



Énergétique du bâtiment

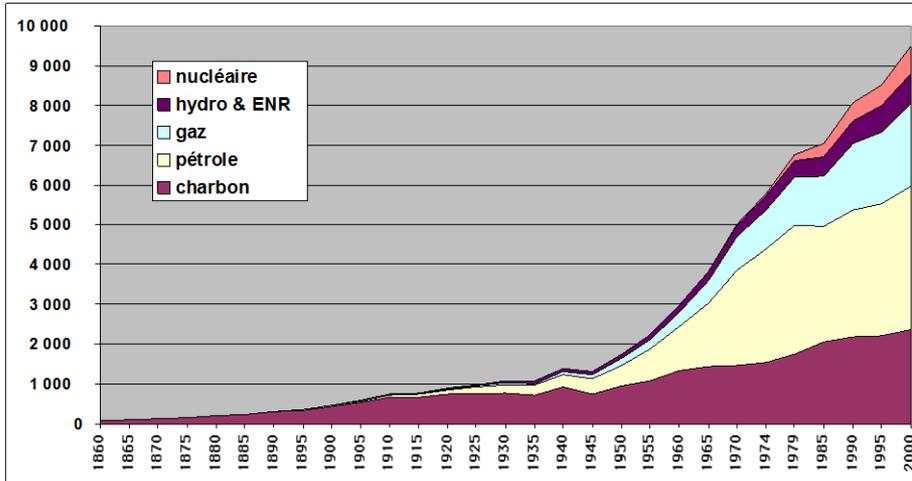
Abdellatif TOUZANI

7 Mars 2017

- ▶ Contexte énergétique
- ▶ Energétique du bâtiment
- ▶ Bilan énergétique
- ▶ Installations techniques
- ▶ Diagnostic
- ▶ Eclairage
- ▶ L'optimisation des séquences d'opération

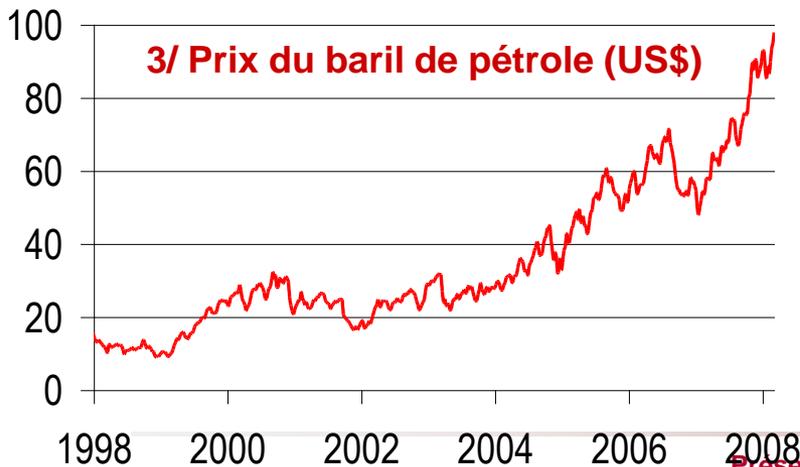
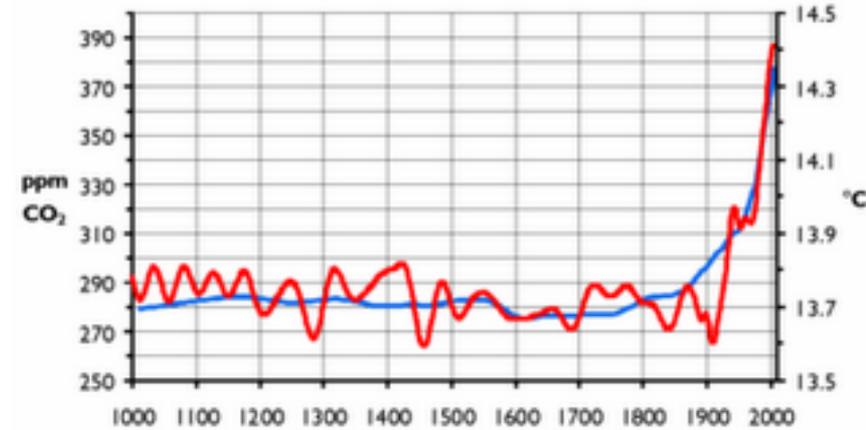
Contexte énergétique et environnemental

1/ Consommation mondiale d'énergie

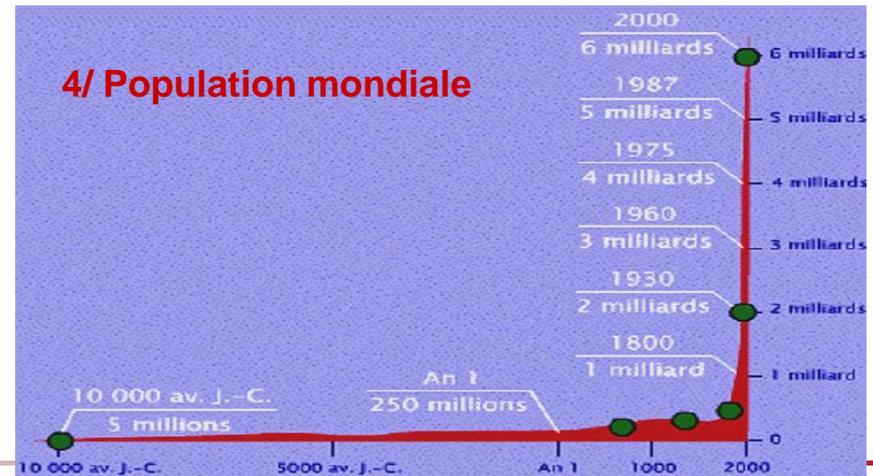


Source : Schilling & al, 1977, et AIE, 2002

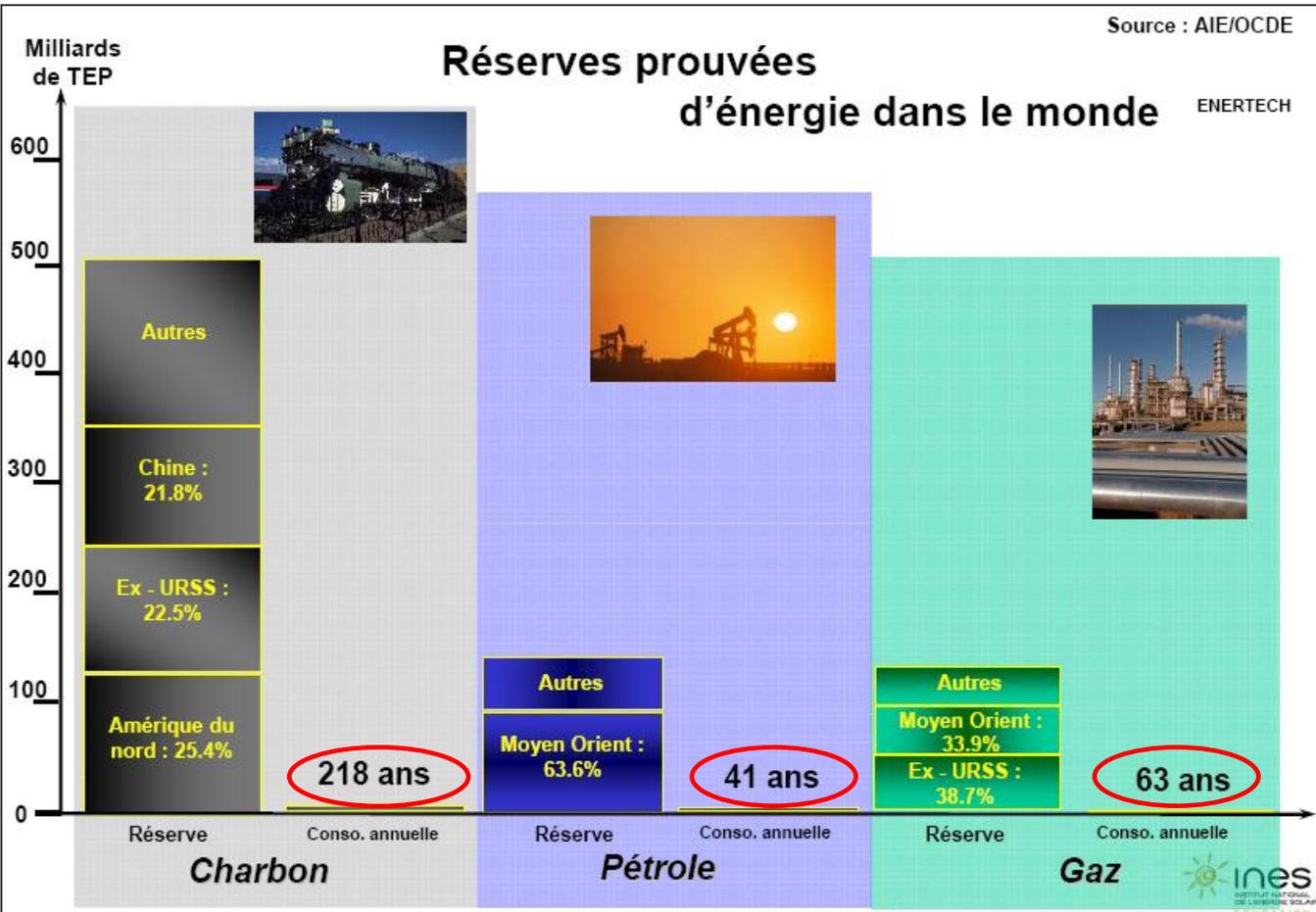
2/ Concentration en CO₂ (bleu) dans l'atmosphère et température moyenne (rouge)



4/ Population mondiale



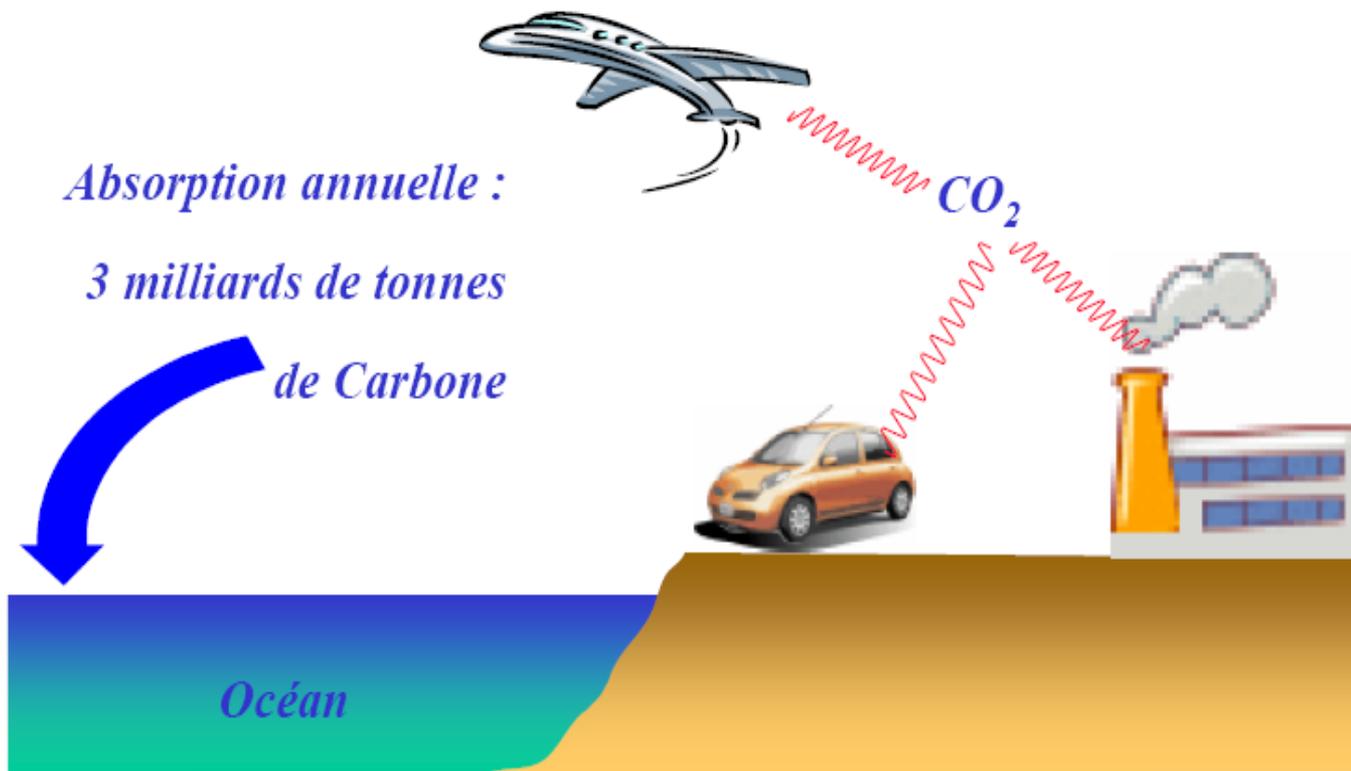
Les réserves ? au rythme actuel de consommation...



... et des besoins croissants :

6 milliards d'habitants aujourd'hui, 10 Md en 2100, et des pays en plein développement

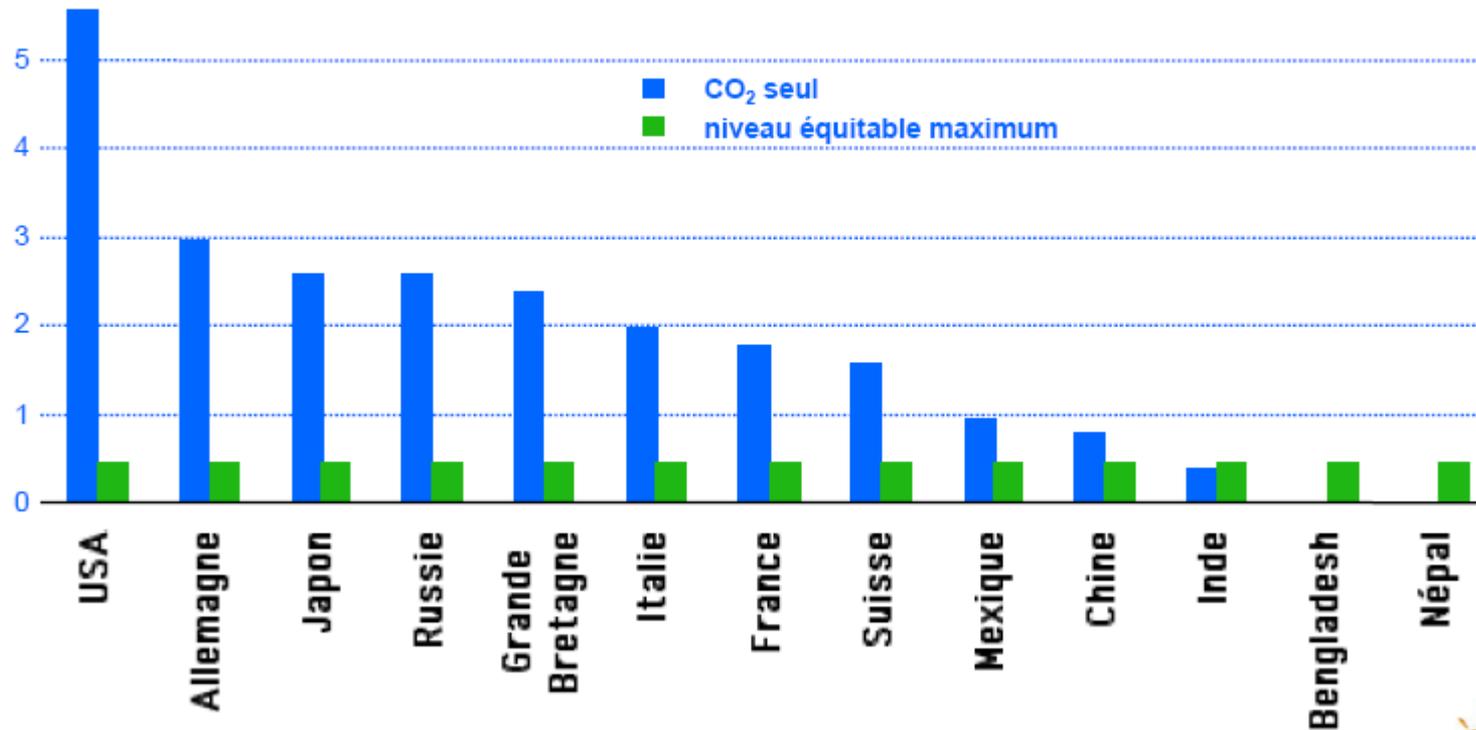
Les conditions d'équilibre en CO₂



Pour une population de 6 milliards d'individus, le rejet annuel ne peut dépasser 0,5 t. de Carbone/pers/an soit 1,8 t. de CO₂/pers/an.

