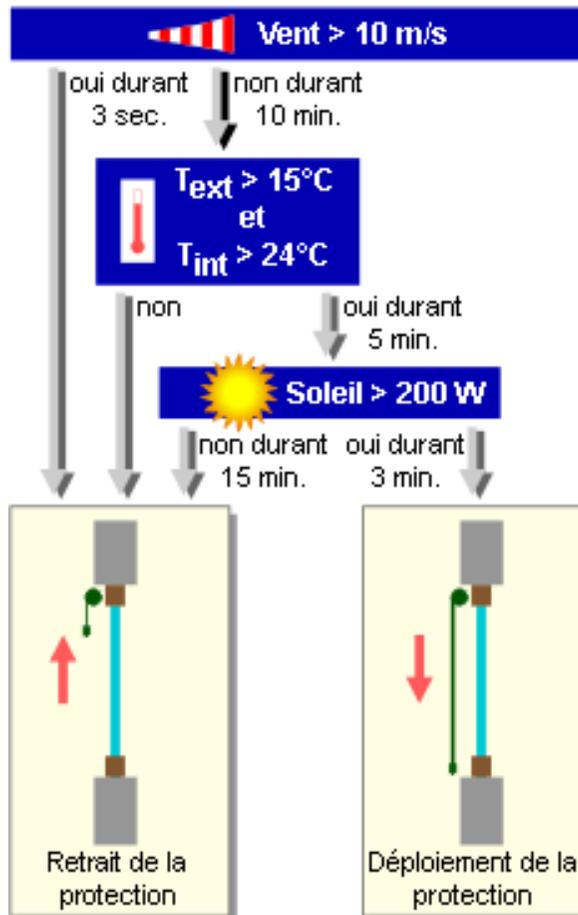


(Energie+, consulté en 2013)

1. Contrôle solaire

Automatiser les protections mobiles

Modes de manipulation: Manuel, motorisé ou automatique.



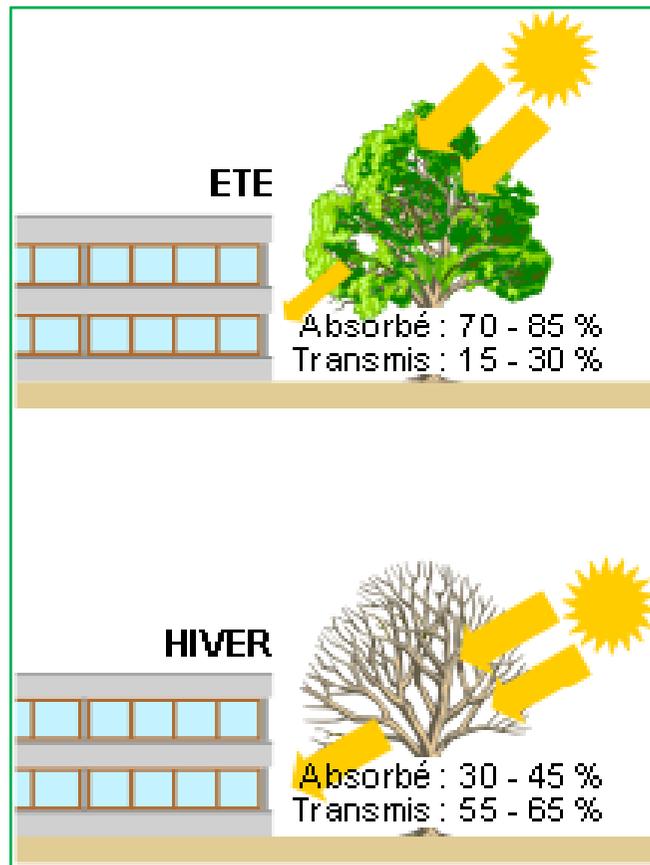
Protection motorisé

L'exemple ci-contre, se rapporte à un bâtiment précis. Les valeurs de consigne qui y sont mentionnées peuvent varier en fonction de la saison et du type d'inertie du bâtiment.

(Energie+, consulté en 2013)

## 1. Contrôle solaire

## Protection végétales



Des végétations plantées à proximité du bâtiment peuvent participer à la gestion des apports solaires.

Les arbres à feuilles caduques ont l'avantage de perdre leurs feuilles et de permettre ainsi l'exposition au soleil en hiver.

Mais il s'agit là d'un appoint, plutôt à vocation domestique, et non d'une solution complète, ne fut-ce que pour les étages supérieurs.

## 1. Contrôle solaire

- Une **protection horizontale** est utilisée pour les façades **sud**,
- Contrairement aux orientations **Est** et **Ouest** ou une **protection verticale** est plus appropriée.

## 1. Contrôle solaire

### Façades sud

Les façades d'orientation proches du sud seront les plus faciles à protéger. Une protection fixe est à même d'éliminer complètement le rayonnement direct estival sans pour autant porter une ombre indésirable en hiver.

### Façades est et ouest

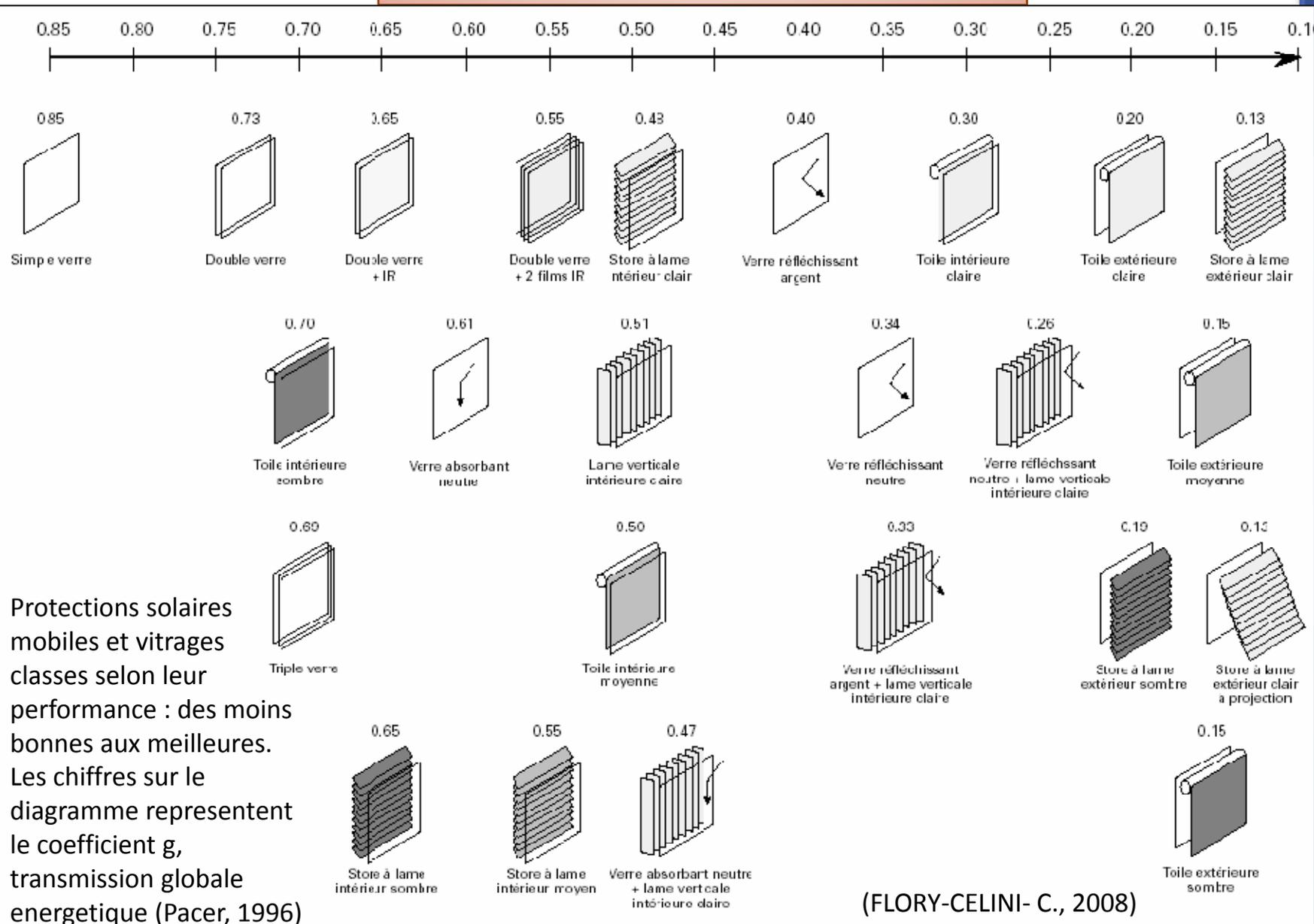
Par contre, aucune protection fixe, horizontale ou verticale, ne permet de résoudre le problème propre aux façades est et ouest. Dans ces situations, une protection mobile sera de loin la plus préférable.

### En général

Une protection optimale, c'est-à-dire adaptée toute l'année aux besoins en chaud ou en froid, est difficile à obtenir avec des protections fixes. En tout état de cause, une étude précise tenant compte des risques de surchauffe et d'éblouissement dus à l'ensoleillement en fonction de la position du soleil et de la saison doit être menée préalablement à tout projet.

(Energie+, consulté en 2013)

1. Contrôle solaire



Protections solaires mobiles et vitrages classes selon leur performance : des moins bonnes aux meilleures. Les chiffres sur le diagramme représentent le coefficient g, transmission globale énergétique (Pacer, 1996)

(FLORY-CELINI- C., 2008)

## 1. Contrôle solaire

### Où placer la protection, à l'intérieur ou à l'extérieur ?

Les **protections solaires externes** sont en général plus **efficaces** que les internes, car elles évitent **l'effet de serre** derrière le vitrage. Si le choix se porte quand même sur la protection interne, pour ce problème, elle doit être non absorbante et réfléchissante.

#### ➤ **Les contraintes mécaniques**

Les protections solaires externes doivent résister aux intempéries et au vandalisme (à hauteur d'homme). Elles résistent mieux aux contraintes mécaniques lorsqu'elles sont fixes (brises soleil par exemple); les protections mobiles demandant une conscientisation du personnel afin de réduire la prise au vent en cas d'inoccupation par exemple.

Les protections solaires internes, quant à elles, doivent aussi résister aux dégradations dans les lieux publics par exemple.

## 1. Contrôle solaire

## Où placer la protection, à l'intérieur ou à l'extérieur ?

➤ **L'esthétique**

Attention que les protections solaires externes peuvent influencer l'esthétique de la façade (brises soleil par exemple). L'influence est moindre pour les internes.

➤ **Le pouvoir isolant**

Seules les protections solaires internes influencent le pouvoir isolant des vitrages (diminution du coefficient de transmission thermique d'un double vitrage de l'ordre de 25 % par exemple).

➤ **La ventilation naturelle des locaux**

Seules les protections internes peuvent représenter un frein à la ventilation naturelle des locaux. On attire toutefois l'attention par rapport au risque de dégradation des stores en présence de courant d'air.

## 1. Contrôle solaire

## Dimensionner une protection fixe

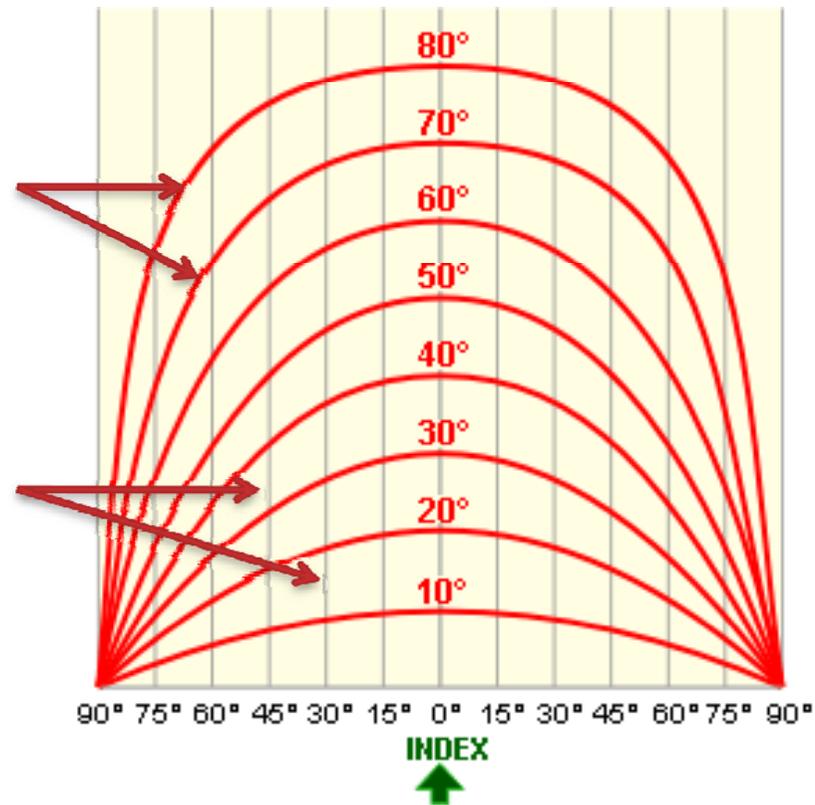
## L'indicateur d'occultation

La figure ci-contre représente l'indicateur d'occultation d'une fenêtre rectangulaire.

➤ **Les courbes en arche** (appelées lignes d'ombres) prenant appui aux deux extrémités de la base de l'indicateur servent à étudier les avancées au-dessus d'une fenêtre.

➤ **Les lignes verticales** portées sur l'indicateur de 15° en 15° servent à étudier les avancées verticales.

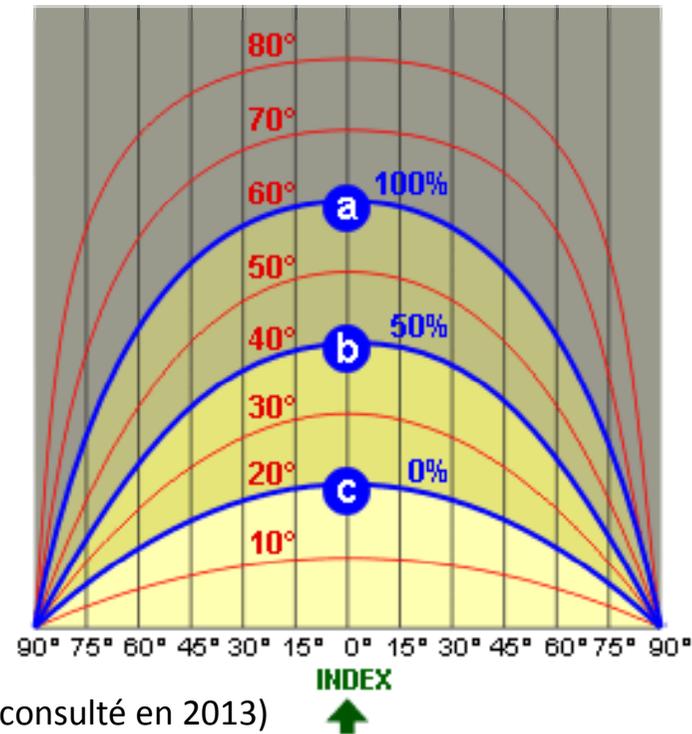
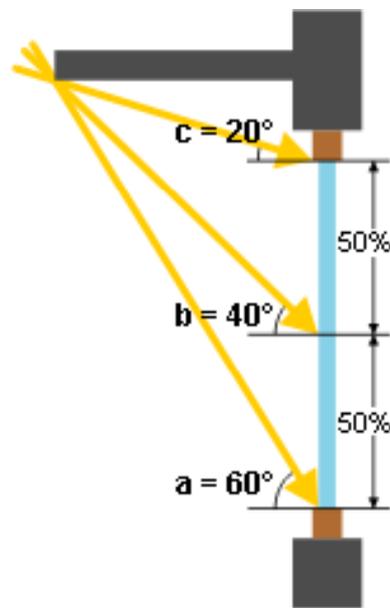
L'indicateur d'occultation est valable quelles que soient les dimensions et l'orientation de la fenêtre.



## 1. Contrôle solaire

### Profil d'ombre d'un écran horizontal

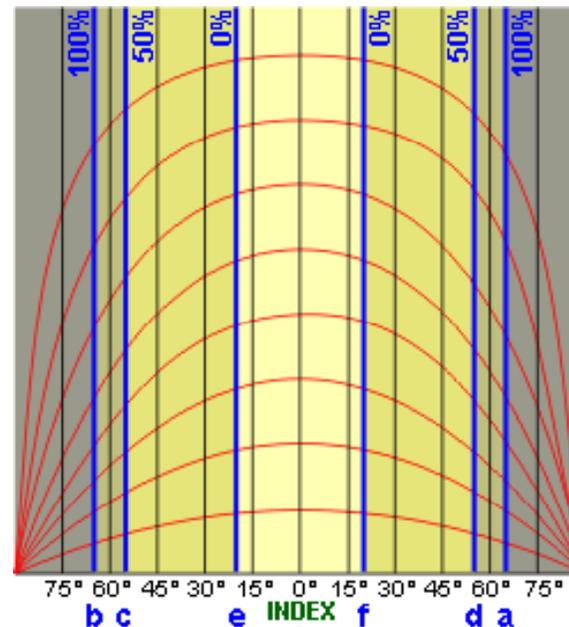
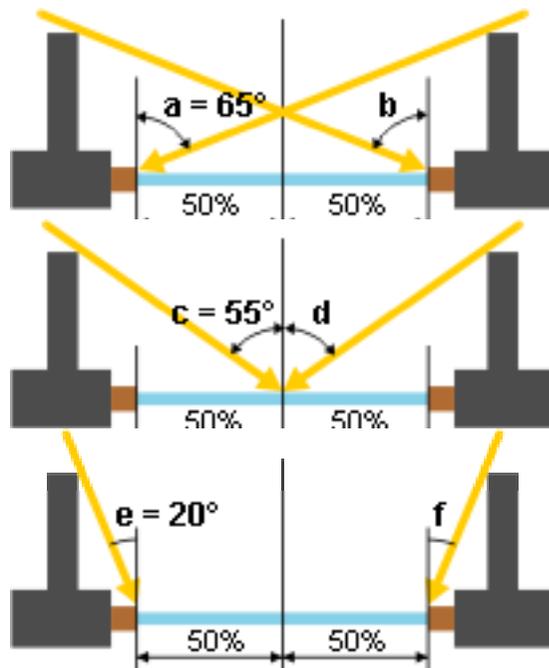
Pour dessiner le profil d'ombre d'une fenêtre équipée d'un écran horizontal, il faut commencer par déterminer les angles  $a$ ,  $b$  et  $c$ . L'angle " $a$ " représente un ombrage de 100 %, l'angle " $b$ " un ombrage de 50 % et l'angle " $c$ " un ombrage nul. Ensuite, il convient de repérer les trois lignes d'ombre relatives aux angles " $a$ ", " $b$ " et " $c$ " sur l'indicateur d'occultation.



## 1. Contrôle solaire

## Profil d'ombre d'un écran vertical

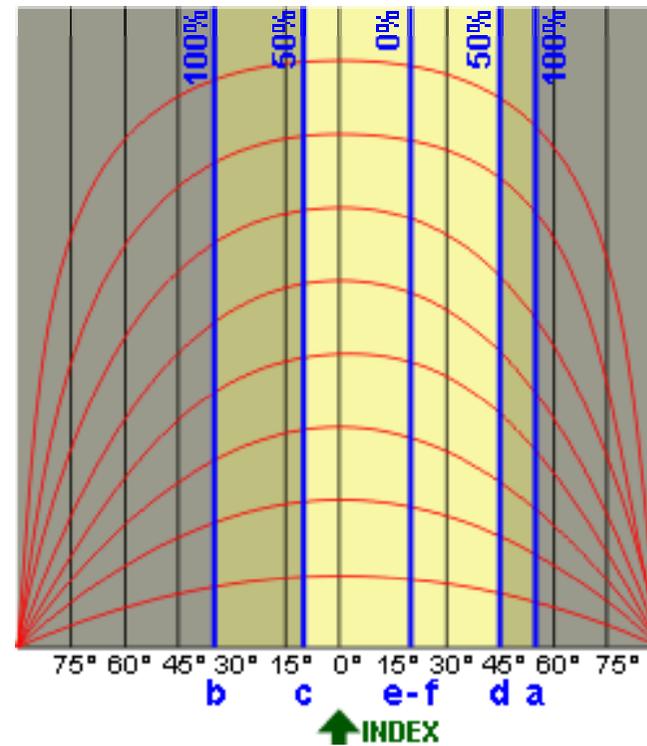
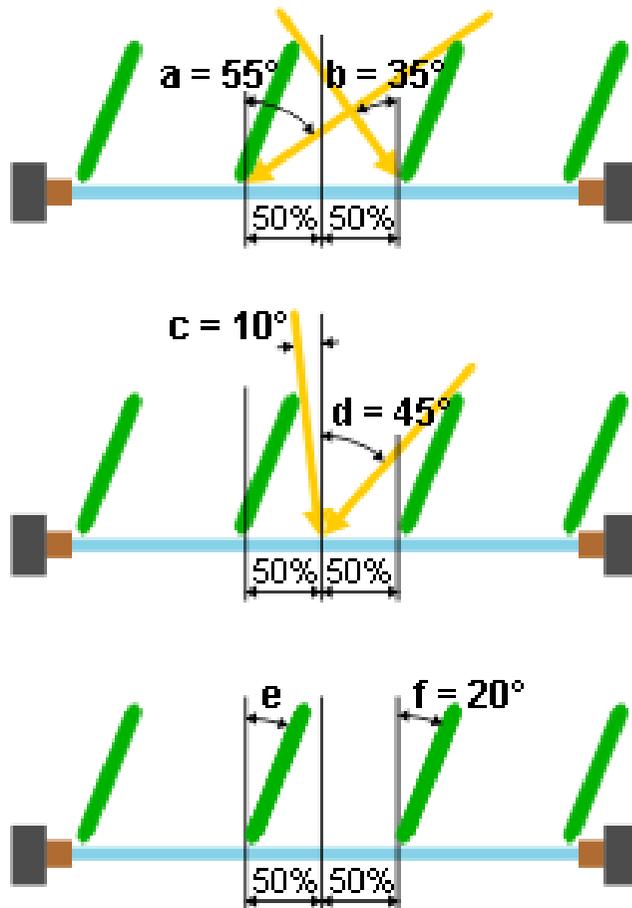
Il existe deux types fondamentaux de pare-soleil vertical : les avancées perpendiculaires à la façade et celles qui lui sont obliques. Premièrement, on détermine les angles "a" et "b". Ceux-ci correspondent à l'occultation complète de la baie. Ensuite, il faut déterminer les angles "c" et "d" qui représentent une occultation à 50 % et enfin les angles "e" et "f" pour une occultation nulle. On trace alors les lignes verticales relatives aux angles "a", "b", "c", "d", "e", "f" à partir de la base de l'indicateur d'ombre.