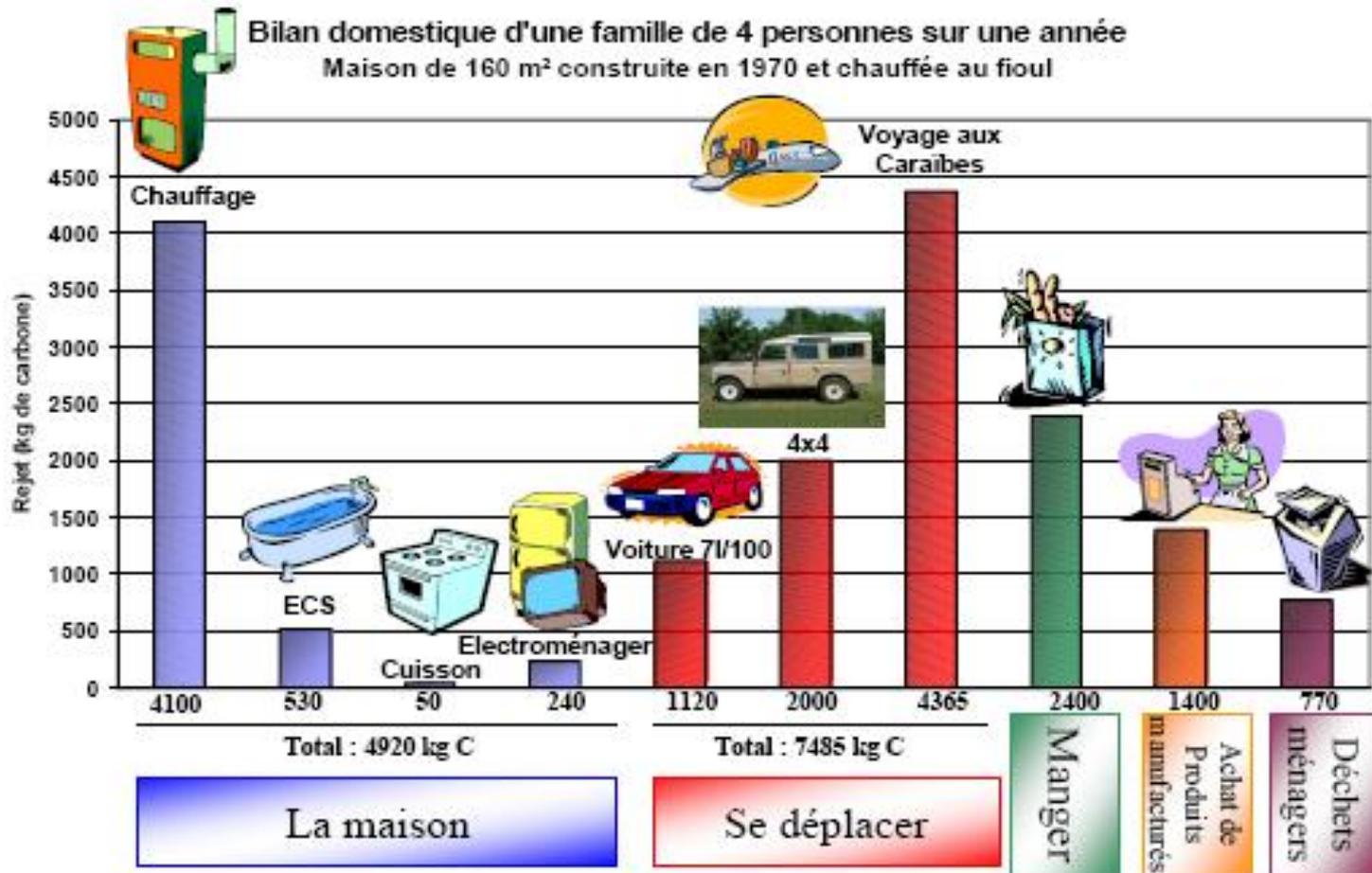
Comment ne plus enrichir l'atmosphère en CO₂ ?

Émissions de CO₂ (en tonnes de carbone / habitant)
et droit maximal à émettre sans perturber le climat



D'où l'objectif des facteurs de réduction pour chaque pays...

Simulation : une famille de 4 personnes (Europe)



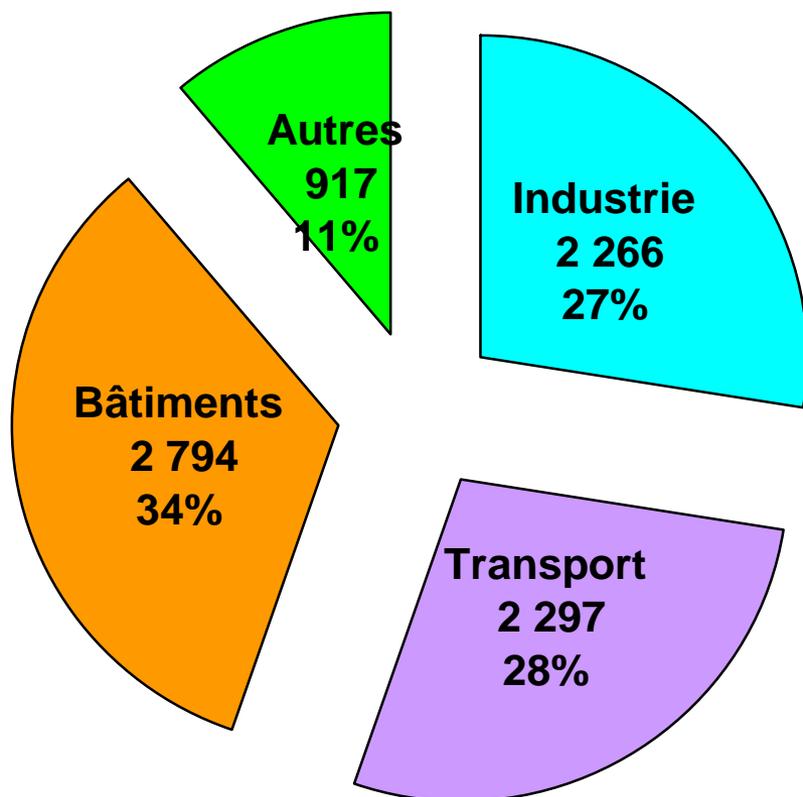
Total : 16975 kgC soit 4244 kgC/pers/an – Dans cette famille il va falloir diviser par 8.5 les émissions de gaz à effet de serre, donc les consommations d'énergie

Olivier Sidler

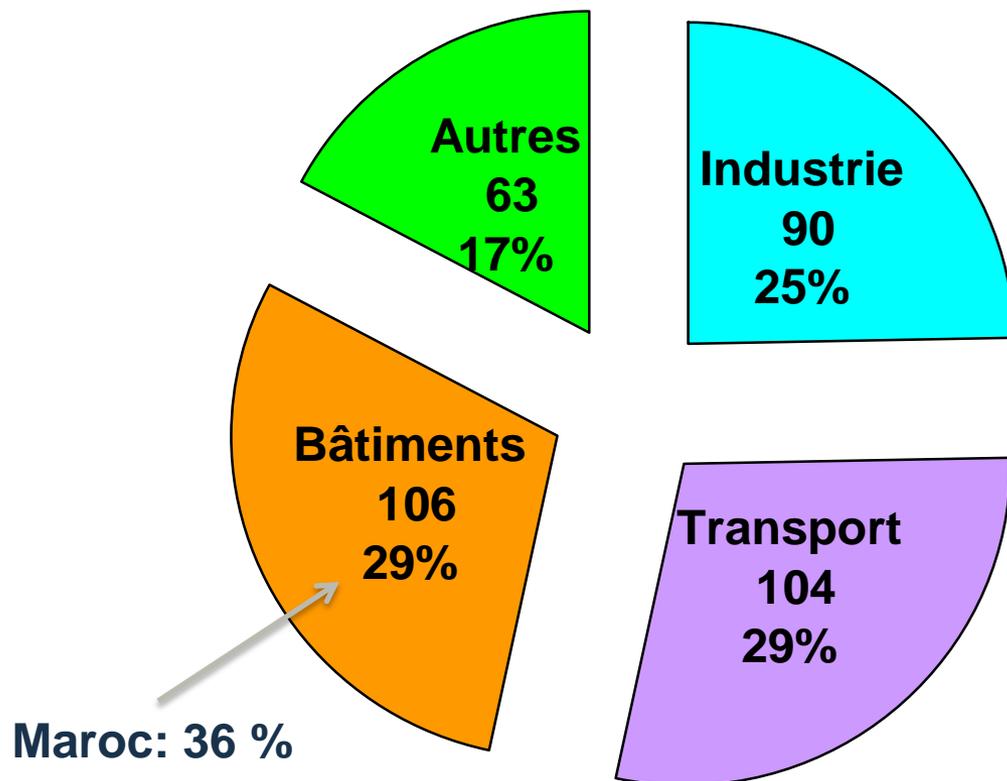
Enjeux énergétiques bâtiment dans le monde

Poids dans la consommation d'énergie

Consommation d'énergie finale dans le monde en 2007

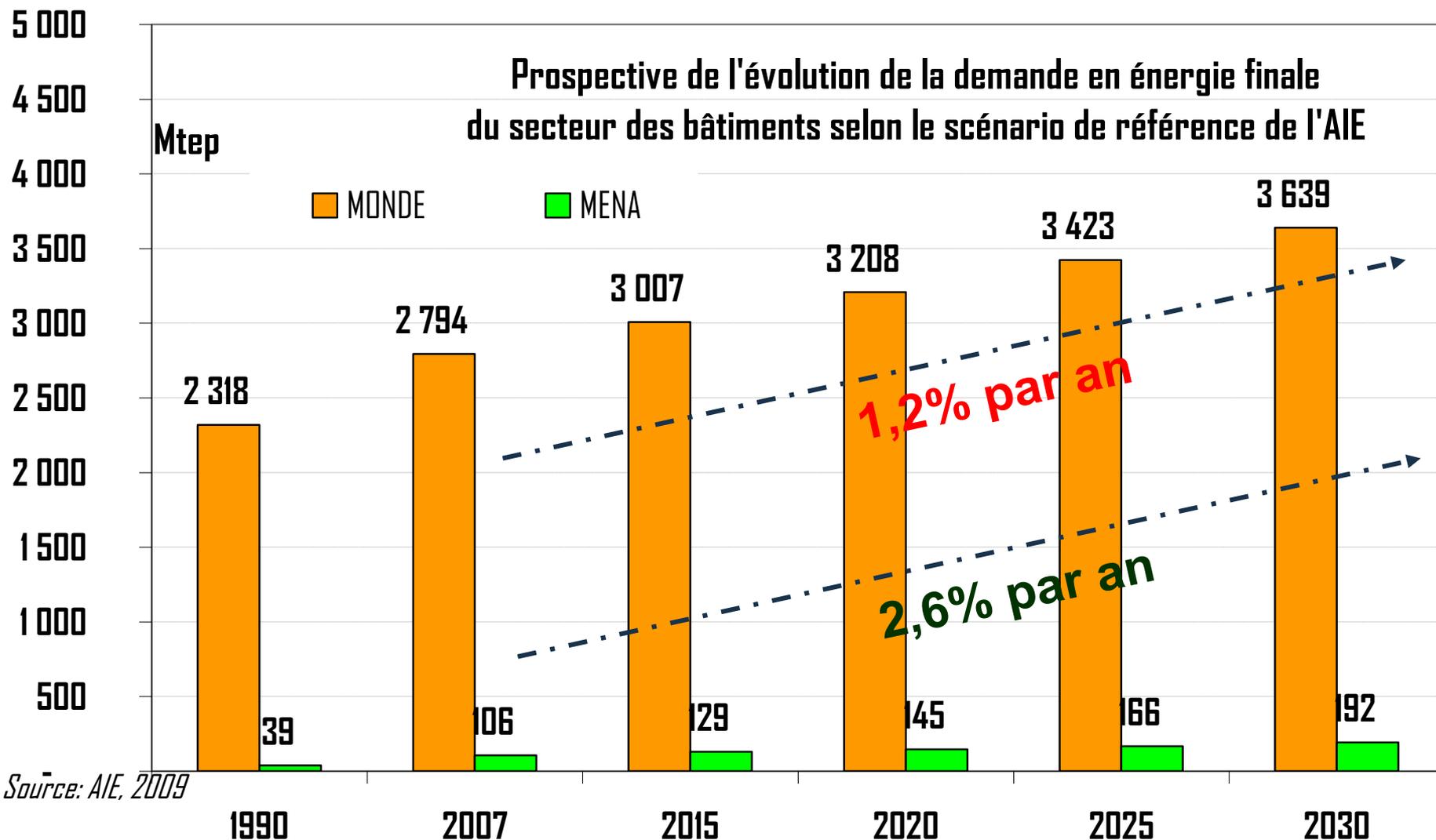


Consommation d'énergie finale dans la région MENA en 2007



Enjeux du secteur du bâtiment dans le monde

Perspective de la demande énergétique du secteur

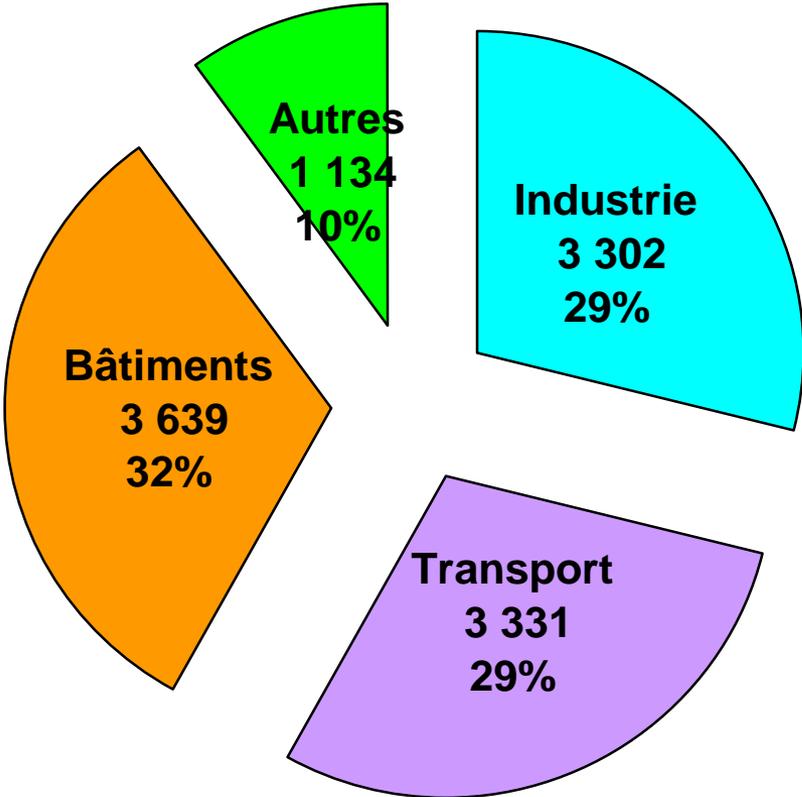


Enjeux du secteur du bâtiment dans le monde

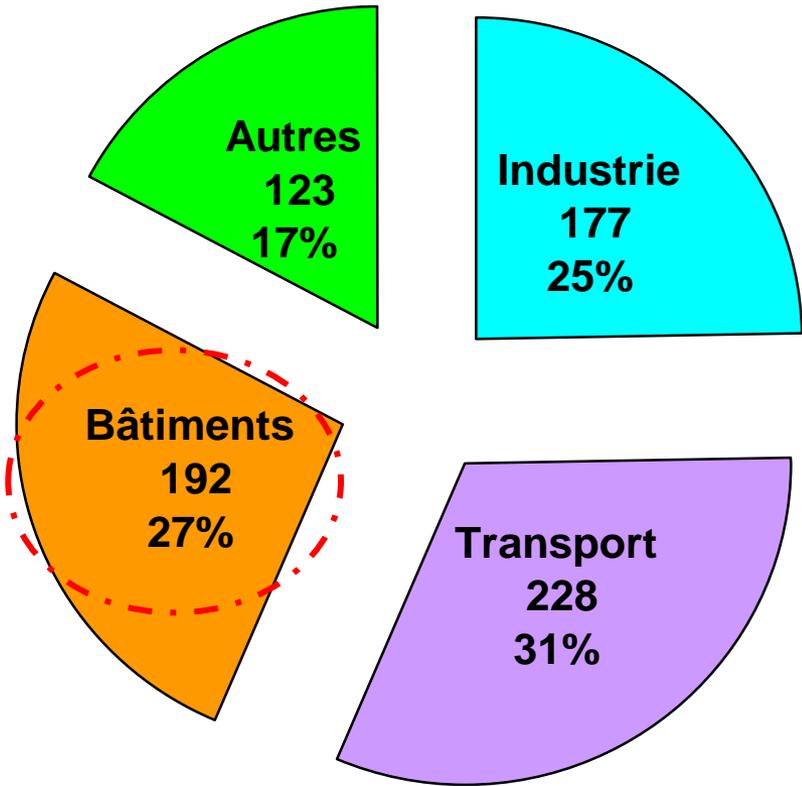
Perspective de la consommation d'énergie