(Energie+, consulté en 2013) ↑

1. Contrôle solaire

Profil d'ombre d'un écran vertical

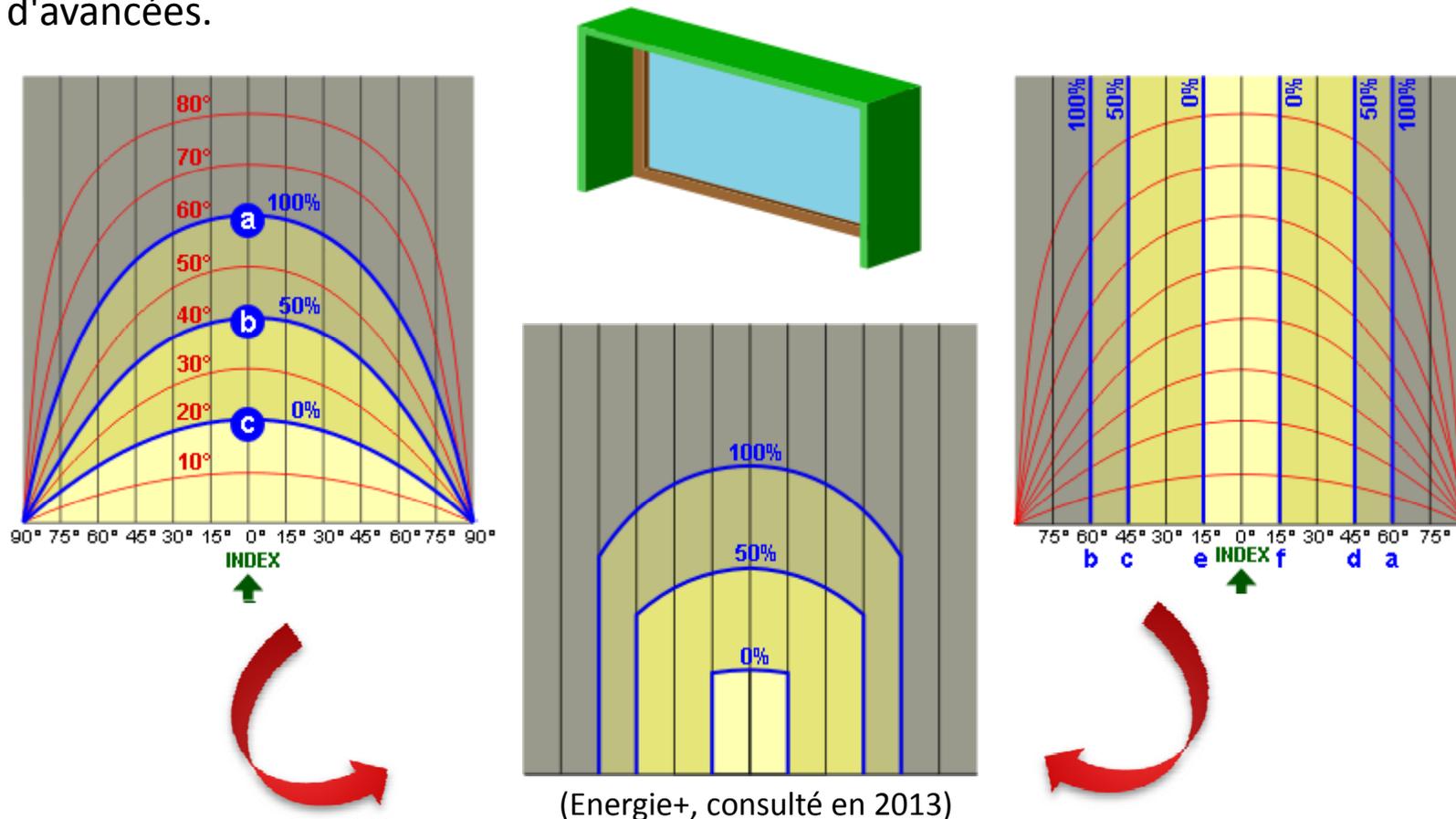


(Energie+, consulté en 2013)

1. Contrôle solaire

Combinaison d'avancées horizontales et verticales

Pour déterminer le profil d'ombre d'un ensemble pare-soleil comportant des parties horizontales et verticales, il suffit de fusionner les profils des deux types d'avancées.



**1. Contrôle solaire****Impact de la protection**

Pour connaître les périodes durant lesquelles la protection sera efficace, le profil d'ombre de celle-ci est comparé au diagramme solaire. Il s'agit de superposer les deux diagrammes qui doivent évidemment être à la même échelle.

L'index du profil d'ombre doit être positionné sur la valeur de l'azimut correspondant à l'orientation de la fenêtre.

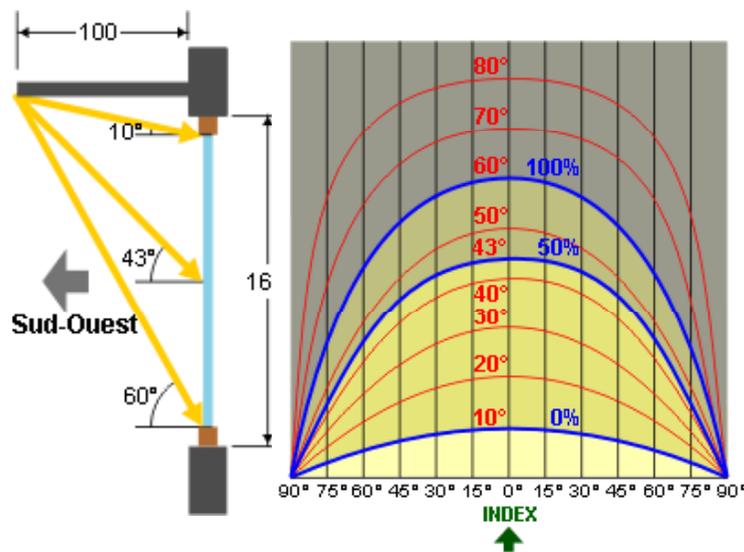
Pour les écrans horizontaux, la fenêtre est entièrement à l'ombre aux heures où le soleil est au-dessus de la ligne "a"; elle est à demi-ombragée pour les points se situant sur la ligne "b" et non protégée lorsque le soleil est sous la ligne "c". De même, pour les écrans verticaux, la fenêtre sera protégée pour les positions du soleil se trouvant au-delà des lignes "a" et "b" et aura une protection partielle respectivement entre les lignes "c" et "e", et "d" et "f".

1. Contrôle solaire

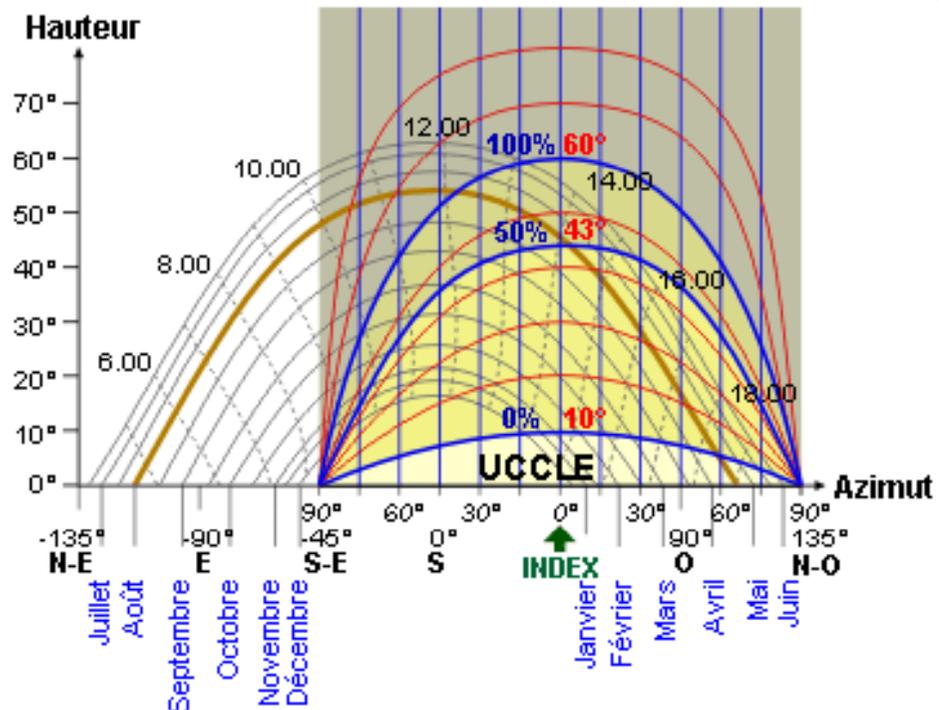
Impact de la protection

Exemples

Une fenêtre orientée au sud-ouest est équipée d'une protection horizontale ( $a = 60^\circ$ ,  $b = 43^\circ$ ,  $c = 10^\circ$ ). Lorsqu'on superpose le diagramme solaire et le profil d'ombre (index sur sud-ouest), on peut constater pour le 15 août, par exemple : la fenêtre est complètement ombrée de 5h à 12h10 (heure universelle), vers 14h la fenêtre est à moitié ombrée, vers 18h30, la protection devient nulle.



(Energie+, consulté en 2013)