Consommation d'énergie finale dans le monde en 2030 selon scénario de référence de l'AIE



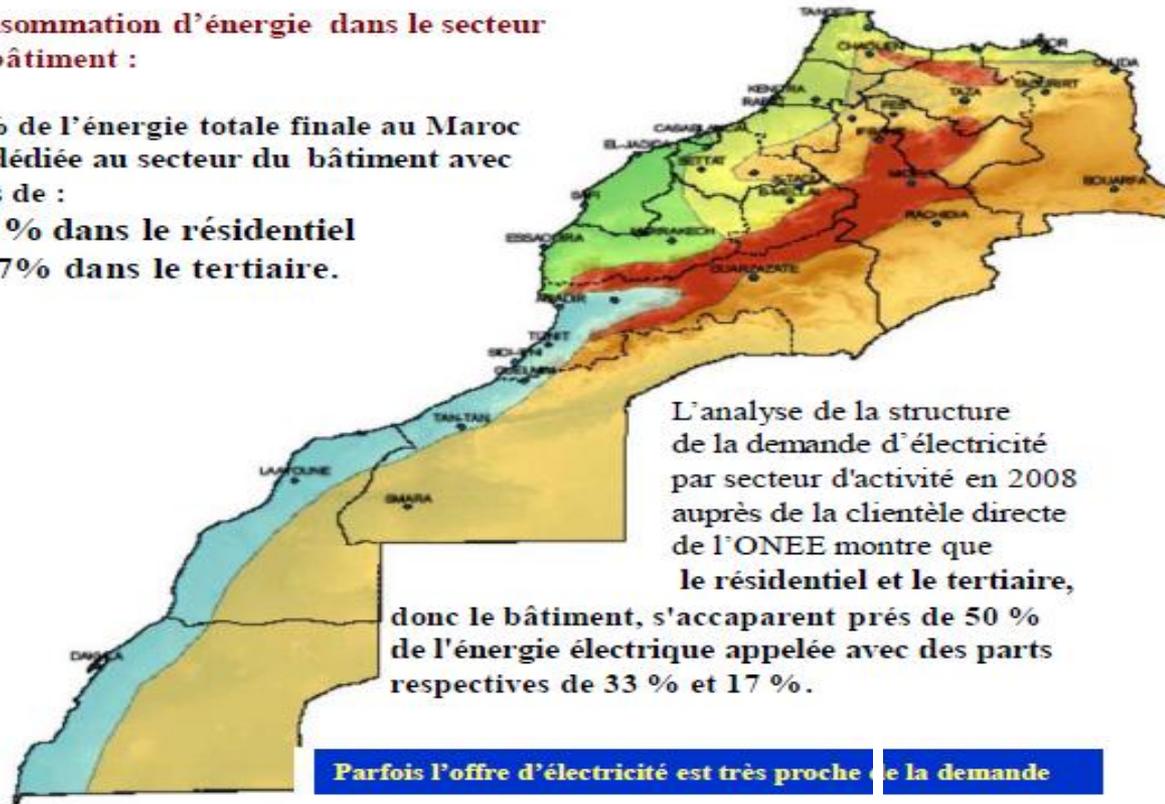
Consommation d'énergie finale dans la région MENA en 2030 selon scénario de référence de l'AIE



Consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment :

36% de l'énergie totale finale au Maroc est dédiée au secteur du bâtiment avec près de :

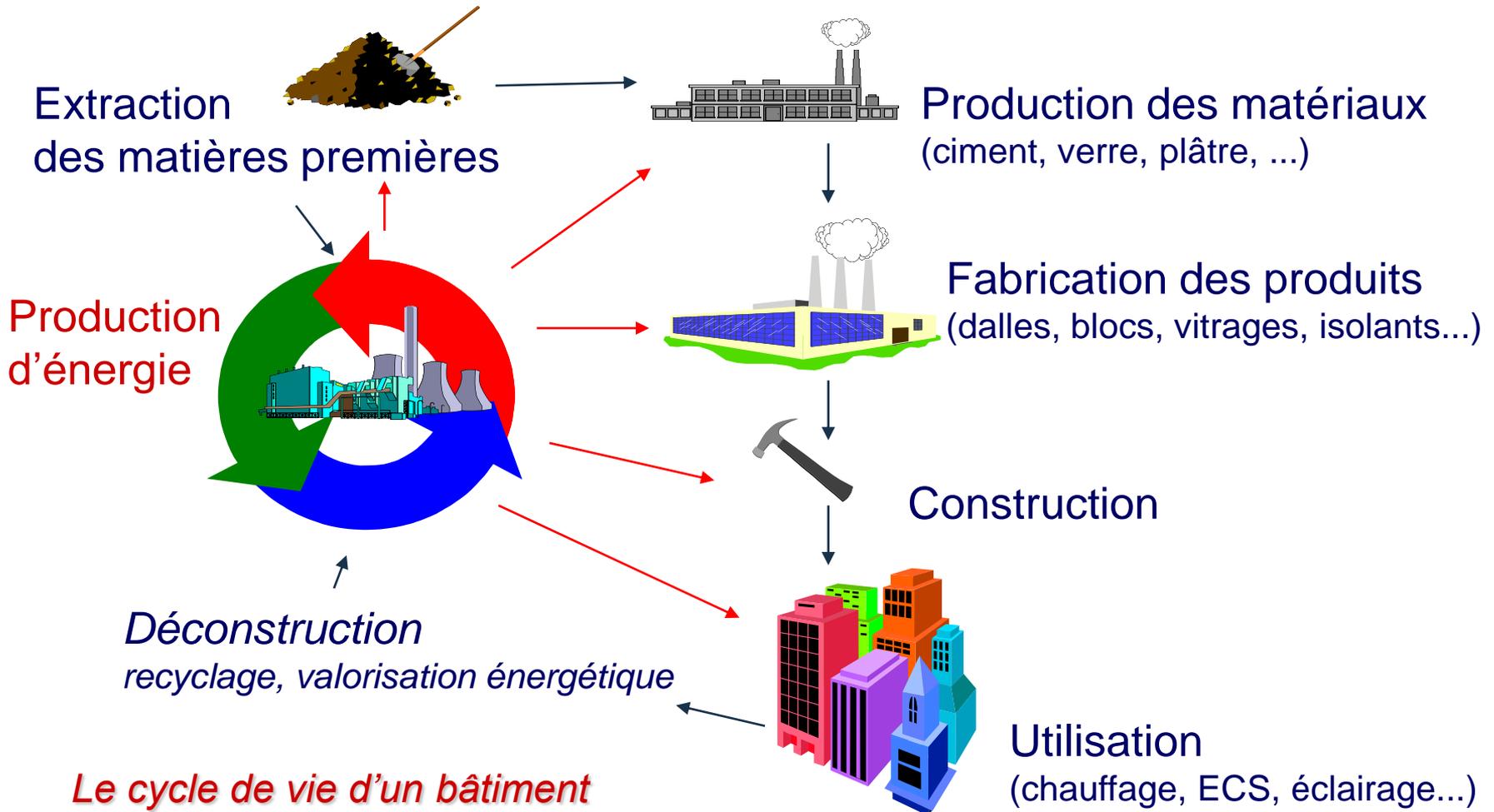
- 29 % dans le résidentiel
- et 7% dans le tertiaire.



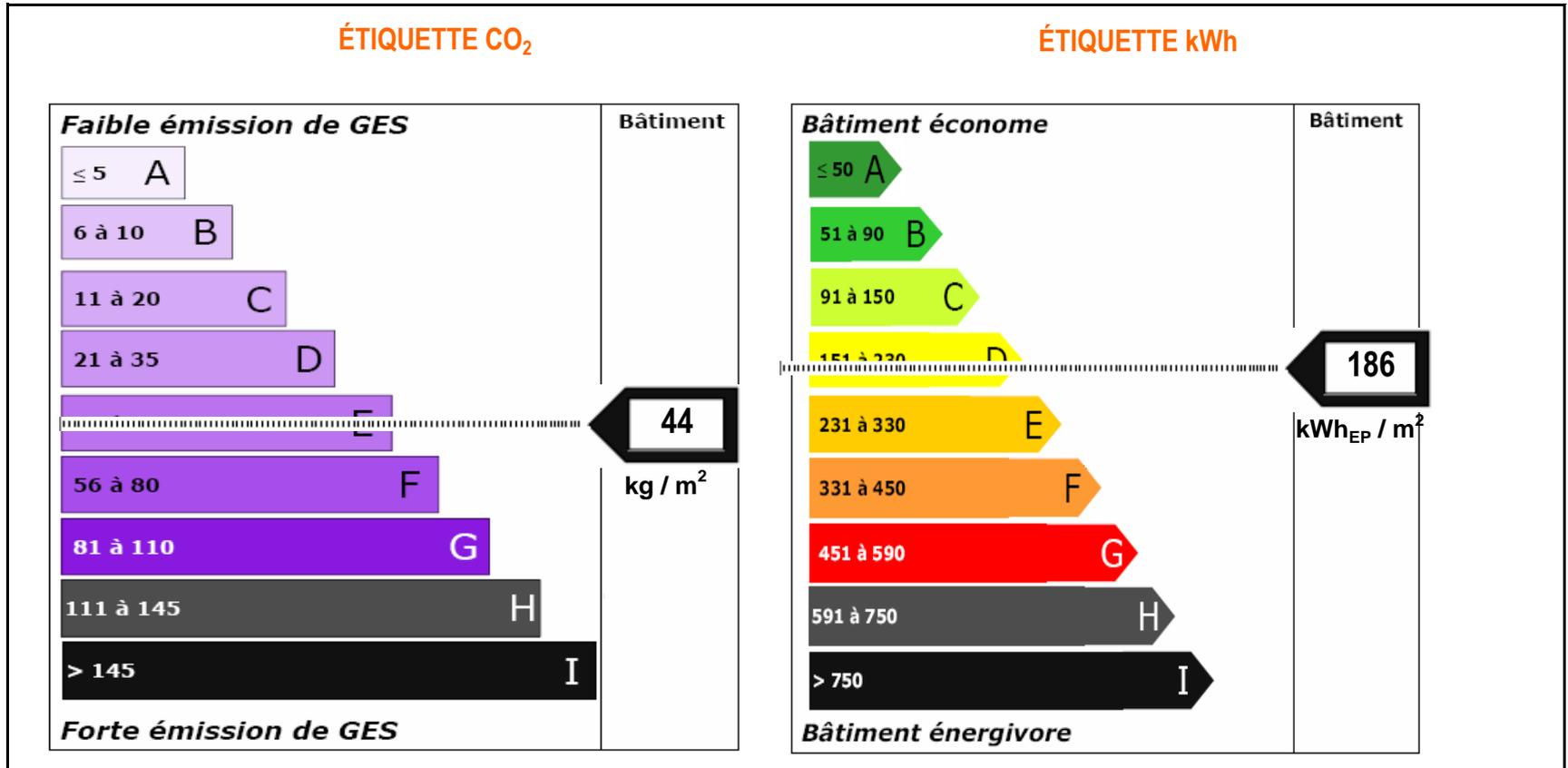
La consommation de l'électricité entre 2008 et 2030 serait multipliée par 4, voir par 6 !

Consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment

Choix des procédés et produits de construction

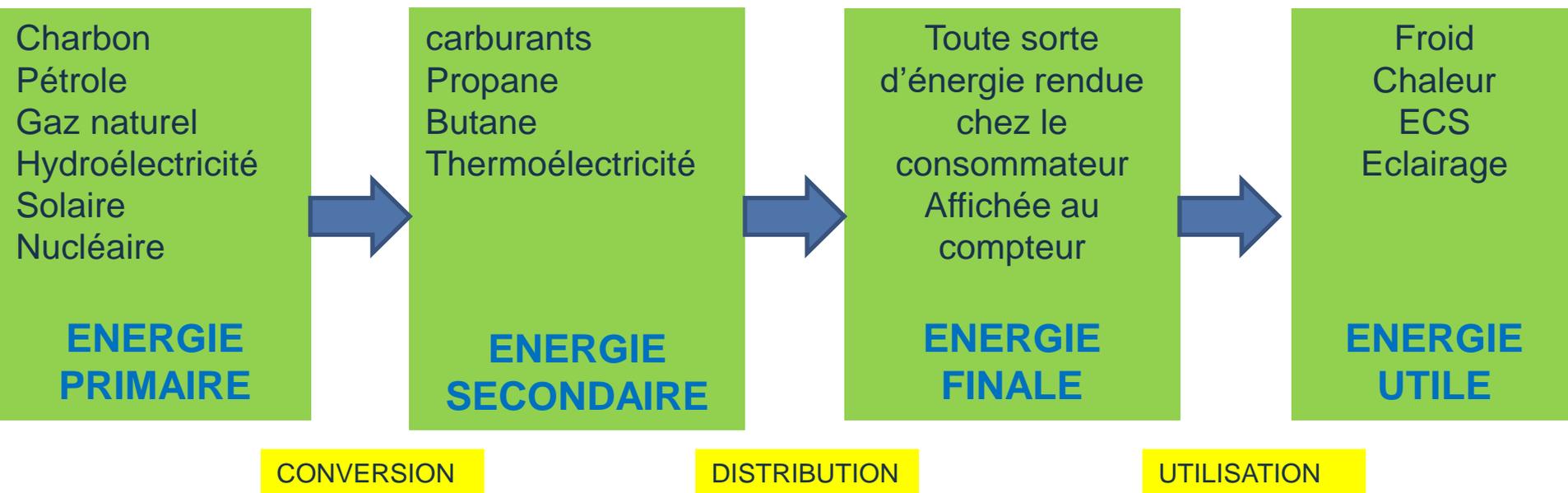


Le cycle de vie d'un bâtiment



Quelques définitions

- Energie primaire, secondaire, finale, utile

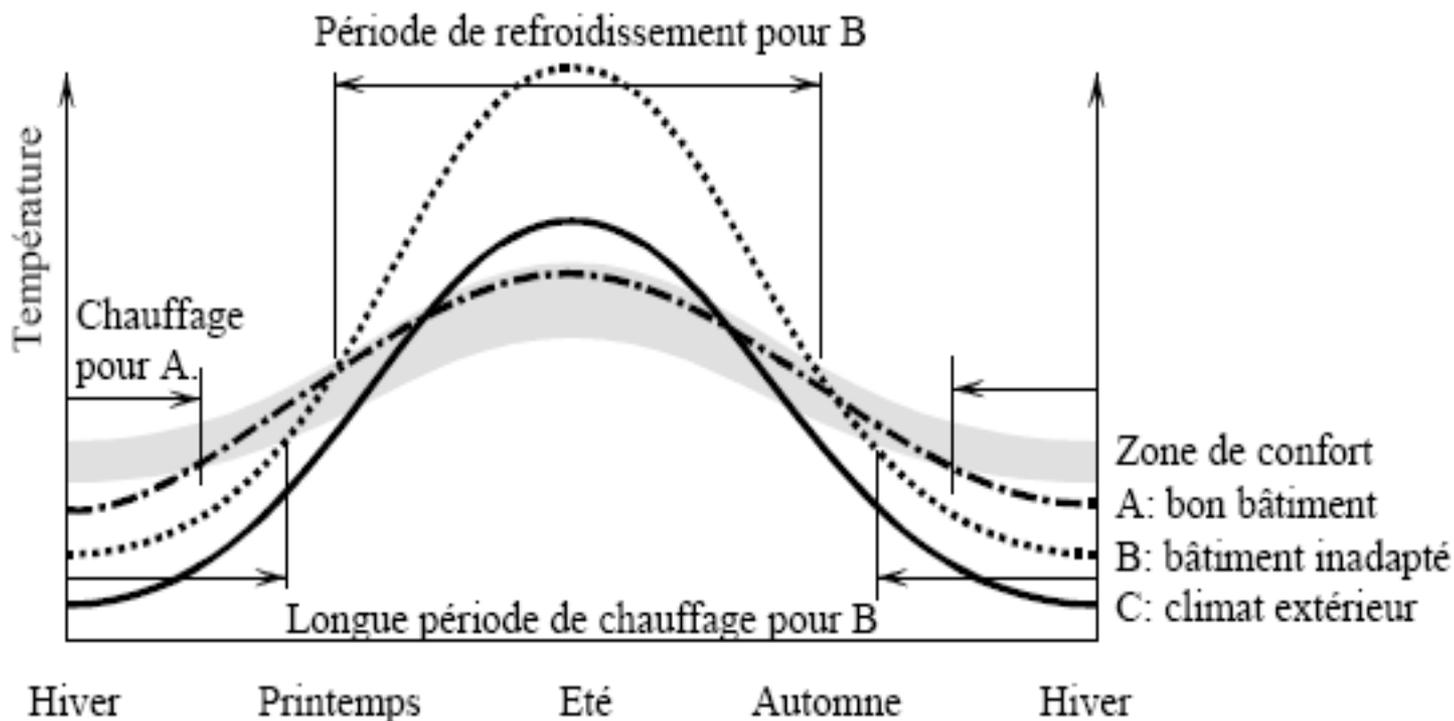


A quoi sert l'énergétique du bâtiment ?

- ▶ Le bâtiment est un gros consommateur d'énergie.
 - le chauffage et/ou le refroidissement, pour assurer un climat intérieur confortable
 - la circulation de fluides tels que l'air (ventilation), l'eau (eau chaude, chauffage)
 - les transports (ascenseurs)
 - l'éclairage
 - les communications (téléphone, radio, télévision)
 - la production de biens (cuisines, couture, etc.)

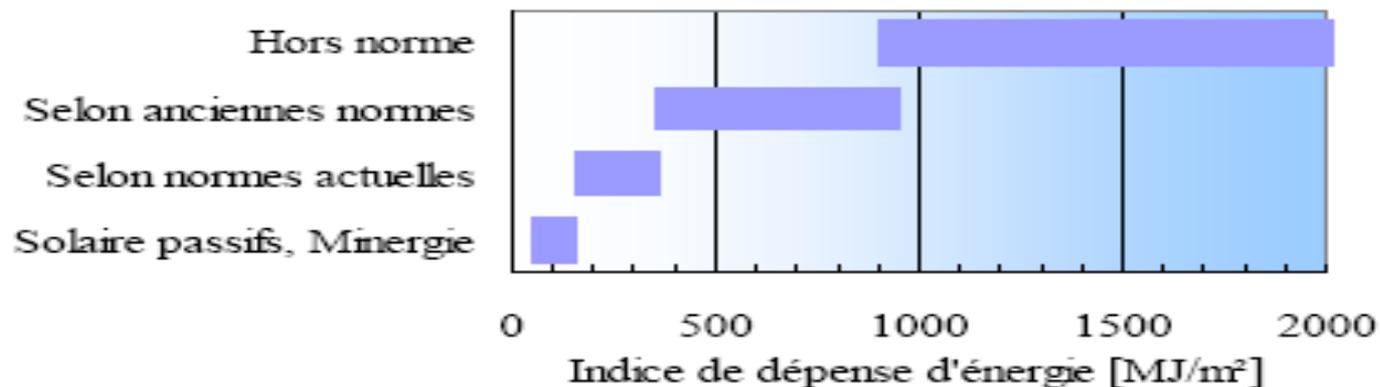
► Le bâtiment devrait être confortable

Un bâtiment devrait assurer, sans aucune consommation d'énergie, un confort au moins équivalent à celui régnant à l'extérieur.

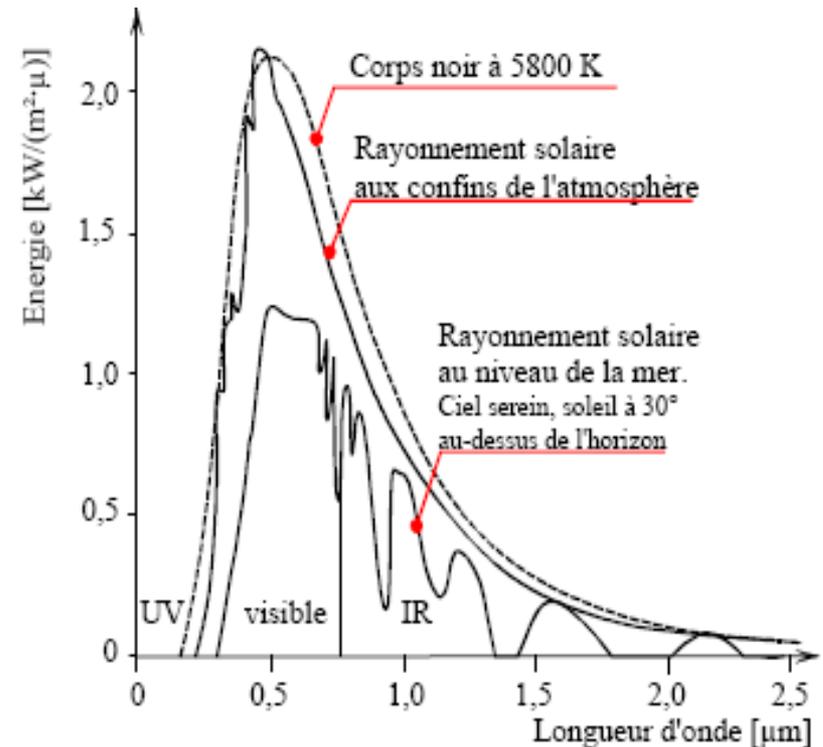


► Suivant la conception, la consommation varie énormément.

- Un indice souvent utilisé pour comparer la consommation d'énergie des bâtiments est l'Indice de Dépense d'Énergie, ou IDE. On obtient cet indice en divisant la consommation annuelle d'énergie totale (de tous les agents énergétiques) exprimée en MJ (ou en kWh) par la surface brute de plancher chauffé (murs inclus).



- ▶ Capacité thermique.
- ▶ Modes de transfert de chaleur:
 - Conduction;
 - Convection;
 - Rayonnement.
 - Evaporation – condensation
- ▶ Rayonnement solaire:
 - Surface du soleil: 64 MW/m²
 - Atmosphère: 1367 W/m²
(150 Millions km)



Spectre du rayonnement solaire

- Une surface perpendiculaire au rayonnement ($\theta = 0^\circ$) reçoit un maximum d'énergie et plus l'angle d'incidence augmente, plus la quantité d'énergie reçue diminue.



$\theta = 0^\circ$



$\theta = 60^\circ$

Besoins de l'occupant

- ▶ Confort:
 - Etat de bien être général.
- ▶ Qualité de l'air:
 - Absence de pollution.
- ▶ Aération:
 - Assurer un environnement intérieur confortable.

Confort dépend des paramètres suivants

► Conditions thermiques:

- Température de l'air
- Sources de rayonnement (radiateurs, poêles, soleil)
- Température des surfaces environnantes
- Perméabilité thermique des surfaces en contact avec le corps

► Qualité de l'air:

- Vitesse relative de l'air par rapport au sujet
- Humidité relative de l'air
- Pureté ou pollution de l'air₂odeurs

▶ Acoustique:

- ▶ Niveau de bruit, nuisance acoustique
- ▶ Temps de réverbération (durée d'écho)

▶ Visuel:

- ▶ Éclairage naturel et artificiel
- ▶ Couleurs
- ▶ Volumes intérieur et distribution des volumes

▶ Autres influences:

- ▶ Degré d'occupation des locaux
- ▶ Etc...

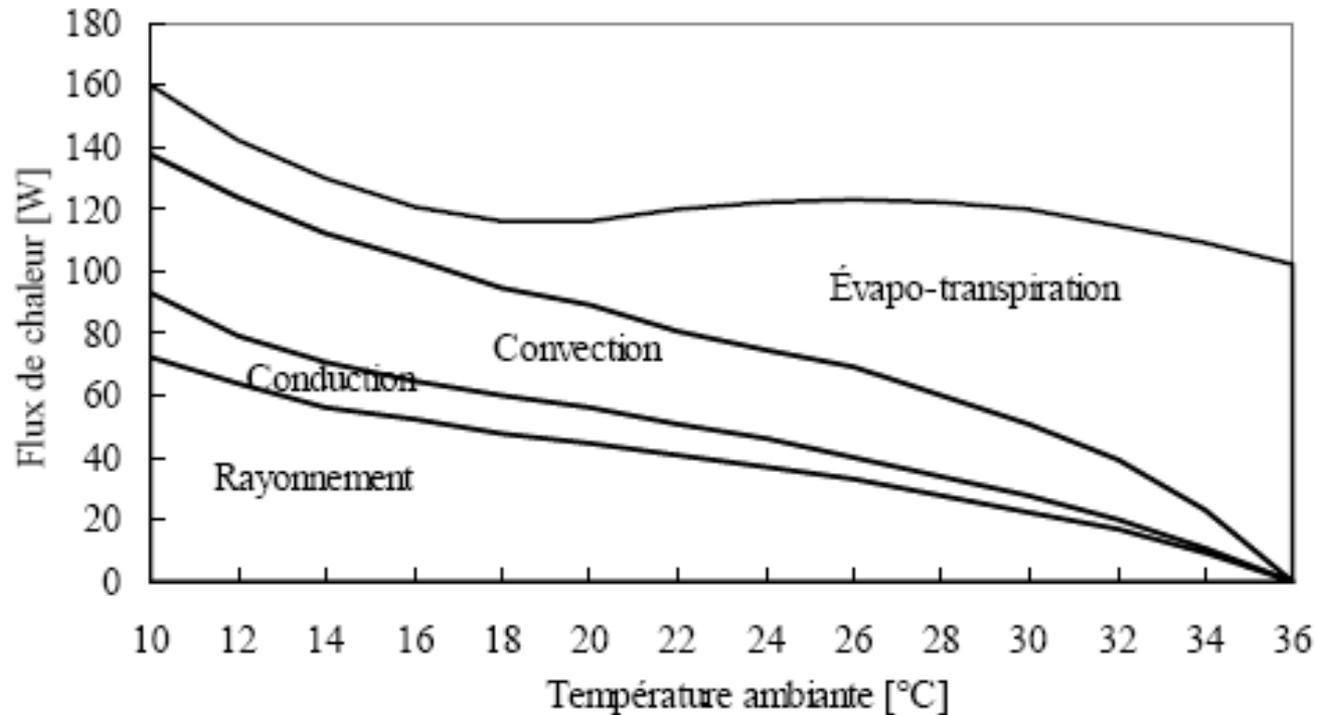
► Le confort est une sensation physiologique faisant intervenir plus d'un paramètre. Le confort thermique ne tient compte que des paramètres suivants:

- **Les facteurs liés à l'individu:**

- Son activité et le rendement de cette activité
- Son habillement

- **Les facteurs liés à l'environnement:**

- Températures de l'air et des surfaces environnantes
- Vitesse relative de l'air et le degré de turbulence
- Pression de vapeur d'eau ou humidité relative



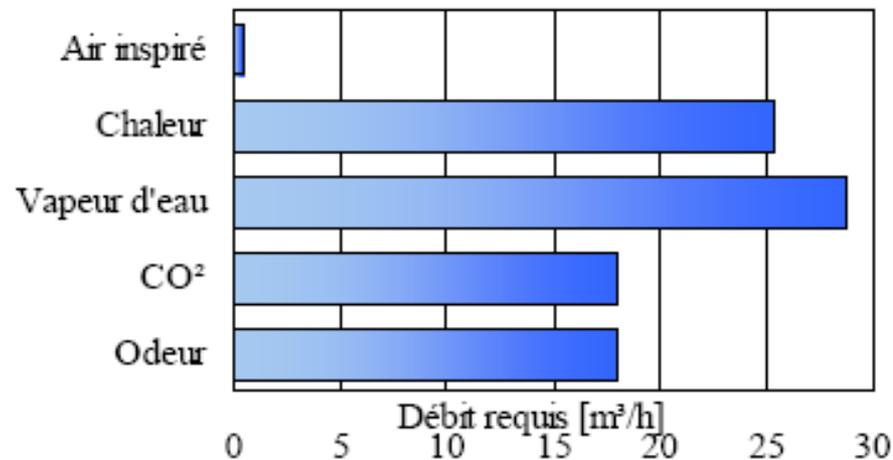
Répartition des échanges de chaleur d'une personne en fonction de la température ambiante, supposée homogène.

- Un air de bonne qualité ne contient pas d'impuretés en quantités gênantes ou dangereuses pour les occupants.

Air extérieur	
Chauffages, transports, industrie	SO ₂ , NO _x , CO, hydrocarbures, poussières,
Nature	bactéries, spores, pollens
Occupant	Odeurs, CO ₂ , vapeur d'eau, particules, bactéries
Tabac, feux ouverts	CO, aldéhydes, particules
Combustion de gaz	CO, CO ₂ , vapeur d'eau, NO _x , particules
Matériaux	Aldéhydes, amiante, solvants
Produits divers	
Sprays, nettoyage, papier, encre, etc.	Odeurs, solvants, composés organiques
Terrain	Radon, méthane

Quelques sources de pollution

- Le but de l'aération est d'assurer un environnement intérieur confortable, maintenant les occupants en bonne santé.