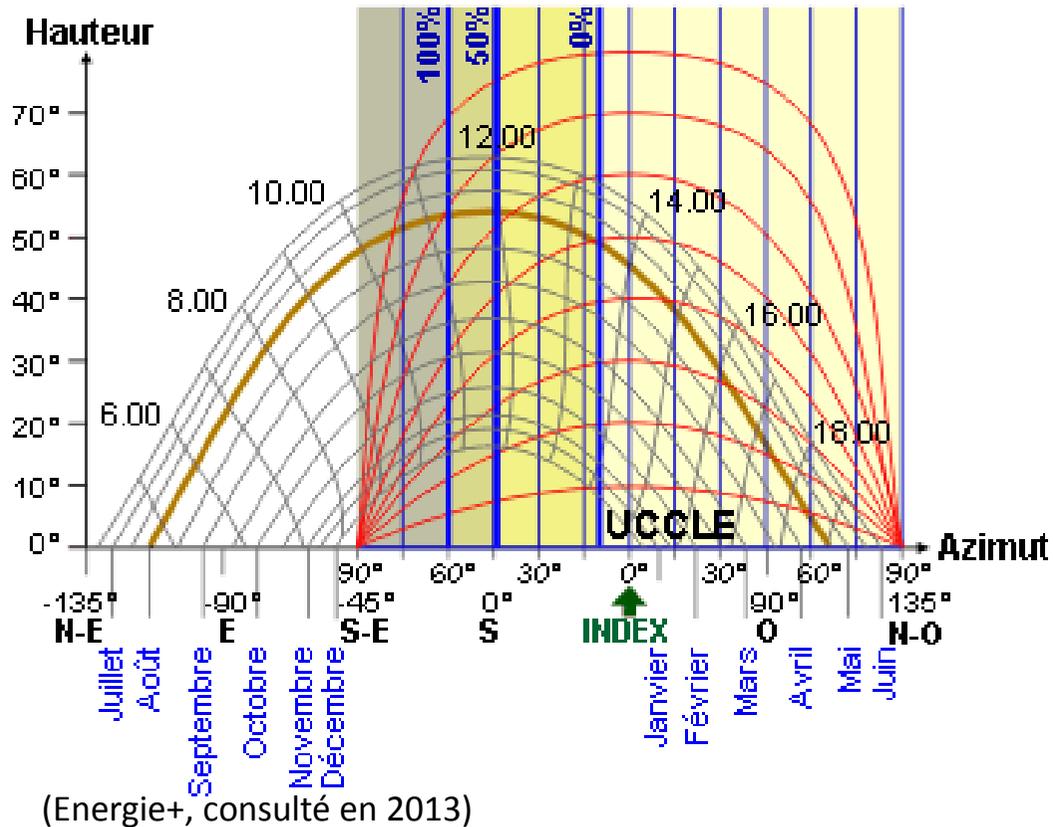
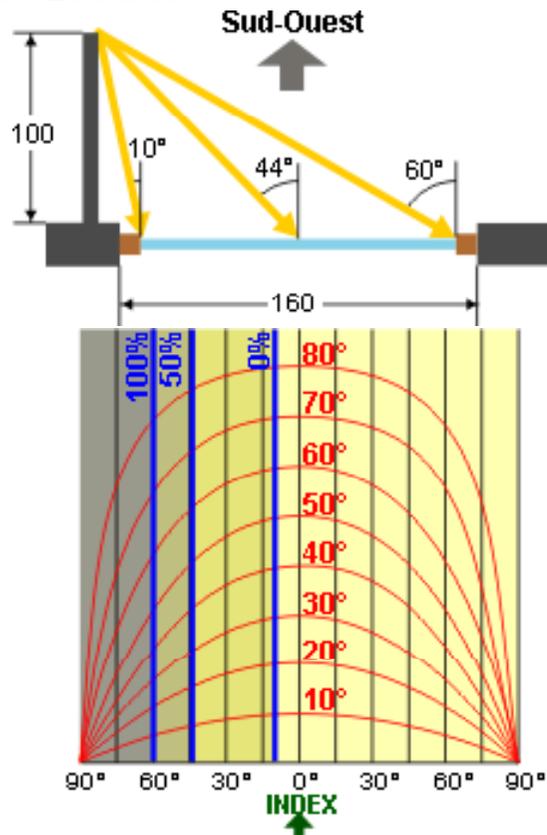


1. Contrôle solaire

Impact de la protection

Exemples

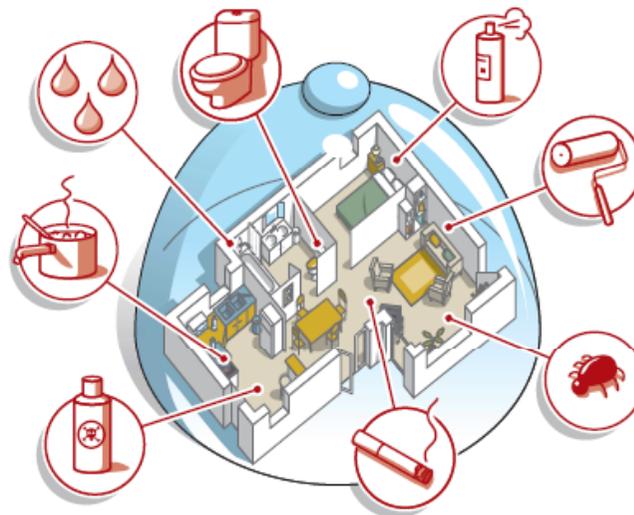
Une fenêtre orientée au sud-ouest est protégée par un écran vertical. La superposition au diagramme solaire et du profil d'ombre montre par exemple pour le 15 août : une protection totale de 5h à 11h15, une protection de 50 % à 12h, une protection nulle dès 13h30.



**1. Contrôle solaire****La méthode de Novell**

Contrairement à d'autres méthodes, la méthode de Novell est développée pour avoir une idée approximative ponctuelle heure par heure, des besoins de protection contre l'ensoleillement et du potentiel des diverses stratégies passives de refroidissement sur la base des données climatiques immédiats disponibles pour une région en étude. Elle est rapide et facile à utiliser et peut être une aide dans la phase schématique de la conception d'un habitat [JNBC, 2002]. Elle est basée seulement sur le paramètre "température" -les températures minimales, maximales et moyennes. A partir de ces données, les températures journalières sont calculées environ toutes les deux heures.

## 2. La ventilation



## 2. La ventilation

Le terme «ventilation» est utilisé pour désigner trois processus totalement différents et il répond à trois objectifs différents

1. Apport d'air frais, de supprimer les odeurs, le CO<sub>2</sub> et d'autres polluants,
2. De dissiper l'exès de chaleur interne quand  $T_e < T_i$ ,
3. De favoriser la dissipation de chaleur à partir de la peau, c'est à dire le refroidissement physiologique.

Les deux premiers objectifs dépendent des taux d'échange d'air: **débit volumique du flux d'air**, (VR en m<sup>3</sup>/s ou L / s),  
tandis que pour le dernier, c'est **la vitesse de l'air à la surface du corps**, qui est critique (en m / s).

## 2. La ventilation

Les ventilations délibérée et accidentelle causée par les infiltrations d'air provoquent un flux de chaleur, par exemple quand dans un bâtiment chauffé l'air chaud est remplacé par l'air froid de l'extérieur.

Si le débit de ventilation (débit volumique,  $v_r$ ) est connu, alors la conductance d'aération de l'immeuble peut être trouvé en tant que(ou le débit du flux de chaleur de la ventilation spécifique) :

$$q_v = 1200 \times v_r$$

où 1200 J/m<sup>3</sup>K est la capacité calorifique volumique de l'air humide.

## 2. La ventilation

Souvent seulement le nombre de changements d'air par heure (N) est connu (c'est-à-dire le nombre de fois que le volume d'air totale du bâtiment est renouvelé dans une heure), alors à partir de cela le taux de ventilation peut être trouvé:

$$v_r = N \times V / 3600 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

où V est le volume de la pièce ou du bâtiment (m<sup>3</sup>).

Alors:

$$q_v = 0.33 \times N \times V$$

Où 0.33 is 1200/3600.

**2. La ventilation**

L'infiltration accidentelle de l'air dans une maison mal construite peut atteindre  $N = 3$  fois de changements d'air par heure, mais avec des détails et une construction soignée elle peut être réduite à  $N = 0,5$ .

Les exigences de ventilation indiquent habituellement les valeurs suivantes:

- $N = 1$  pour pièces habitables,
- $N = 10$  pour une cuisine (lors de l'utilisation),
- $N = 20$  pour certaines constructions industrielles ou cuisines de restaurants.

## 2. La ventilation

Le débit du flux de la chaleur de ventilation lui-même (qui peut servir l'objectif 2) sera:

$$Q_v = q_v \times \Delta T$$

Où:  $\Delta T = T_e - T_i$

Dans la pratique  $q_c$  et  $q_v$  sont souvent additionnés pour obtenir la conductance totale de la construction (ou le coefficient de perte de chaleur dans certaines sources, un terme qui suppose un état de perte de chaleur, ou de gain de chaleur aussi).

$q_c$ : débit du flux de chaleur par conduction à travers toutes l'enveloppe du bâtiment.

puis multiplié par  $\Delta T$  pour obtenir le débit total de chaleur:

$$Q = q \times \Delta T$$

(Szokolay, 2008)

## 2. La ventilation

Pour le troisième objectif qui est , le refroidissement physiologique, l'effet de refroidissement apparent dû au mouvement d'air ( $dT$ ) peut être estimée comme:

$$dT = 6 * v_e - 1.6 * v_e^2$$

où la vitesse effective de l'air est :

$$v_e = v - 0,2$$

et  $v$ : est la vitesse de l'air à la surface du corps (m/s). L'expression est valable jusqu'à 2 m / s.

## **3. Flux de chaleur en régime permanent**

## 3. Flux de chaleur en régime permanent

## 3.2. L'ISOLATION

L'isolation thermique vise à empêcher les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid.

L'isolation thermique du bâtiment améliore le confort, réduit les dépenses en énergie, diminue la production de CO<sub>2</sub> et donc la pollution de l'air. A l'inverse, un défaut d'isolation peut engendrer des plaintes très diverses : une sensation de froid, une sensation de chaud, des problèmes d'humidité...

Lorsque l'installation de chauffage n'est pas en cause, une sensation de froid peut par exemple provenir d'une température de surface des parois trop basse. Cette impression est due au rayonnement thermique des occupants vers les parois froides non ou mal isolées.

De plus, une température de surface intérieure froide peut entraîner une **condensation de surface** récurrente et être à l'origine de la prolifération de champignons sur certains revêtements intérieurs.

Une sensation de chaud peut également provenir, en été, d'un manque d'isolation de la façade.

Dans tous ces cas, on vérifiera le niveau d'isolation des parois.

**3. Flux de chaleur en régime permanent**

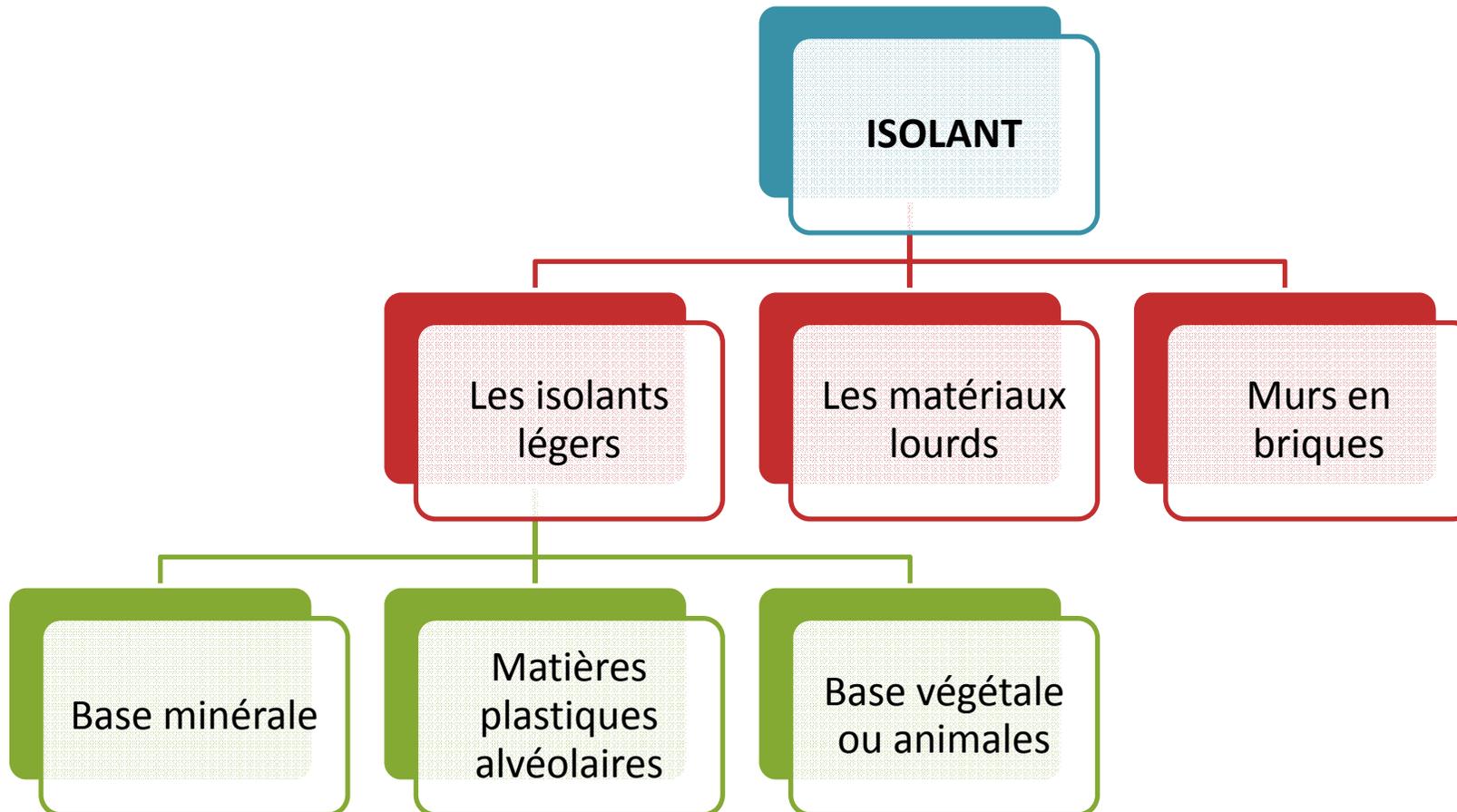
**3.2. L'ISOLATION**

**Ce qui isole, n'est pas le matériaux, mais c'est principalement l'air qu'il contient. L'air a un pouvoir isolant à condition d'être piégé dans les fibres ou sous la forme de micro-bulles.**

**Exemple : le polystyrène extrudé est un bon isolant car les bulles d'air sont emprisonnées, alors que le polystyrène expansé, est un moins bon isolant, car les bulles d'air ne sont pas hermétiques.**

3. Flux de chaleur en régime permanent

3.2. L'ISOLATION



(Schéma par l'auteur d'après TIXIER N., sans date)

3. Flux de chaleur en régime permanent

3.2. L'ISOLATION

Isolants thermiques

Inorganiques, minéraux

Organiques

en matériaux naturels

en matériaux synthétiques

en matériaux naturels

en matériaux synthétiques

- Perlite
- Perlite expansée
- Pierre ponce naturelle
- Argile expansée

- Verre cellulaire
- Laine de verre
- Laine de roche

- Coton
- Lin
- Granulat de céréale
- Chanvre
- Fibre de bois
- Panneau de laine de bois
- Fibre de coco
- Laine de mouton
- Roseau
- Paille
- Fibre de cellulose

- Mousse en résine d'urée-formaldéhyde
- Mousse phénolique
- Fibres de polyester
- Polystyrène expansé (EPS)
- Polystyrène extrudé (XPS)
- Polyuréthane rigide (PUR)



Descriptif des produits isolants

**3. Flux de chaleur en régime permanent****3.2. L'ISOLATION**

**Caractéristiques rentrant en compte pour le choix d'un matériaux :**

- **Thermique (conduction, isolation, hygrométrie, inertie,...)**
- **Construction (statique, résistance des matériaux,...)**
- **Aspect (couleur, surface, etc.)**
- **Acoustique**
- **Transparence ou l'opacité**
- **Facilité de pose**
- **Facilité de transport**
- **Disponibilité**
- **Résistance aux feu**
- **Critères écologiques (recyclable, écobilans de fabrication...)**
- **Toxicité**
- **Sécurité**
- **Prix**
- **...**

**Par exemple, la laine de verre est un matériaux performant pour l'isolation thermique, mais peu performant pour l'isolation acoustique.**

## 3. Flux de chaleur en régime permanent

## 3.3. LES PONTS THERMIQUES

Les ponts thermiques sont des **points faibles** dans l'**isolation thermique** de l'enveloppe du bâtiment.

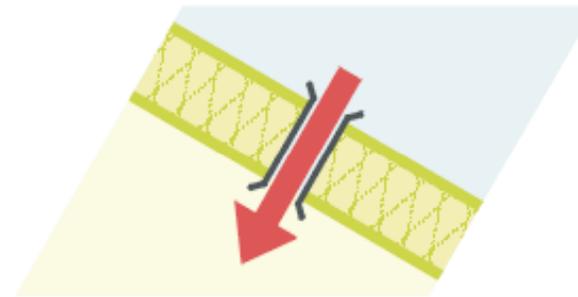
A ces endroits, en hiver, la **température** superficielle de l'enveloppe est **plus basse** que celle des surfaces environnantes.

Ils découlent, en général de :

- 1) Contraintes constructives
- 2) Contraintes géométriques

Ils vont provoquer :

- 1) Des dépenses énergétiques
- 2) Un inconfort sur le plan de l'hygiène
- 3) La détérioration des matériaux



## 3. Flux de chaleur en régime permanent

## 3.3. LES PONTS THERMIQUES

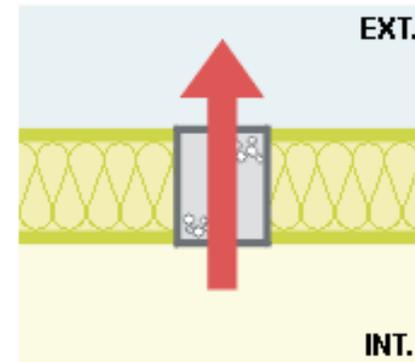
Pont thermique dû à des contraintes constructives

Les matériaux isolants ont généralement des capacités limitées en matière de résistance aux contraintes mécaniques.

Le principe de la **continuité de la couche isolante** n'a pas été respecté, ou n'a pu l'être dans certains cas, à certains endroits.

Il s'agit par exemple d'**ancrages** ou d'**appuis** entre des éléments situés de part et d'autre de la **couche isolante** de la paroi.

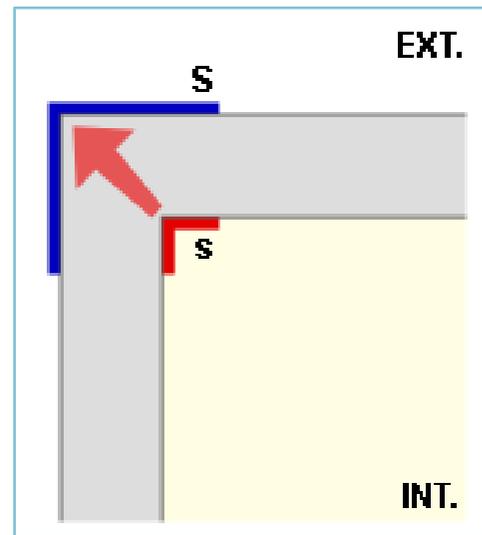
L'isolant étant localement absent, le flux de chaleur est sensiblement plus dense dans ces parties de la paroi.



(Source: Energie+, 2012)

## 3. Flux de chaleur en régime permanent

## 3.3. LES PONTS THERMIQUES

Pont thermique dû à des contraintes géométriques

Ce type de pont thermique est dû à la forme de l'enveloppe à un endroit.

A cet endroit, la surface de la face extérieure est beaucoup plus grande que la surface de la face intérieure.

La surface chauffée (intérieure) est plus petite que la surface de refroidissement (extérieure).

(Source: Energie+, 2012)

### 3. Flux de chaleur en régime permanent

#### 3.3. LES PONTS THERMIQUES

##### CONSEQUENCES

###### 1. Dépenses énergétiques provoquées par les ponts thermiques

Dans le cas d'un bâtiment bien isolé, les ponts thermiques peuvent entraîner des déperditions de chaleur proportionnellement très importantes par rapport aux déperditions totales.

En outre, si on ne tient pas compte des déperditions dues aux ponts thermiques, l'installation de chauffage peut être sous-dimensionnée. C'est surtout le cas lorsque le bâtiment est très bien isolé et lorsque les installations de chauffage sont dimensionnées de façon optimale.

###### 1. Inconfort sur le plan de l'hygiène provoqué par les ponts thermiques

Les ponts thermiques provoquent une condensation en surface lorsque la température de celle-ci descend en dessous du point de rosée de l'air ambiant.

L'humidité de la paroi permet le développement de moisissures.

Celles-ci, outre leur aspect désagréable, dégagent des substances pouvant être odorantes et pouvant provoquer chez certaines personnes des phénomènes d'allergie.

Du point de vue hygiénique et confort les moisissures doivent donc être évitées.

(Source: Energie+, 2012)

### 3. Flux de chaleur en régime permanent

#### 3.3. LES PONTS THERMIQUES

##### CONSEQUENCES

#### 3. Détérioration des matériaux provoquée par les ponts thermiques

Lorsque les quantités d'eau condensées sont importantes et ne peuvent être éliminées quotidiennement, elles pénètrent les revêtements et papiers peints, et provoquent leur détérioration.

Les carrelages, les revêtements plastiques, les peintures synthétiques à l'huile résistent mieux aux détériorations.

Lorsque la condensation se fait dans le bois, celui-ci va pourrir plus ou moins vite en fonction de son essence et du traitement de protection dont il a bénéficié.

Si la condensation est importante, toute l'épaisseur de la paroi peut être fortement humide. La structure porteuse de la construction elle-même se dégrade sous l'effet de l'humidité permanente et éventuellement aussi du gel des matériaux.

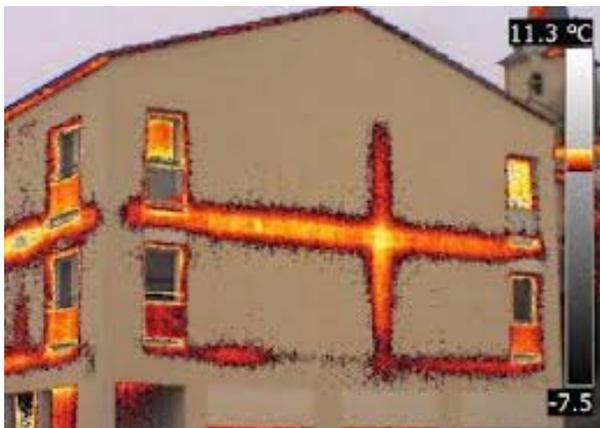
(Source: Energie+, 2012)

## 2. La ventilation

## 3.3. LES PONTS THERMIQUES

## Détection des ponts thermiques

- la thermographie : photographie infrarouge du bâtiment en période de chauffe
- une mesure des températures de parois avec un thermomètre de surface.