Débit d'air requis pour évacuer les divers polluants produits par une personne assise ayant une activité de bureau

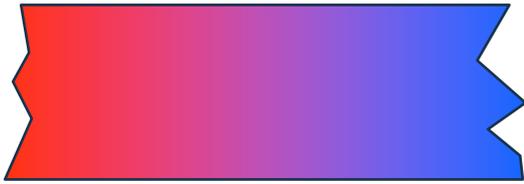
► Débit minimum requis (personne moyenne en activité de bureau)

Polluant	Odeurs	CO ₂	Vapeur d'eau
Intensité de source	1 olf	18 l/h	72 g/h
Concentration limite	0,2 pol	1000 ppm	8 g/kg
Concentration extérieure	0,1 Pol	360 ppm	5 g/kg
Débit d'air [m ³ /h]	36 m ³ /h	28 m ³ /h	29 m ³ /h

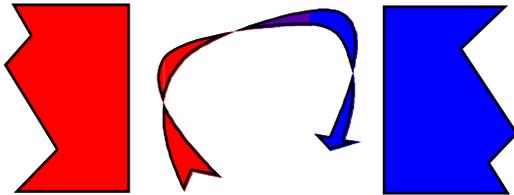
Bilan thermique

D'éléments du bâtiment

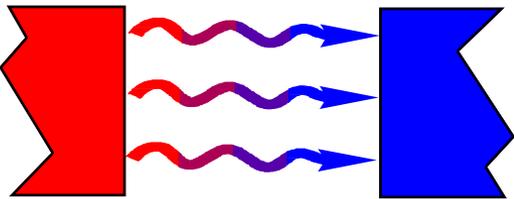
- .Matériaux d'isolation
- .Transmission thermique
- .Caractéristiques thermiques dynamiques
- .Aération



► **Conduction**: transfert de l'agitation par chocs intermoléculaires



► **Convection**: transport de matière entre zones chaude et froide

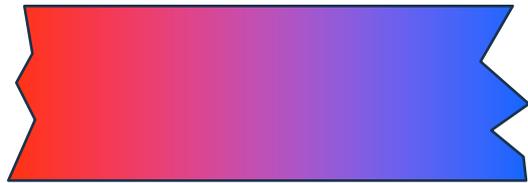


► **Rayonnement**: émission-absorption de rayonnement électromagnétique

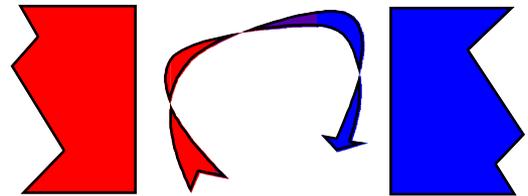


► **Evapo-condensation**: évaporation et condensation

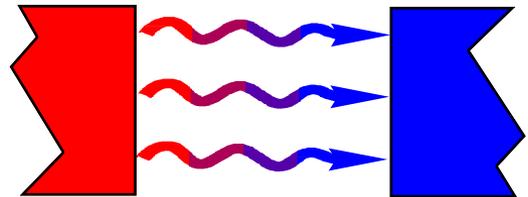
Pour isoler il faut:



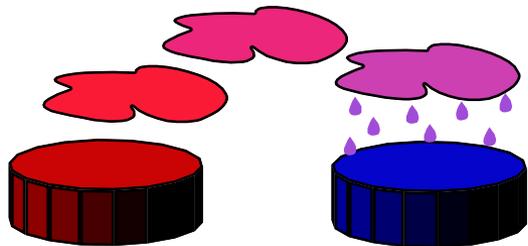
- ▶ Enlever la matière pour diminuer la **conduction**



- ▶ Élément étanche (ou le vide) pour éliminer la **convection**



- ▶ Élément opaque ou réfléchissant pour diminuer le **rayonnement**



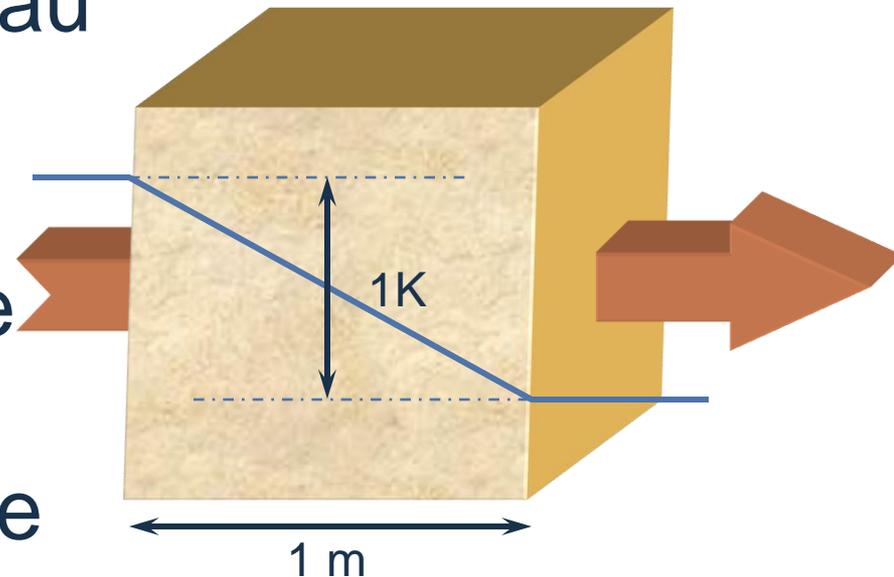
- ▶ Matériau sec pour éviter l'**évapo-condensation**

L'air immobile

- Les fibres ou parois des cellules immobilisent l'air, supprimant la convection
- Le rayonnement ne peut pas passer au travers du matériau globalement opaque
- Dans l'idéal, il ne reste que la conduction de l'air.

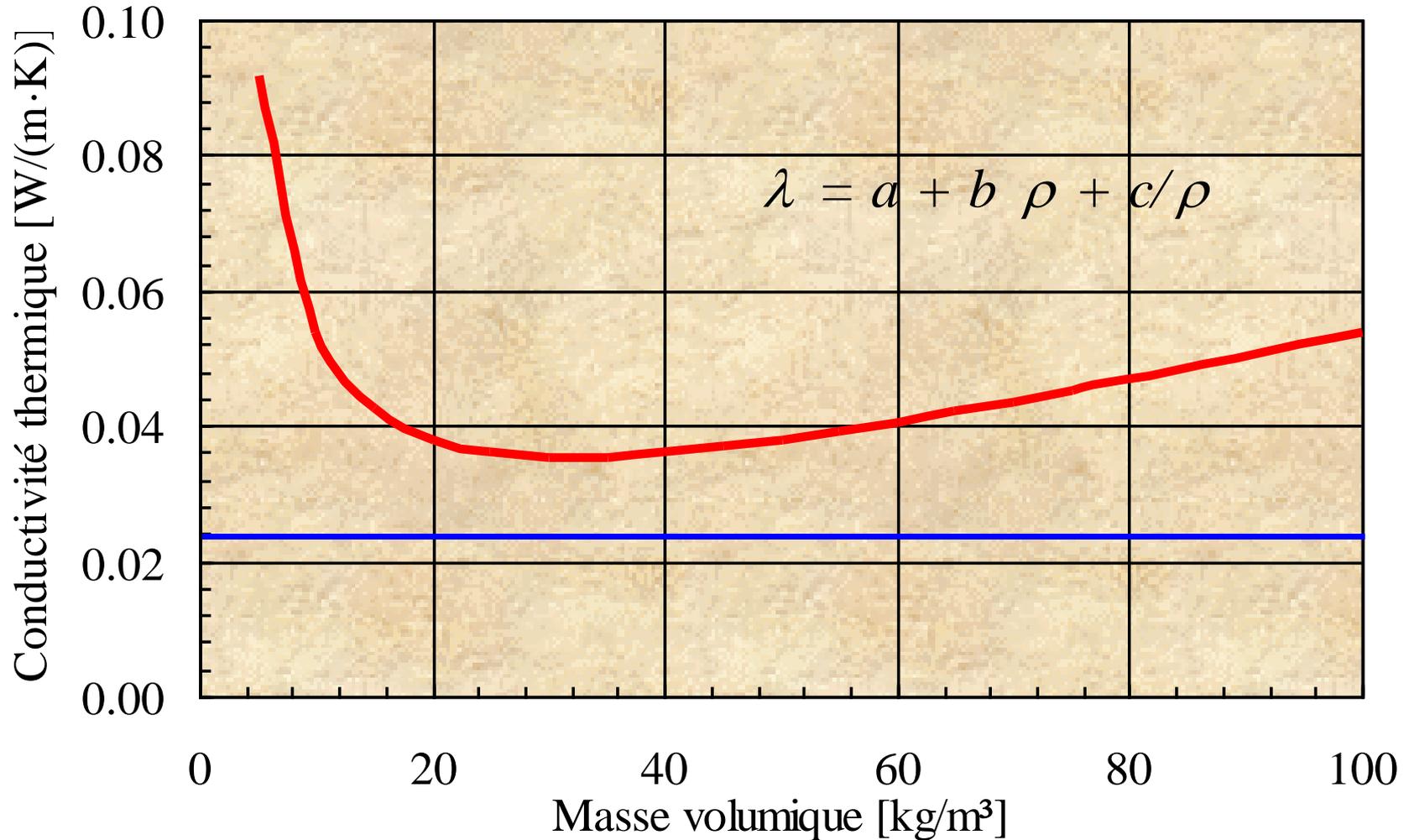
Conductivité thermique λ

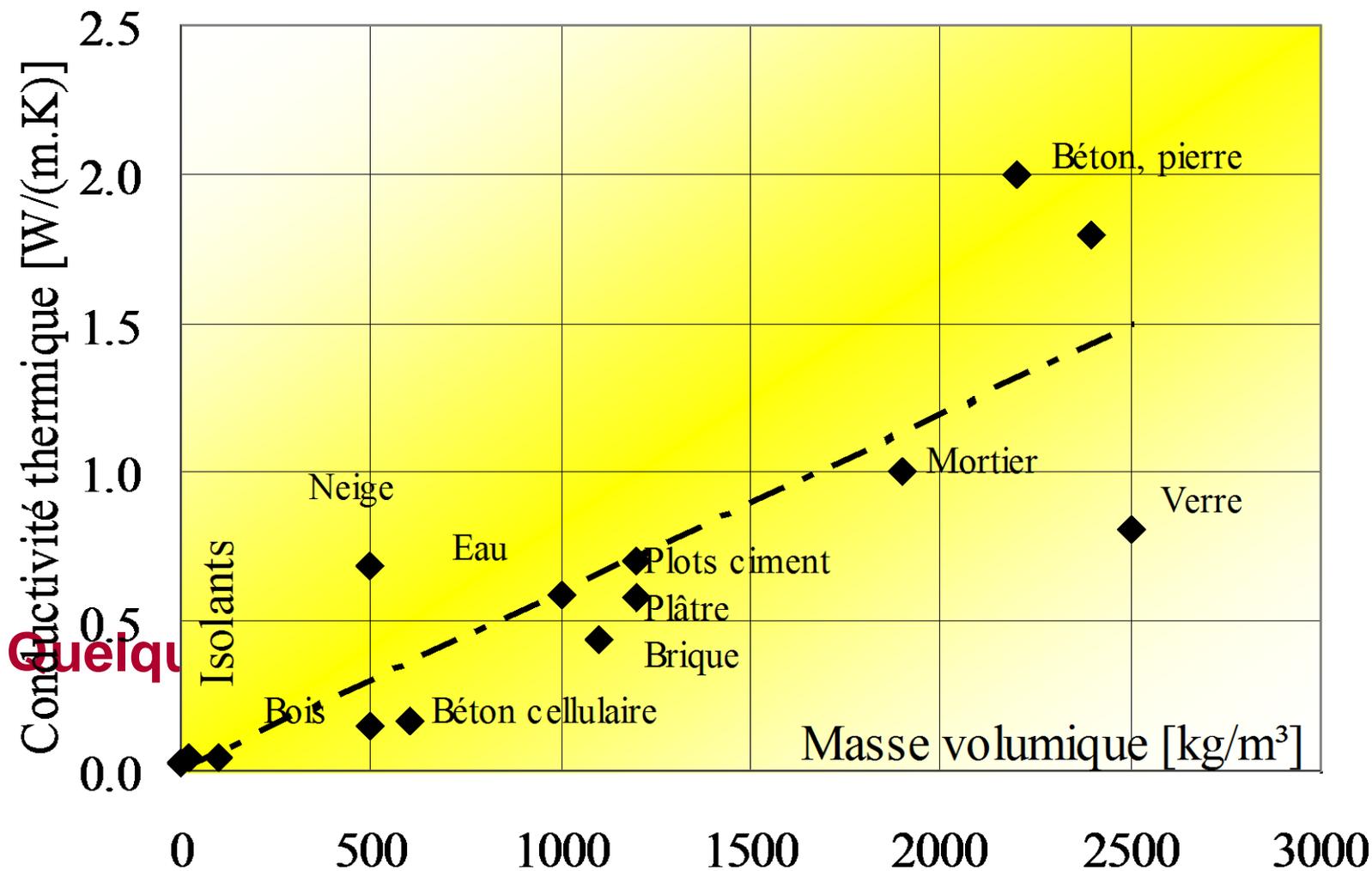
Quantité de chaleur passant en 1 seconde au travers de 1 m² d'une couche de matériau homogène de 1 mètre d'épaisseur, soumis à une différence de température de 1 degré.

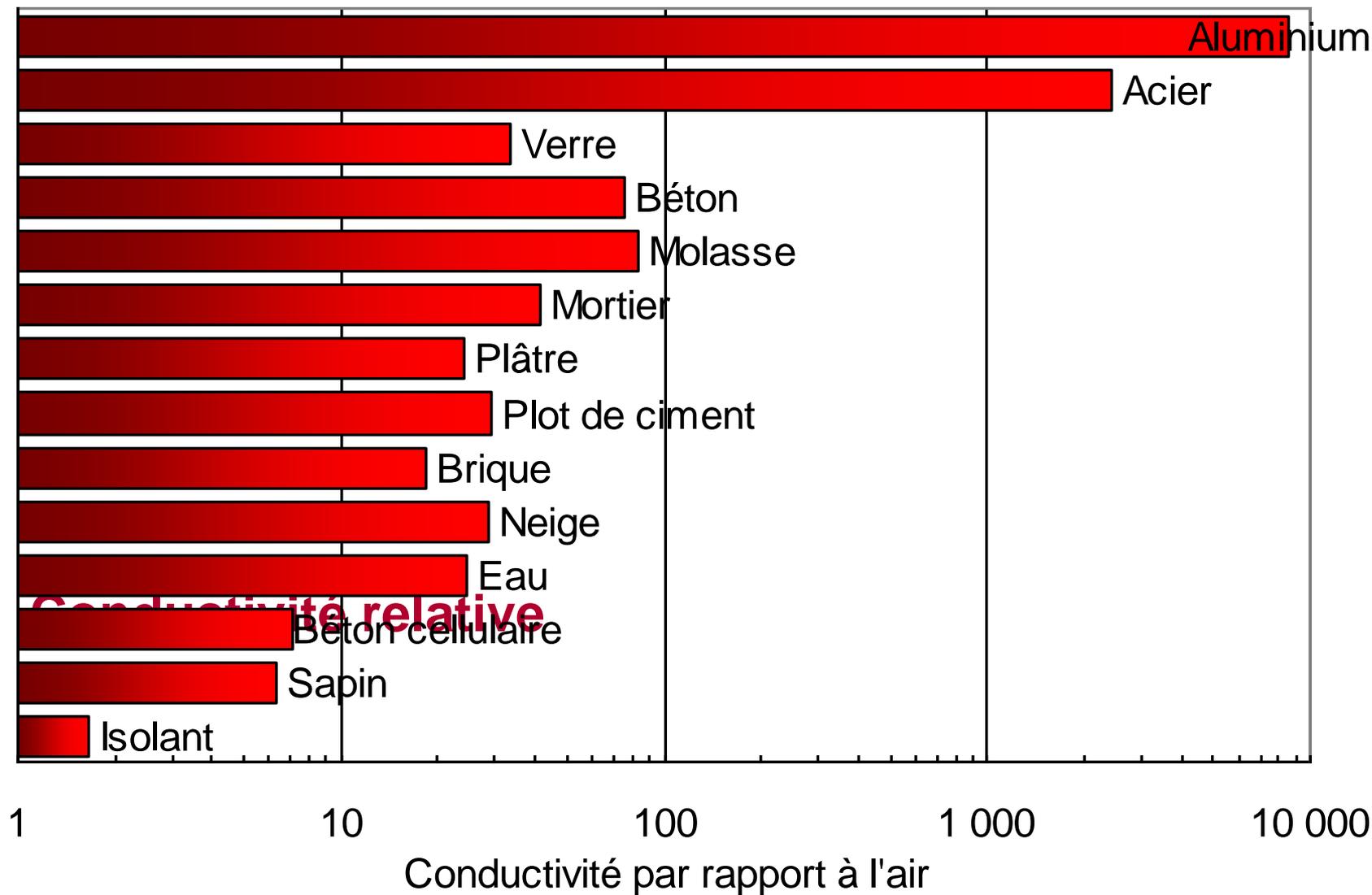


Conductivité thermique et densité

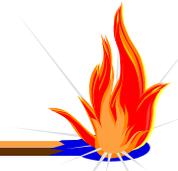
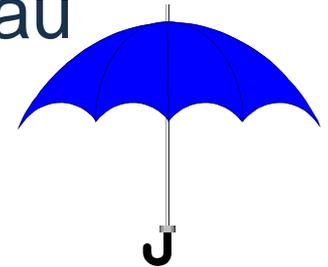
(matériau isolant fibreux)