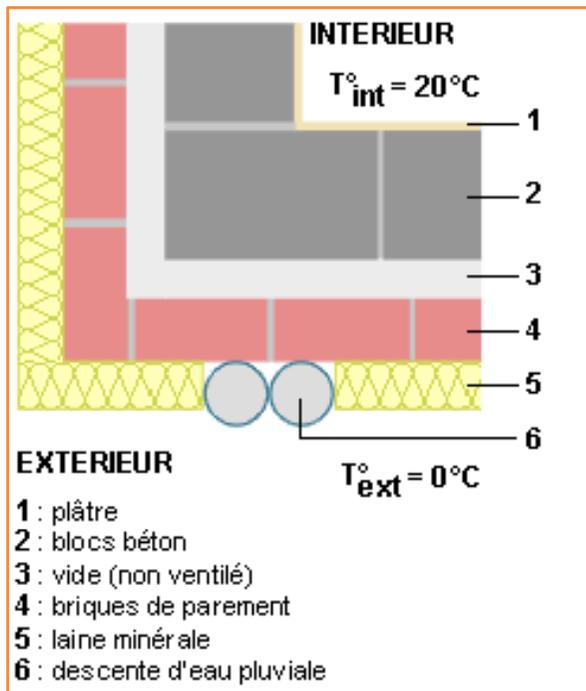


## 3. Flux de chaleur en régime permanent

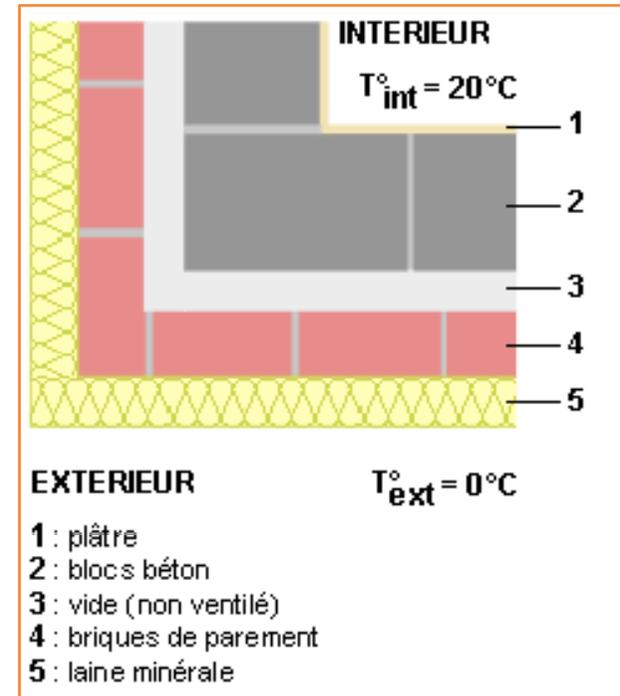
## 3.3. LES PONTS THERMIQUES

Analyse des effets des ponts thermiques sur les flux de chaleur au travers d'une paroi

Situation d'une Isolation par l'extérieur d'un mur avec descente d'eau pluviale



L'architecte refuse de déplacer la descente d'eau pluviale; l'isolation extérieure y est interrompue.



La descente d'eaux pluviales est déplacée, l'isolation extérieure est continue.

(Source: Energie+, 2012)

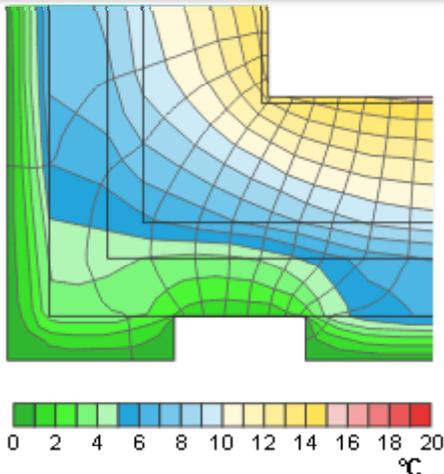
## 3. Flux de chaleur en régime permanent

## 3.3. LES PONTS THERMIQUES

Analyse des effets des ponts thermiques sur les flux de chaleur au travers d'une paroi

Dessin des isothermes et des ligne de flux de chaleur

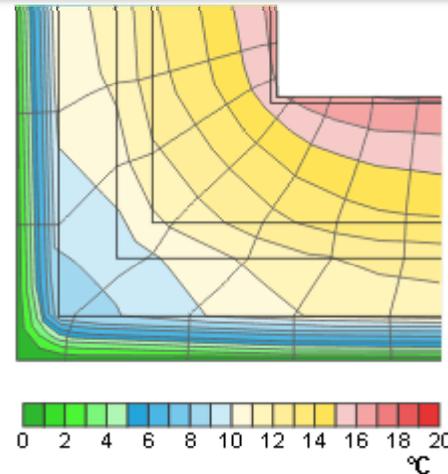
SITUATION N° 1



Les températures de paroi intérieures sont d'environ 15°C.

*La chaleur s'échappe de manière importante par la discontinuité dans l'isolant.*

SITUATION N° 2



Les températures de paroi intérieures sont plus élevées : environ 17°C.

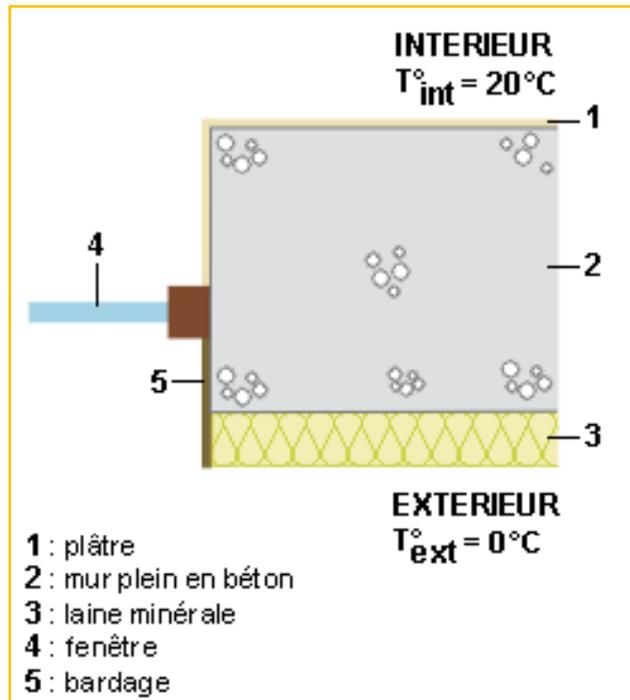
*La chaleur s'échappe de manière relativement identique par toutes les parties du mur.*

## 3. Flux de chaleur en régime permanent

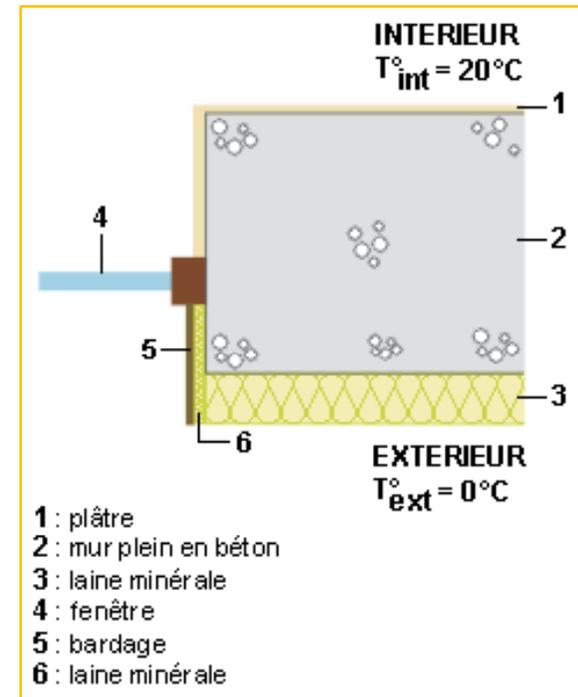
## 3.3. LES PONTS THERMIQUES

Analyse des effets des ponts thermiques sur les flux de chaleur au travers d'une paroi

Situation d'une Isolation par l'extérieur - Pourtour de baie vitrée



L'isolant n'est pas prolongé à l'intérieur de la baie.



L'isolant est prolongé à l'intérieur de la baie.

(Source: Energie+, 2012)

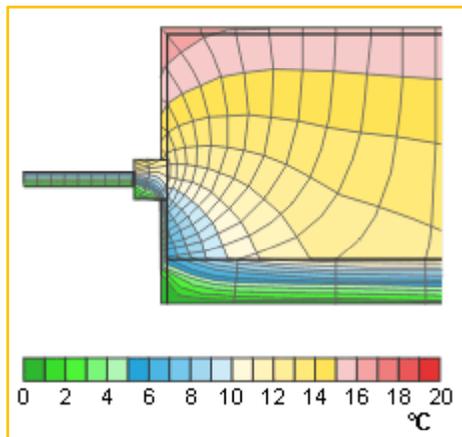
## 3. Flux de chaleur en régime permanent

## 3.3. LES PONTS THERMIQUES

Analyse des effets des ponts thermiques sur les flux de chaleur au travers d'une paroi

Dessin des isothermes et des ligne de flux de chaleur

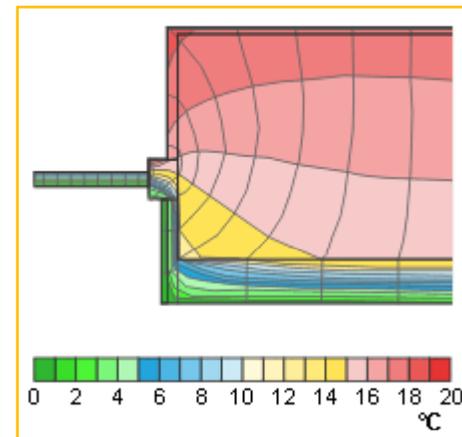
## SITUATION N° 1



Les températures de paroi intérieures sont d'environ 16°C.

*La chaleur s'échappe de manière importante par le retour de baie non isolé.*

## SITUATION N° 2

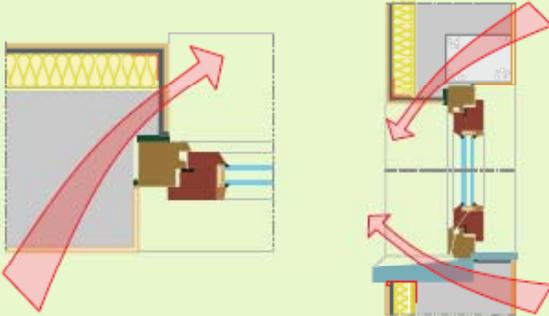
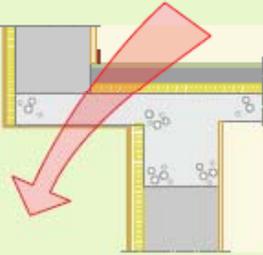
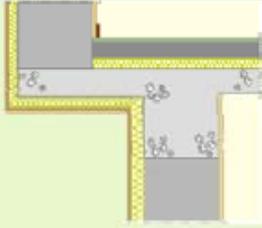
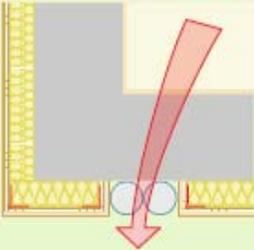
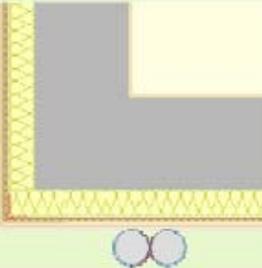


Les températures de paroi intérieures sont plus élevées : environ 18°C.