- ▶ Conductivité thermique
- ▶ Résistance mécanique (traction compression)
- ▶ Etanchéité à l'air
- ▶ Résistance à la diffusion de vapeur d'eau
- ▶ Faible absorption d'eau
- ▶ Stabilité dimensionnelle
- ▶ Résistance au feu
- ▶ Comportement à la chaleur
- ▶ Qualités acoustiques
- ▶ Prix



Effets des isolants thermiques

- ▶ Isolation thermique
- ▶ Protection incendie
- ▶ Isolation acoustique
 - contre les bruits aériens
 - contre les bruits de choc
- ▶ Absorption acoustique



Qualités de matériaux isolants

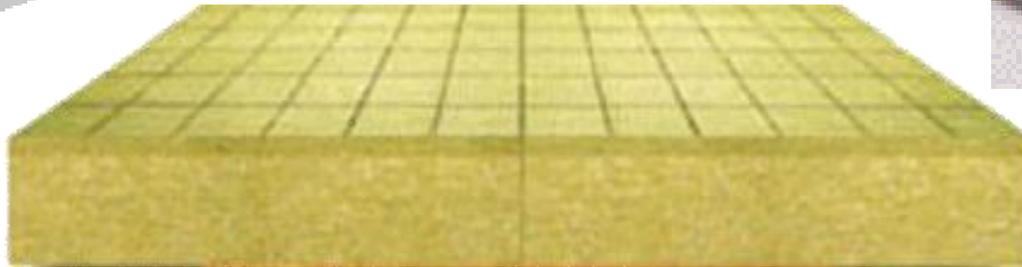
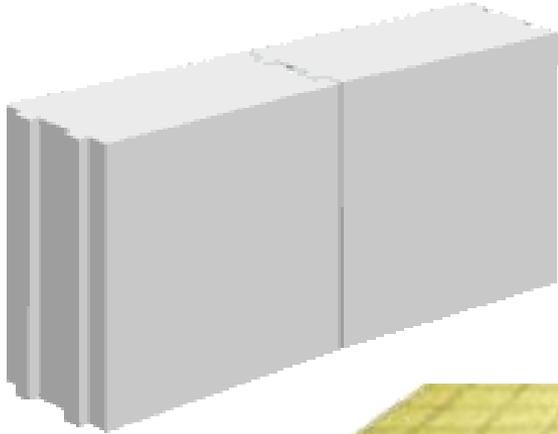
Applications											
Matériau	Pouvoir isolant	Densité	Résistance au feu	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau μ	Résistance à l'eau	Résistance à 10% de compression [kPa]	Résistance à la traction [kPa]	Étanchéité à l'air	Résistance à la chaleur	Absorption acoustique bruits de choc	Absorption acoustique bruits aériens
Laine minérale légère	+	--	++	--	0	--	--	--	+		++
Laine minérale dense	++	-	++	--	0	0	-	--	++	++	+
Mousse de verre	+	+	++	++	++	++	++	++	++	--	
Béton cellulaire	--	++	++	-	-	++	+	+	++	--	
PUR	++	-	0	-	0	+	+	0	++	-	--
Urée Formaldéhyde	+	--	+	--	-	--	--	--	0		
PS expansé	+	--	+	+	0	+	+	0	0	-	--
PS extrudé	++	0	+	++	+	+	++	0	0	-	--
Fibres de bois	0	+	0	0	--	+	--	-	+	+	++
Paille et ciment	0	++	+	0	--	+	0	-	+	0	+
Liège	+	+	+	+	-	+	0	+	++	+	-

++ : Très élevé +: élevé 0 : moyen, acceptable - : bas --: très bas

Case vide: ne s'applique pas.

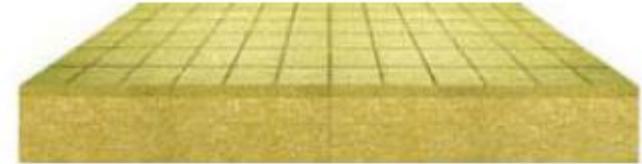
D'après "Essais comparatifs", OFQC 1983.

Les matériaux isolants



Différents isolants sur le marché

- **Matériaux fibreux inorganiques**
 - La fibre de verre (ISOVER) et la laine de roche (ROCKWOOL, FLUMROC) sont tous deux fabriqués en fibrant par centrifugation un liquide vitreux obtenu par fusion de minéraux. Les fibres sont enduites d'une colle (bakélite) et calandrées pour en faire des nattes ou des plaques.
 - Ces matériaux présentent une excellente résistance au feu et de bonnes qualités acoustiques. Leur densité peut varier d'un facteur 10, ce qui permet de nombreuses applications.

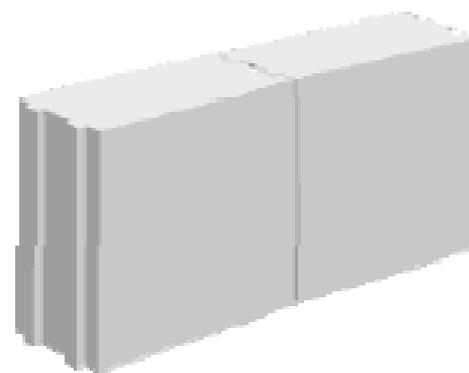


► **Matériaux fibreux organiques**

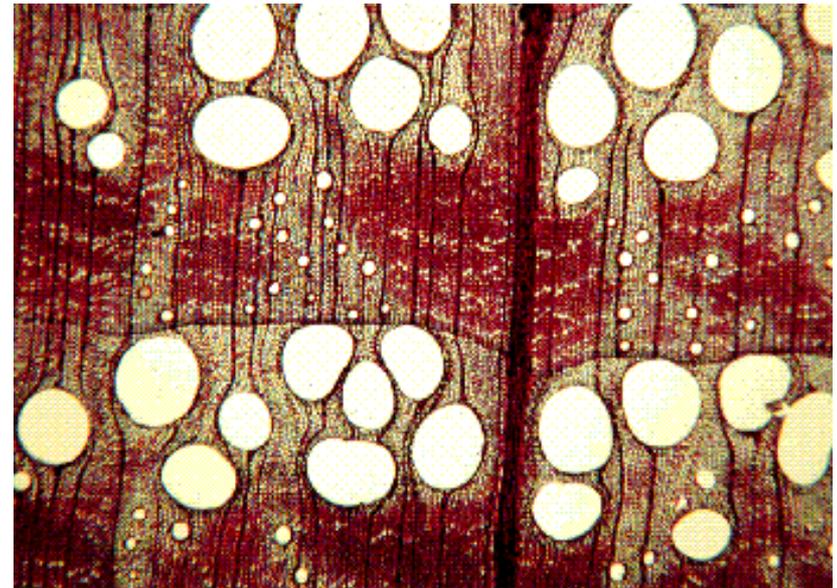
- Les fibres organiques naturelles ne sont plus guère utilisées dans le bâtiment, mais gardent un marché marginal dans la construction éco-biologique. La laine, le coton, la cellulose (papier mâché), la paille, et autres fibres de plantes (dont le chanvre) peuvent être utilisés comme matériaux isolants. Des mesures doivent être prises pour que ces matériaux résistent au feu, à l'humidité et aux parasites.

► **Mousses inorganiques**

- La **mousse de verre (FOAMGLAS, CORIGLAS)** est obtenue en faisant cuire au four un mélange de fine poudre de verre avec un peu poudre de graphite,
- Le **béton cellulaire autoclavé (YTONG)** est expansé par addition de poudre d'aluminium à un mortier.



- **Mousses organiques**
 - Ce sont les mousses de matières plastiques telles que le **polyuréthane (PUR)**, le **polystyrène (PE)**, **l'uréeformaldéhyde (UF)**, le **PVC**, le **polyéthylène, etc.**
- **Matériaux ligneux**
 - Les bois légers, la paille agglomérée, les panneaux de fibre de bois peuvent être utilisés comme isolants.



► *Liège*

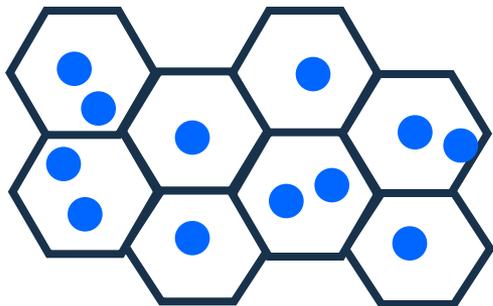
- Le liège est un isolant naturel qui a beaucoup été utilisé, notamment en panneaux de déchets agglomérés au bitume, pour les toitures plates. Son prix fait qu'il est actuellement remplacé par les matériaux synthétiques.



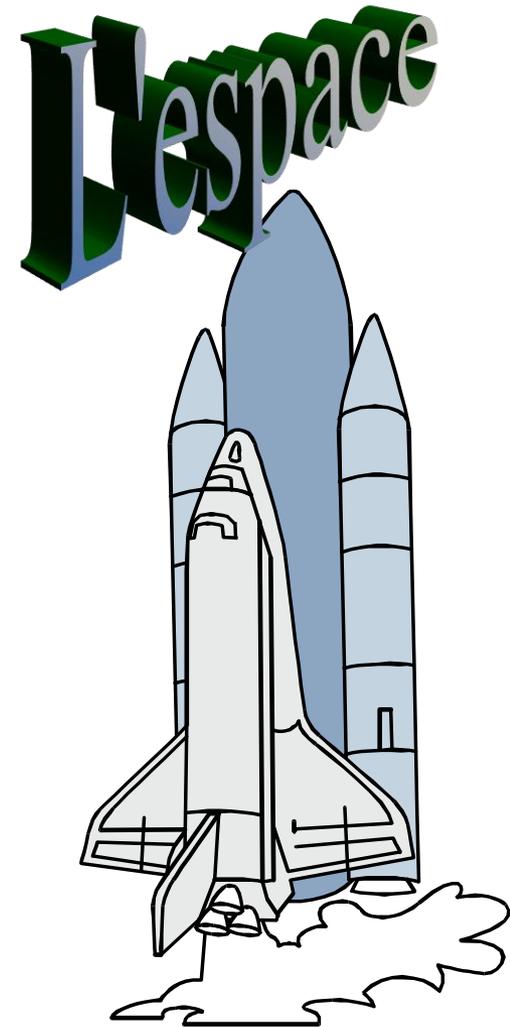
Isolations exceptionnelles



Isolant
sous vide



La mousse
de silice



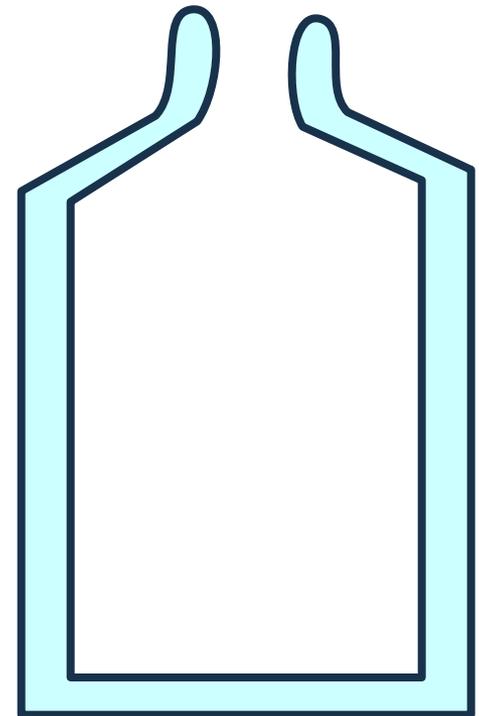
L'espace

- ▶ Le vide interdit la convection et la conduction
- ▶ Seul le rayonnement reste
- ▶ Une tenue réfléchissante assure une isolation thermique presque parfaite.



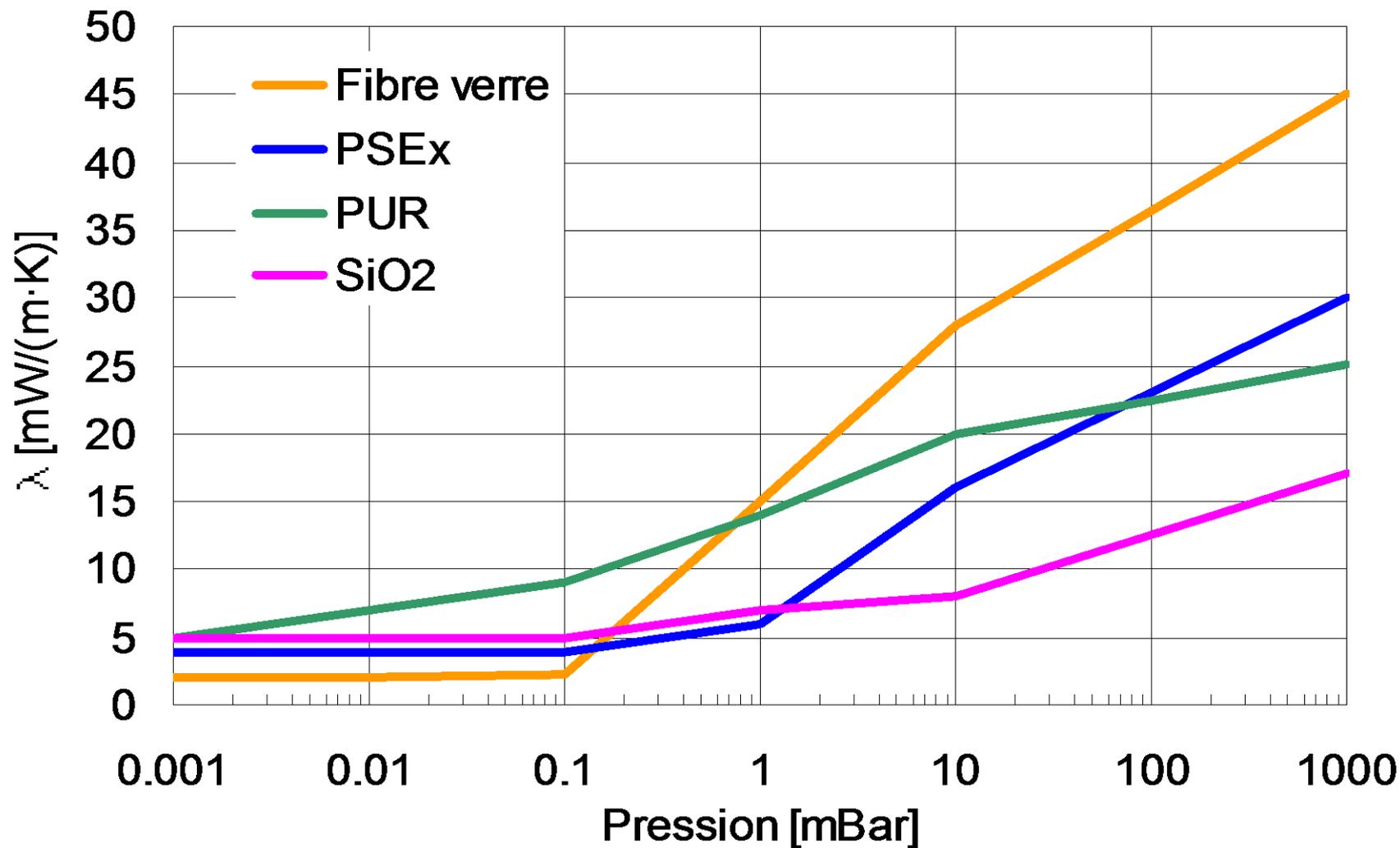
Bouteille "Thermos", vase de Dewar

- ▶ Le vide entre les deux parois supprime la convection et la conduction
- ▶ Les parois métallisées réduisent le rayonnement
- ▶ Il ne reste que le col dans lequel la conduction demeure