*La chaleur s'échappe de manière relativement identique par toutes les parties du mur.*

## 3. Flux de chaleur en régime permanent

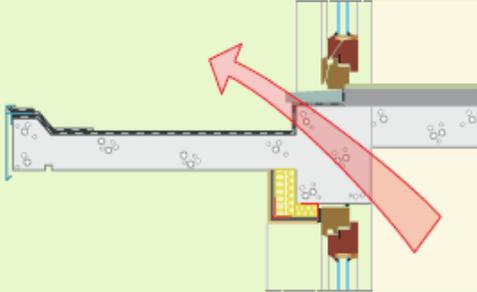
## 3.3. LES PONTS THERMIQUES: SOLUTIONS

	Problème	Pistes de solutions
Châssis		
Débordements		
Passage de gouttière		

(Source: IBGE, 2007)

## 3. Flux de chaleur en régime permanent

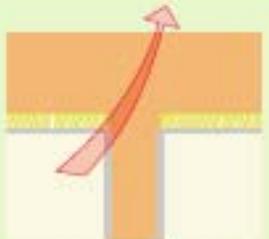
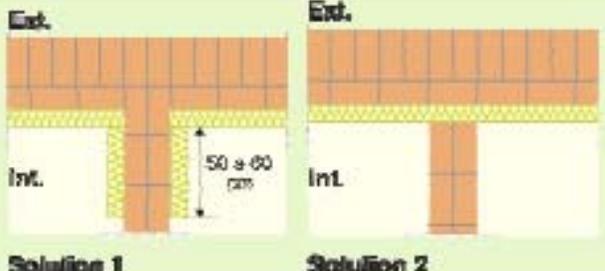
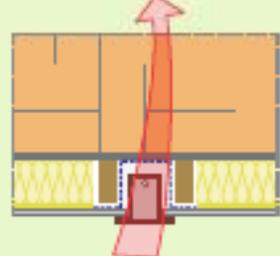
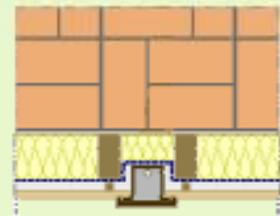
## 3.3. LES PONTS THERMIQUES: SOLUTIONS

	Problème	Pistes de solutions
Terrasses		<p>Pas de solution simple. Une telle configuration doit, en construction, être résolue par l'utilisation de pièces spécifiques permettant le passage des seules armatures au travers d'une pièce isolante résistante à la compression.</p>

(Source: IBGE, 2007)

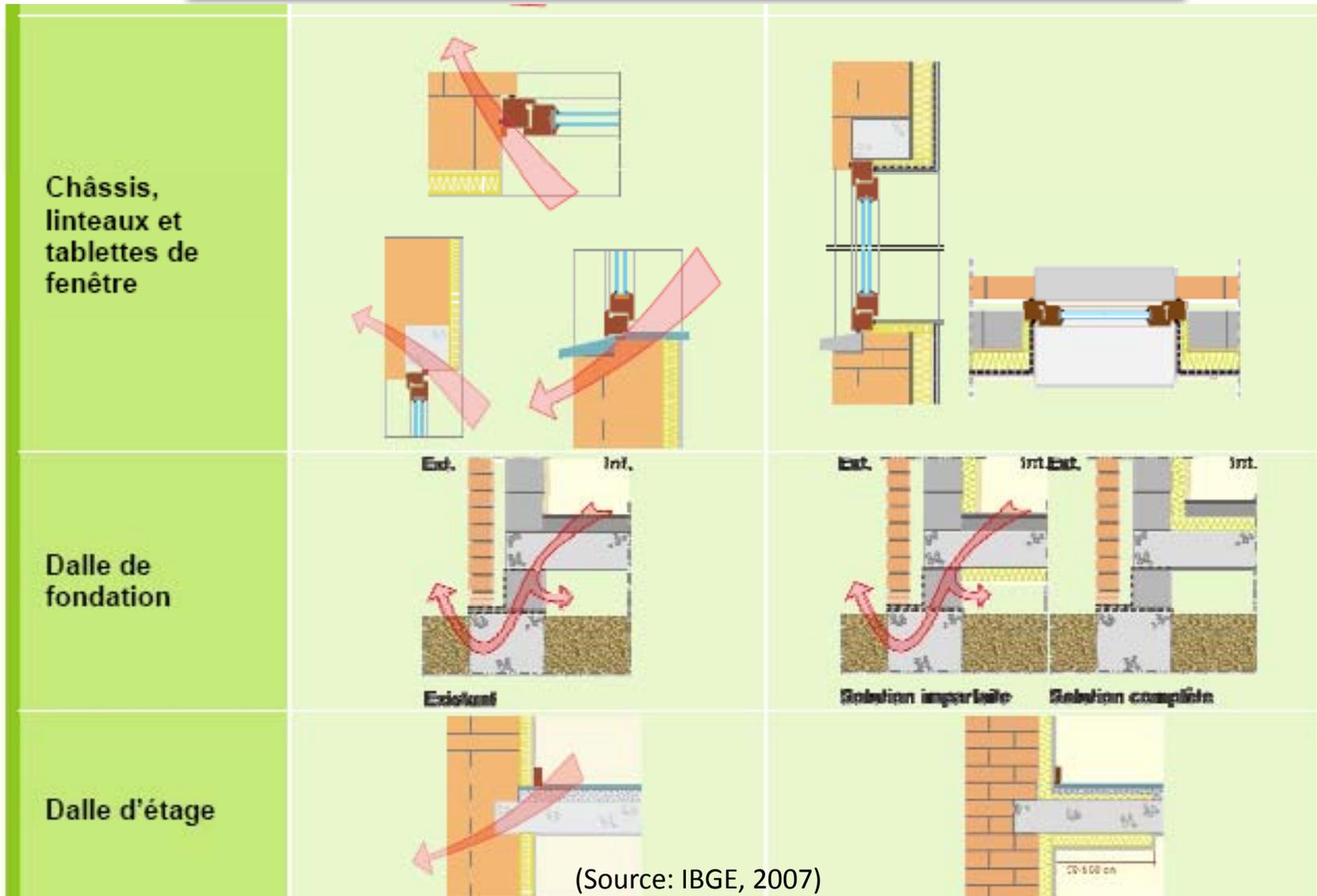
## 3. Flux de chaleur en régime permanent

## 3.3. LES PONTS THERMIQUES: SOLUTIONS

	Problème	Pistes de solutions
Mur de refend		 Ext. Int. 50 à 60 cm Solution 1 Solution 2
Prises électriques et canalisations		

3. Flux de chaleur en régime permanent

3.3. LES PONTS THERMIQUES: SOLUTIONS



(Source: IBGE, 2007)

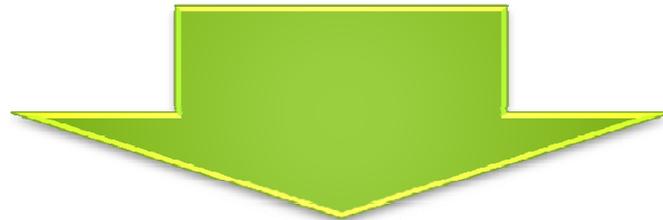
# **4. Réponse dynamique des bâtiments**

4. Réponse dynamique des bâtiments

1. SIMULATION DE LA REPONSE THERMIQUE

Les outils informatiques aident à prévoir le comportement du bâtiment. L'architecte peut, en connaissance de cause, mieux orienter son travail dès la phase de conception.

Les programmes de simulations peuvent se classer en deux familles :



## 4. Réponse dynamique des bâtiments

## 1. SIMULATION DE LA REponse THERMIQUE

Les programmes statiques  
(stationnaires)

Déterminent des quantités  
(températures, flux,  
consommations, etc.)  
**indépendamment du temps**

- Consommation annuelle prévisible pour un cas donné.
- Puissance de chaudière à installer.
- Température de paroi d'une pièce dans des conditions de températures intérieure et extérieure données.
- Risque de condensation.

## Les programmes dynamiques

Véritable simulation de conditions météorologiques, **heure par heure**, que ce soit une année type ou une période donnée.

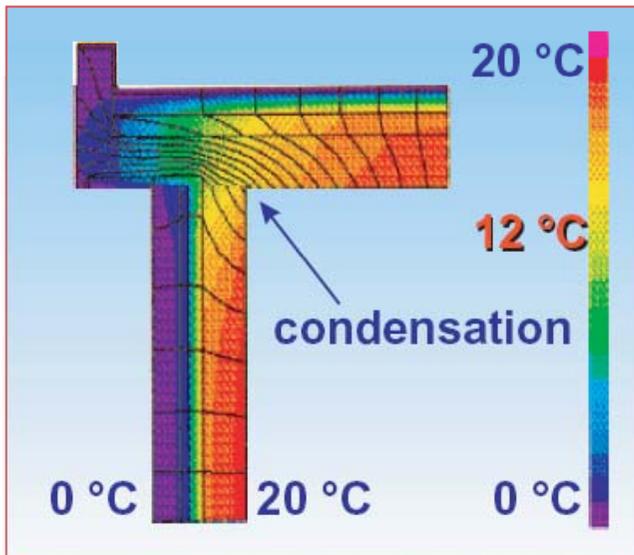
La réponse du bâtiment (température de l'air ambiant, etc.) est enregistrée de manière dynamique.

Déterminer dans quelles conditions et à quel moment une situation de confort ou d'inconfort peut se produire.

4. Réponse dynamique des bâtiments

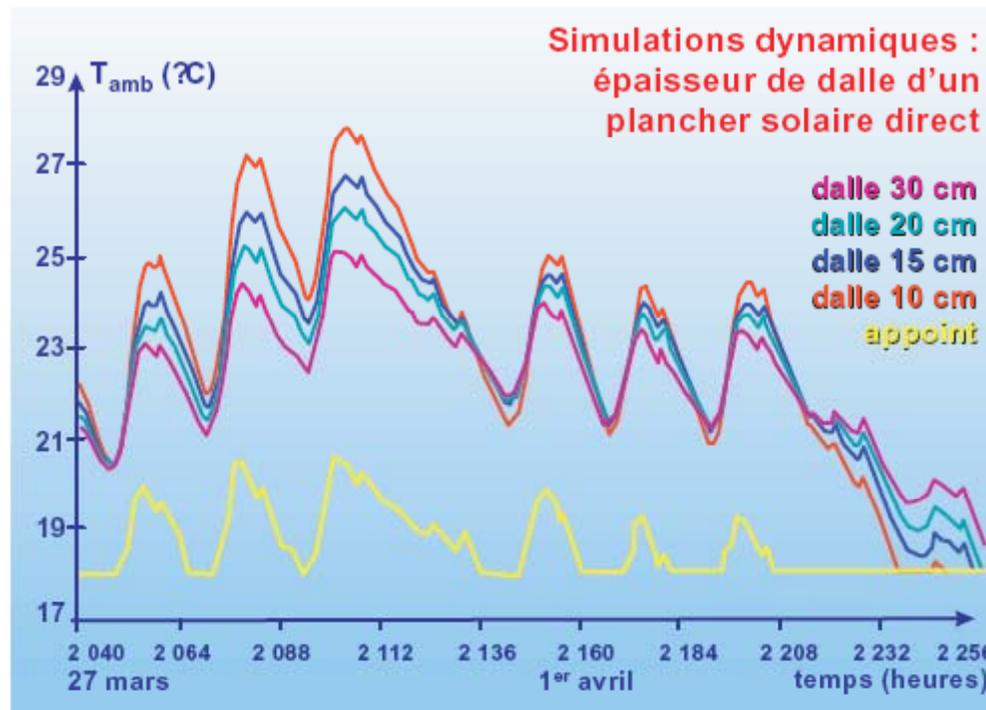
1. SIMULATION DE LA REPONSE THERMIQUE

Les programmes statiques (stationnaires)



Exemple d'un programme statique : calcul des ponts thermiques (Kobru 86).