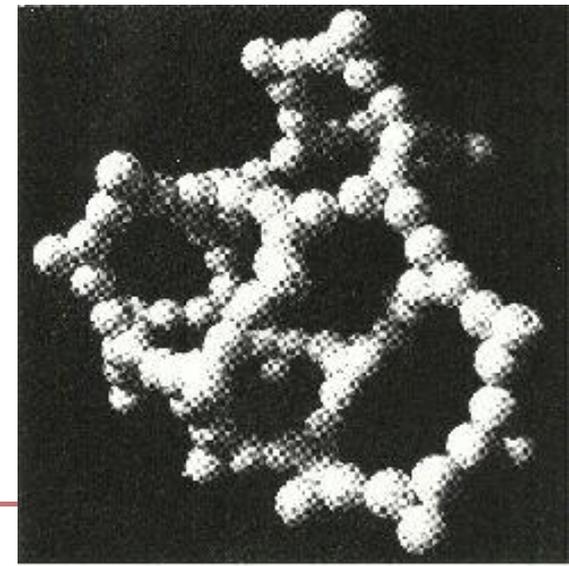




Conductivité thermique et pression



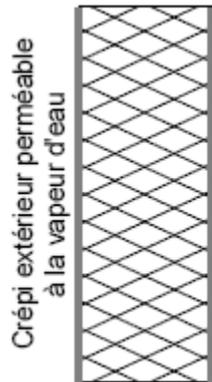
- ▶ Mousse de quartz obtenue par dessiccation du silicagel à pression et températures critiques
- ▶ Dimensions de pores \ll libre parcours moyen, donc conduction réduite à pression atmosphérique
- ▶ $\lambda < 0,017 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ à 1 bar
 $\lambda < 0,005 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ à 0,1 mbar



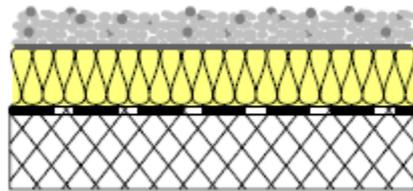
- ▶ La conductivité thermique des gaz diminue avec leur masse moléculaire
- ▶ Ar, Kr, Xe, Fréons, SF₆ utilisés pour isoler dans:
 - Lampes à incandescence
 - Vitrages isolants
 - Certaines mousses (PUR notamment)

Applications des isolants thermiques

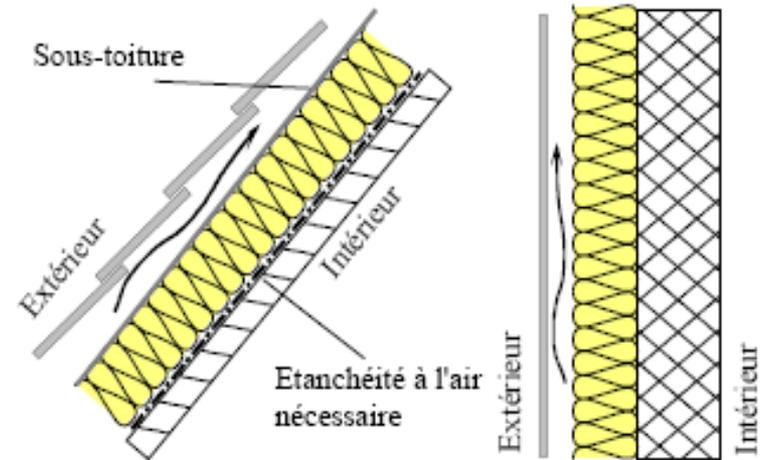
Parois homogènes



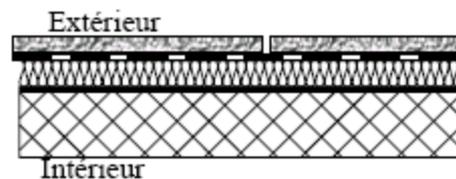
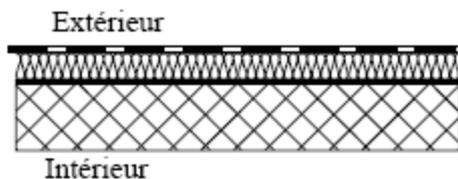
Toiture inversée



Toitures et parois ventilées

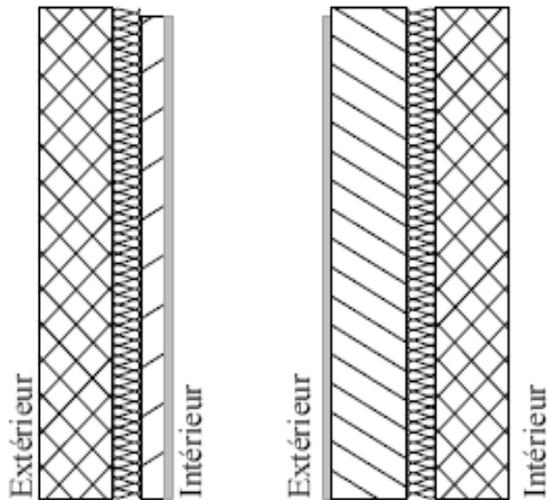


Dalles toiture plates classiques, à gauche sans protection, à droite avec protection de l'étanchéité.

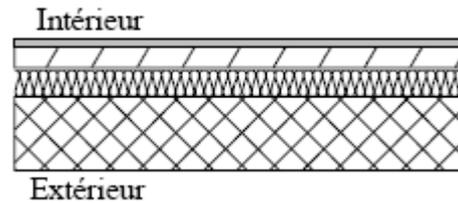


Applications des isolants thermiques

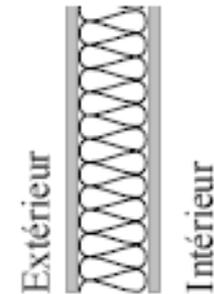
Isolation entre murs



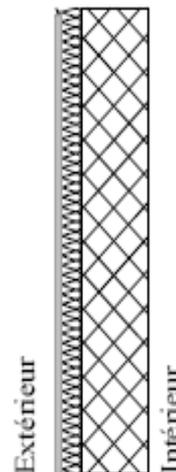
Dalles planchers



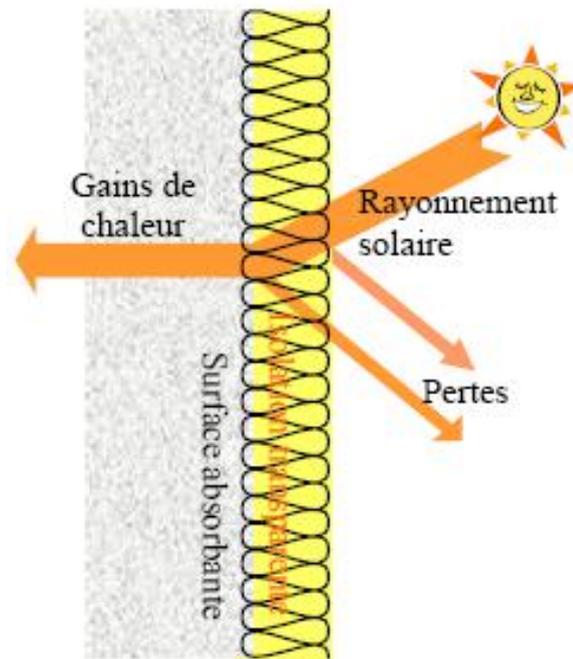
Panneau léger



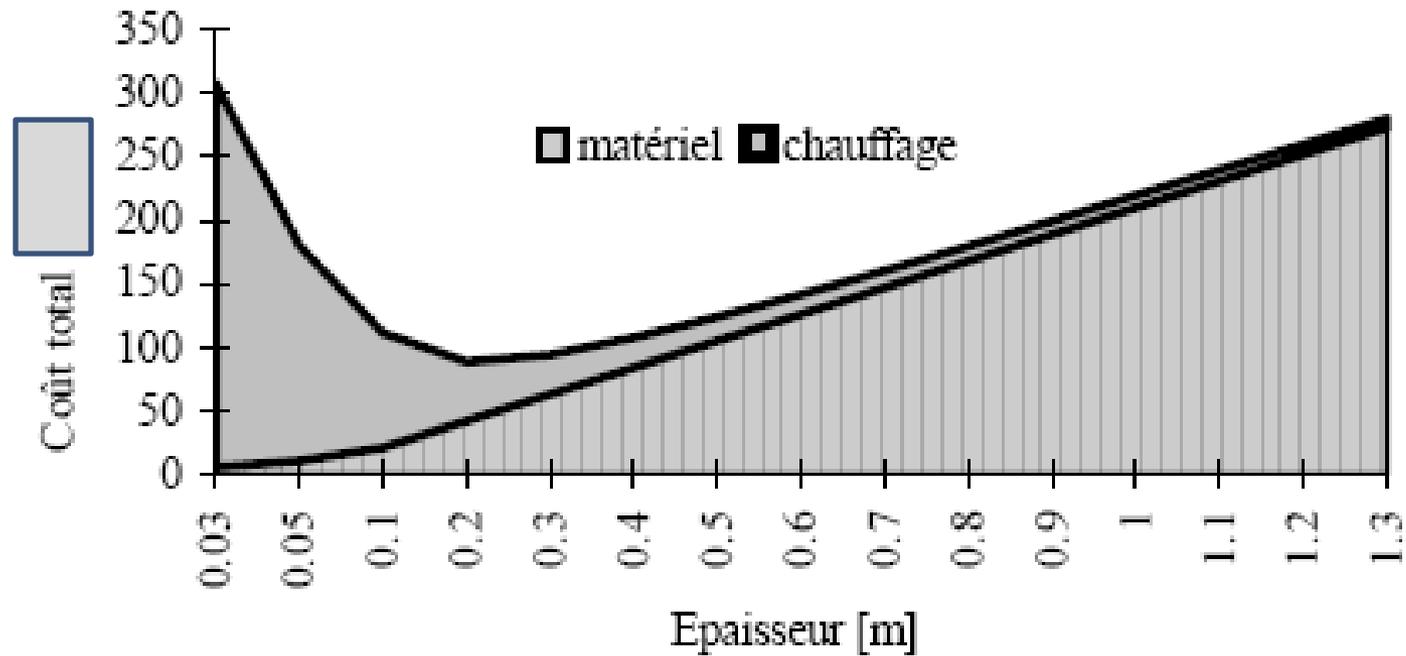
Isolation extérieure compacte



Isolation transparente



Epaisseur optimale



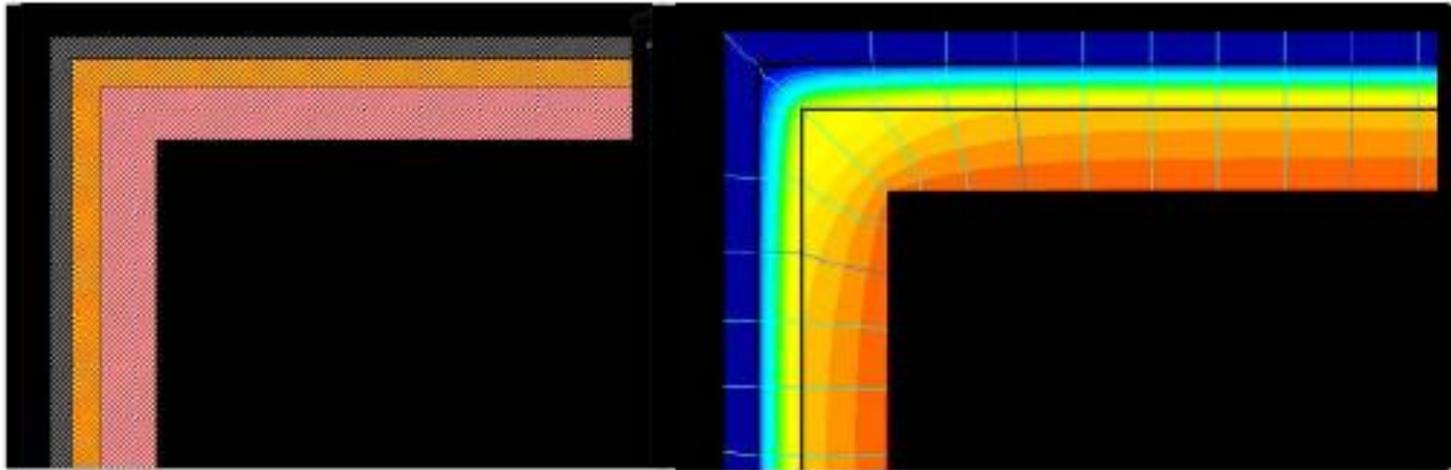
$$C_{final} = P_i \cdot e + T \cdot DJ \cdot 86400 / \eta_{ch} \cdot \frac{P}{R_i + e / \lambda}$$

$$e_{opt,fin} = \sqrt{T \cdot DJ \cdot 86400 / \eta_{ch} \cdot \frac{P \cdot \lambda}{P_i} - R_i \cdot \lambda}$$

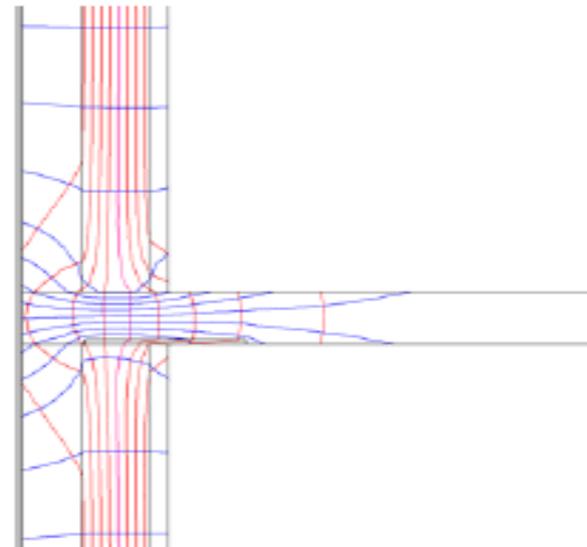
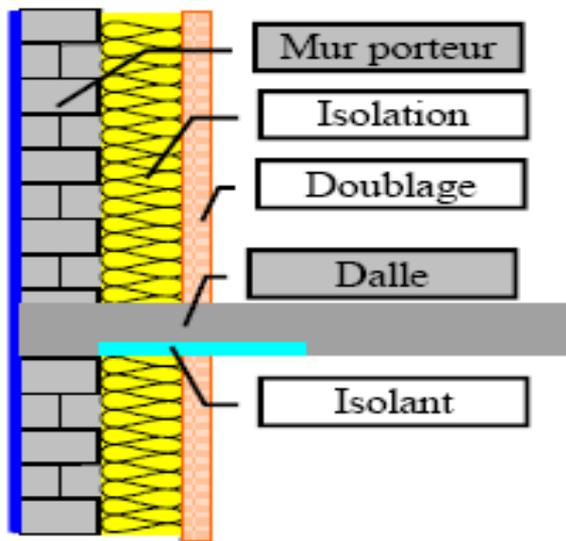
- e : épaisseur d'isolant (m)
- λ: conductivité thermique du matériau isolant (W/m.K)
- Pi: Prix du m³ d'isolant (Dhs/m³)
- Ri: résistance initiale de l'élément de construction (nu)
- DJ: nombre de degrés-jour pour le climat considéré
- T: durée de vie du bâtiment
- P: prix de l'énergie de chauffage (Dhs/Joule)
- η_{ch} : rendement de la production de chaleur

$$DJ = \sum_{\theta_i > \theta_e} (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)$$

Ponts thermiques

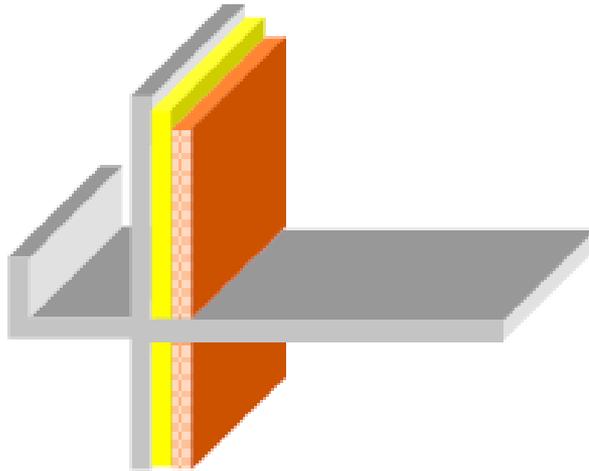


Pont thermique géométrique: angle d'un bâtiment.