Les programmes dynamiques



Étude de l'incidence de l'épaisseur de la dalle en béton armé d'un PSD® sur la variation de la température ambiante.

4. Réponse dynamique des bâtiments

1. SIMULATION DE LA REPONSE THERMIQUE

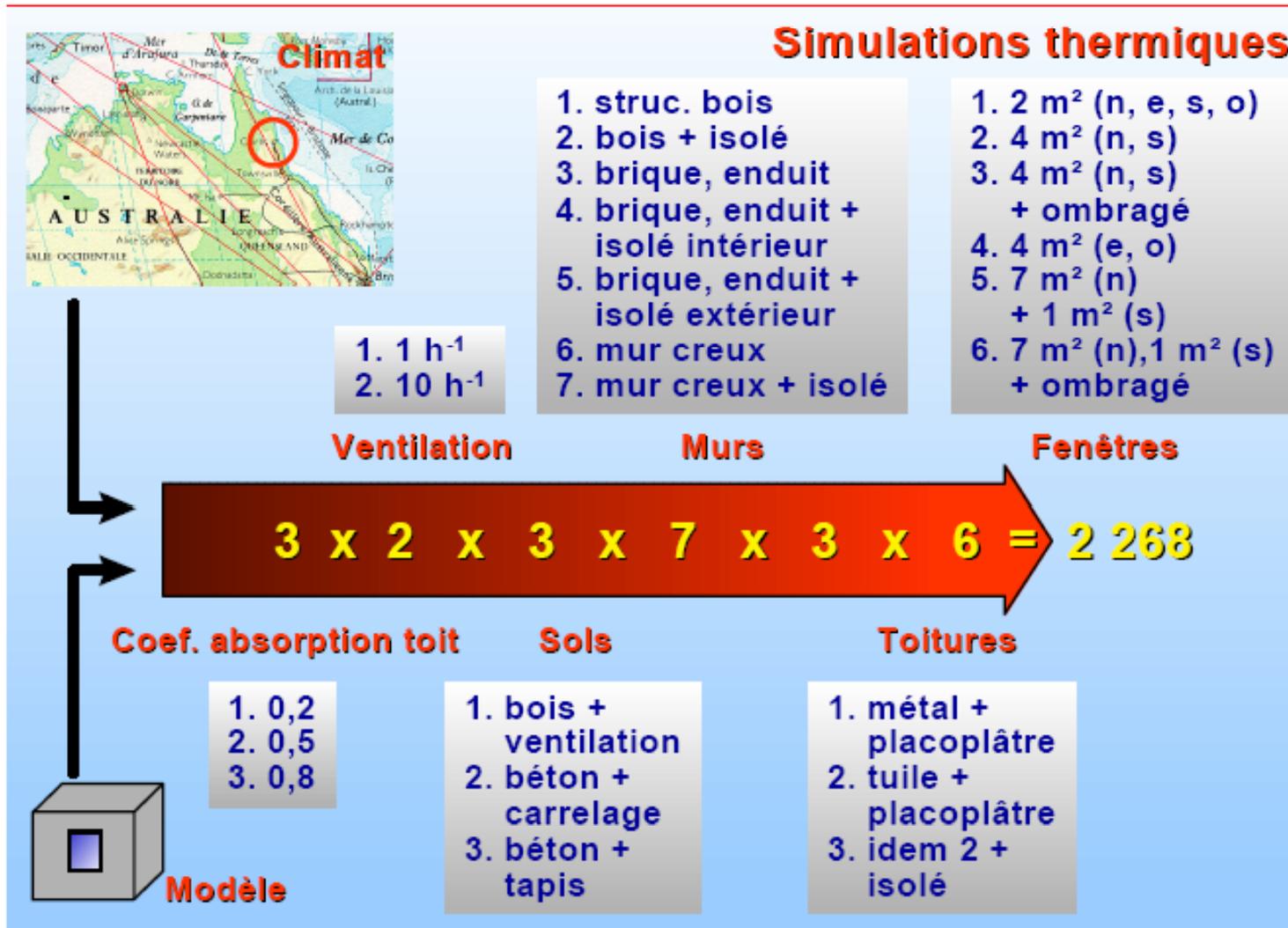


Schéma combinatoire d'un calcul de simulations thermiques. (Source: LIÉBARD A. & DE HERDE A., 2005)

**4. Réponse dynamique des bâtiments****1. SIMULATION DE LA REPONSE THERMIQUE**

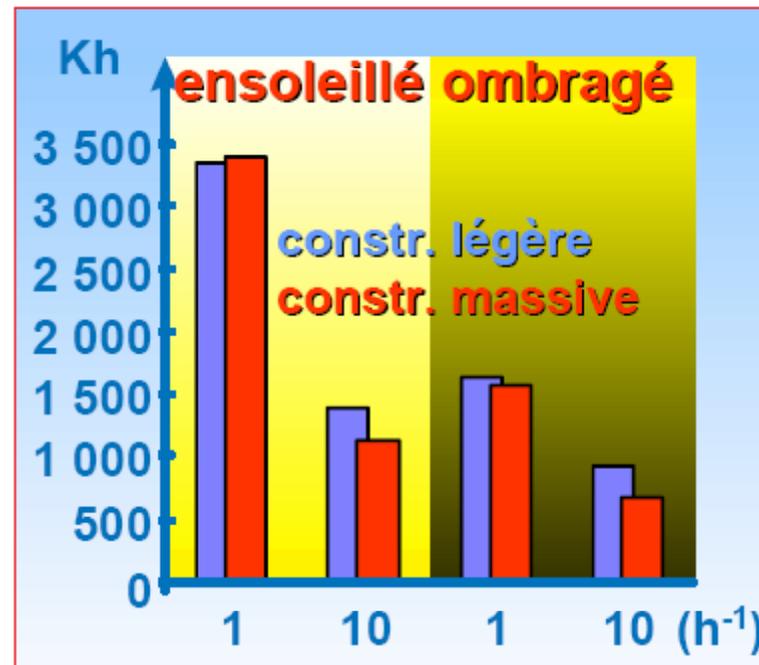
L'intérêt de la simulation réside dans la possibilité de comparer plusieurs variantes, il est crucial de bien choisir les paramètres. Dans l'exemple précédent, les paramètres choisis sont :

- le coefficient d'absorption du toit (0,2 ; 0,5 ou 0,8) ;
- le taux de ventilation (1 ou 10 renouvellements) ;
- la nature des planchers (en bois ; en béton recouvert de céramique ou en béton recouvert de tapis) ;
- la nature des murs (structure bois isolé ou pas, par 50 mm de laine minérale ; brique et enduit isolé ou pas, par l'intérieur ; brique et enduit isolé ou pas, par l'extérieur ; mur creux isolé ou pas) ;
- la nature des toitures (en métal incliné à 10° ou en tuiles inclinées à 20° et avec ou sans isolation de 100 mm de laine minérale) ;
- l'exposition solaire des fenêtres (6 variantes).

## 4. Réponse dynamique des bâtiments

## 1. SIMULATION DE LA REPONSE THERMIQUE

La combinaison de ces variantes donne 2 268 résultats possibles. La figure 1 illustre les résultats des calculs pour une variante légère et une variante massive, selon le taux de ventilation et la présence ou l'absence d'ombrage. Sur l'axe vertical, on peut lire les degrés-heures (Kh). La disparité des chiffres (682 à 3 391 Kh) témoigne de l'intérêt de la comparaison.



Quelques résultats parmi les variantes calculées.

(Source: LIÉBARD A. & DE HERDE A., 2005)

## 4. Réponse dynamique des bâtiments

## 1. SIMULATION DE LA REPOSE THERMIQUE

Par le terme logiciel de simulation du comportement dynamique des bâtiments, on entend un **programme** qui calcule, pour certains intervalles de temps, toutes les **grandeurs** déterminantes du **bilan énergétique**. Pour qu'on puisse parler de dynamique, il faut que cet intervalle de temps soit généralement inférieur à 1 heure.

Les méthodes de calcul du bilan énergétique sont aussi nombreuses que compliquées. Selon la manière dont elles traitent numériquement la dynamique du bâtiment, on peut les classer en deux grandes familles :

- 1) les méthodes par corrélation
- 2) les méthodes par simulation

## 4. Réponse dynamique des bâtiments

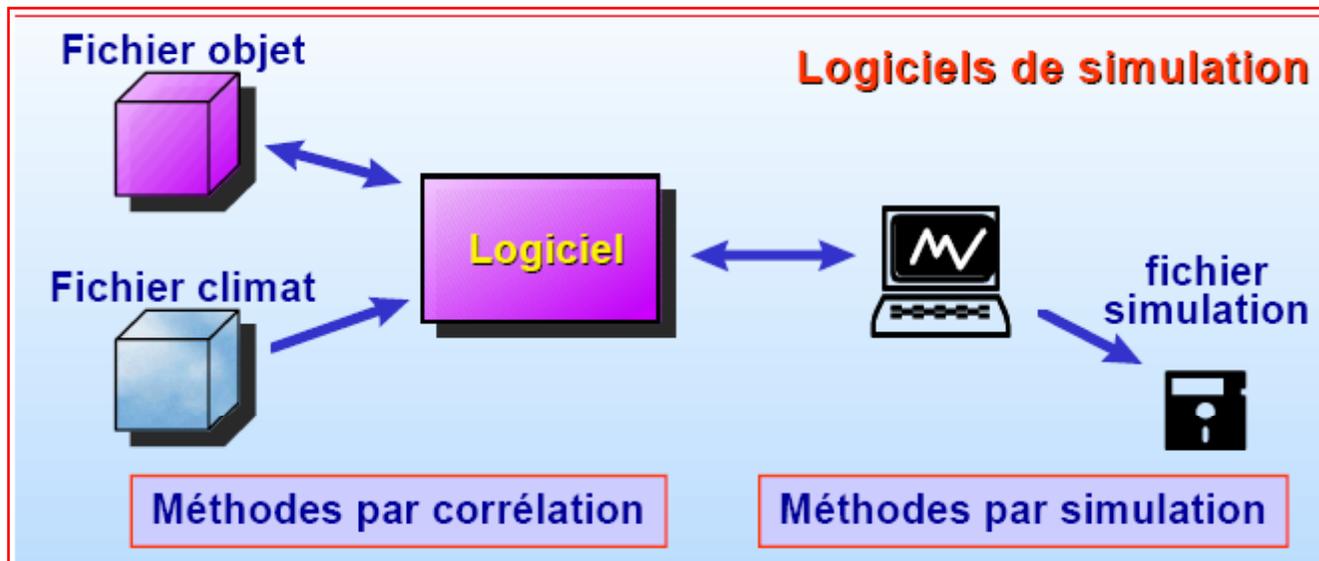
## 1. SIMULATION DE LA REPONSE THERMIQUE

## 1) les méthodes par corrélation:

Les méthodes par corrélation permettent de calculer les besoins énergétiques annuels ou saisonniers. Le calcul n'est pas véritablement simulé mais plutôt globalisé par des facteurs correctifs empiriques.

## 1) les méthodes par simulation:

Les méthodes par simulation, en plus du calcul du bilan énergétique, permettent d'étudier l'évolution temporelle de toutes les paramètres importants.



(Source: LIÉBARD A. & DE HERDE A., 2005)