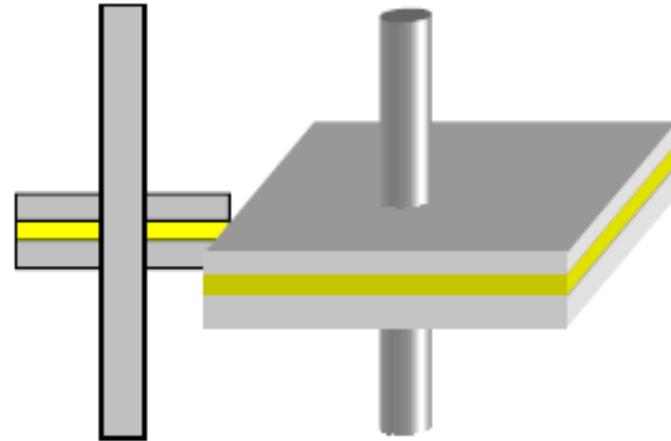


Pont thermique matériel: dalle posée sur un mur porteur avec isolation intérieure.

Ponts thermiques

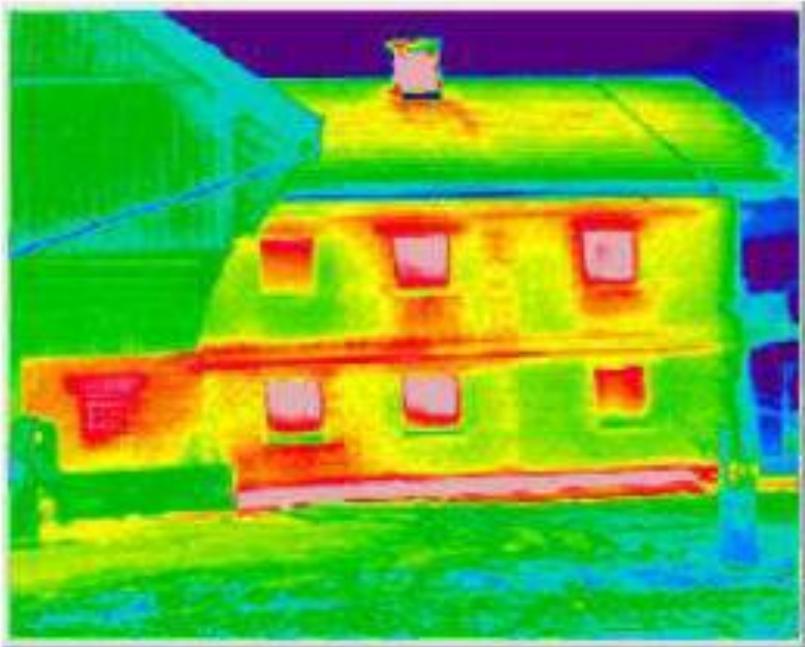


Pont thermique linéique



Pont thermique ponctuel

Comment reconnaître un pont thermique?



Les ponts thermiques doivent donc être évités, mais cela n'est pas toujours possible et dans ce cas, il faut en tenir compte dans le bilan thermique du bâtiment.

- Les déperditions thermiques (en Watt) d'une paroi plane sans pont thermique sont:

$$\Phi = A.U(\theta_i - \theta_e)$$

- Une méthode simplifiée permettant de tenir compte des ponts thermiques dans le calcul des déperditions de chaleur consiste à attribuer aux ponts thermiques de ce type un coefficient de transmission thermique linéique ψ , en $W/(m \cdot K)$, qui, multiplié par la longueur du pont thermique (par exemple le périmètre de la dalle), s'ajoute aux déperditions des parois:

$$\Phi = [A.U + l.\Psi](\theta_i - \theta_e)$$

- On attribue de même un coefficient de transmission thermique ponctuel χ (prononcer ksi), en W/K, aux ponts thermiques locaux constitués par des fixations ou des éléments en forme de barres traversant la couche isolante. Si on tient compte de tous les éléments de l'enveloppe, le coefficient de déperditions par transmission de celle-ci vaut:

$$H_T = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j$$

Parois pleines

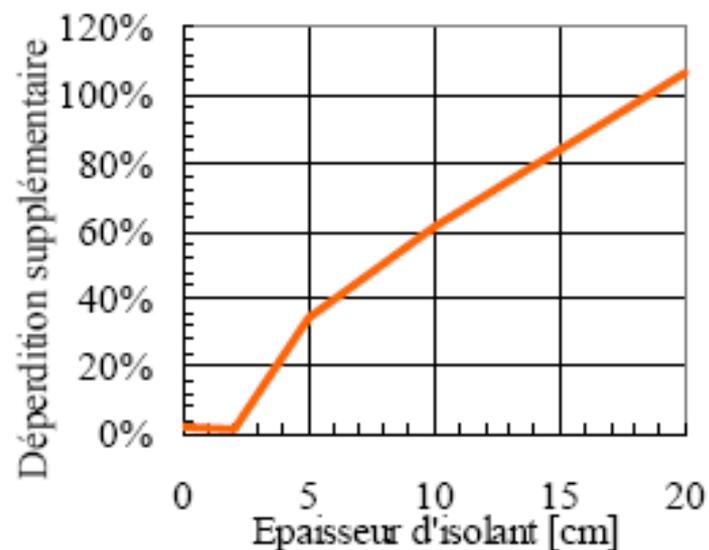
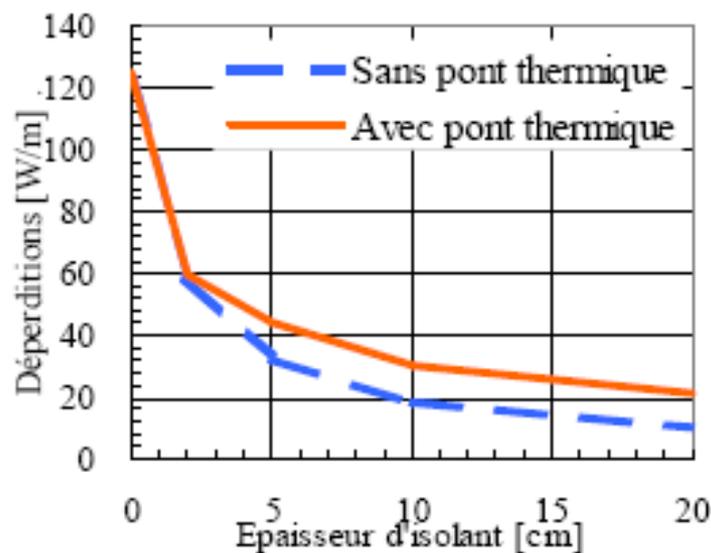
Ponts thermiques ponctuels

Ponts thermiques linéaires

- Ce coefficient H_T (W/K) est la puissance nécessaire pour compenser les déperditions par transmission au travers de l'enveloppe pour 1 ° C entre l'intérieur et l'extérieur.

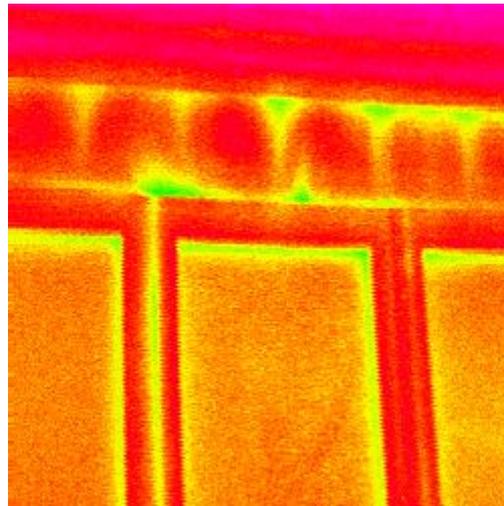
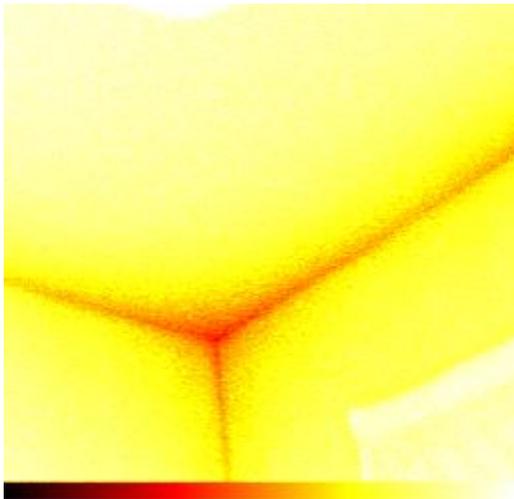
Exemple d'effet de pont thermique

► Cas d'isolation intérieure:



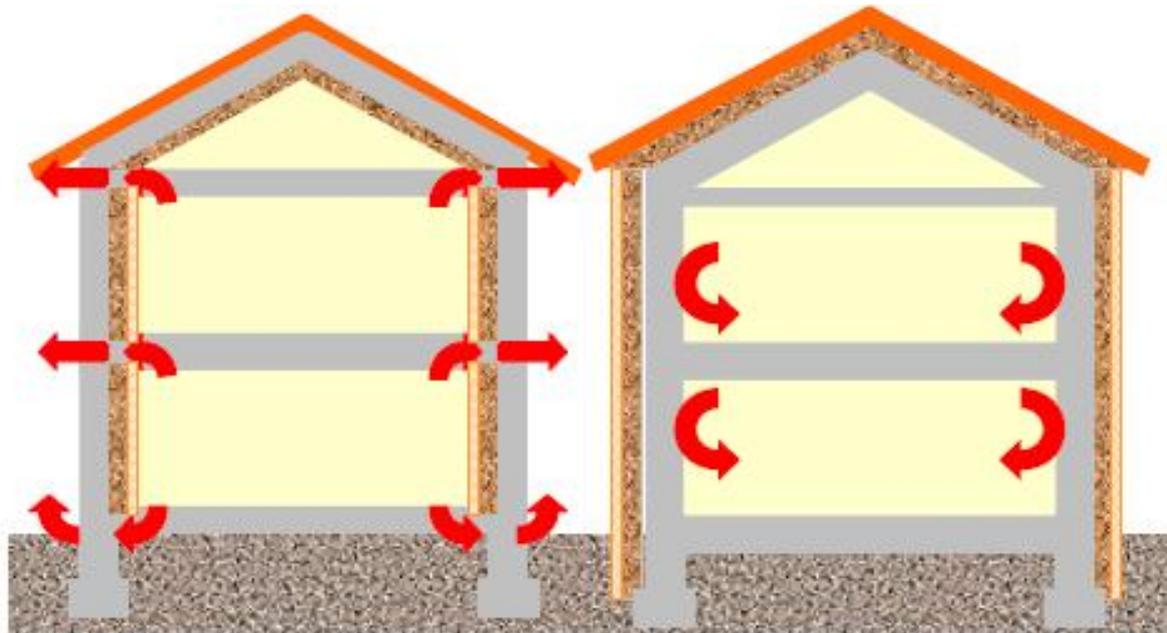
Le système d'isolation intérieure n'a plus de sens si l'épaisseur d'isolant dépasse 5 cm.

Autres effets des ponts thermiques



Comment éviter les ponts thermiques?

- Certains ponts thermiques, tels que les cadres de portes et fenêtres, les supports de balcons, les raccords entre éléments d'enveloppe sont inévitables.



Isolation intérieure

Isolation extérieure

Transmission thermique des fenêtres

- Les fenêtres comportent de nombreux ponts thermiques. Pour simplifier le calcul des déperditions, on détermine en premier lieu les aires du vitrage et du cadre. Puis on calcule approximativement le coefficient de transmission thermique global d'une fenêtre, ***U_f*** par:

$$U_f = \frac{A_v U_v + A_c U_c + L_v \psi_c}{A_v + A_c}$$

où:

U_v est le coefficient de transmission thermique du vitrage

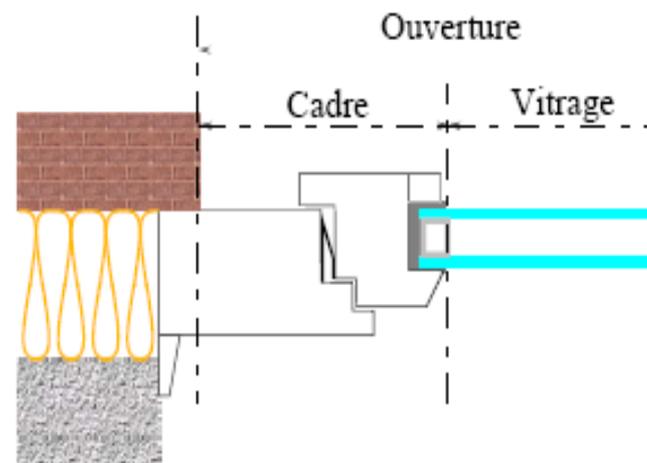
A_v est l'aire du vitrage (partie transparente)

U_c est le coefficient de transmission thermique du cadre

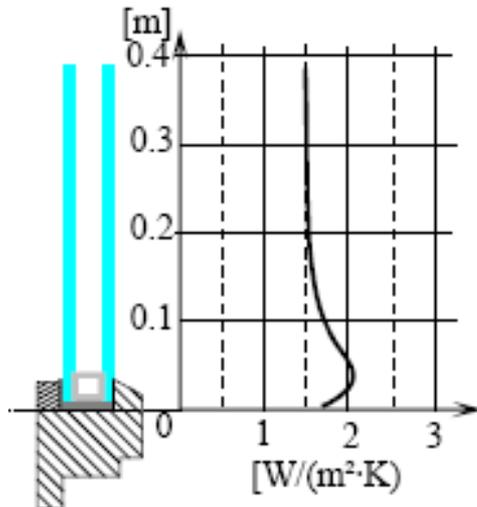
A_c est l'aire du cadre

L_v est le périmètre total des vitrages;

ψ_c le coefficient de transmission thermique linéique du cadre du vitrage.

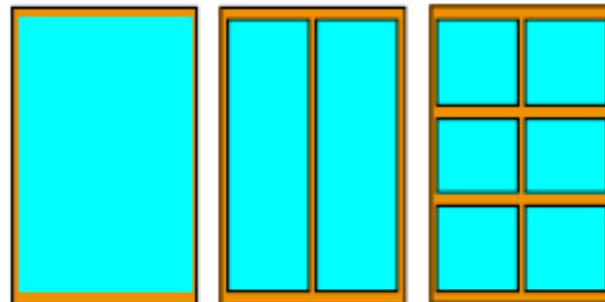


- Le profil d'aluminium ou d'autre matériau liant les glaces des vitrages isolants constitue un pont thermique dont il faut tenir compte. Les déperditions thermiques augmentent près des bords des vitrage, et ce presque indépendamment du type de cadre.



Pour $U_V = 1,2$ [W/(m²·K)] au centre:

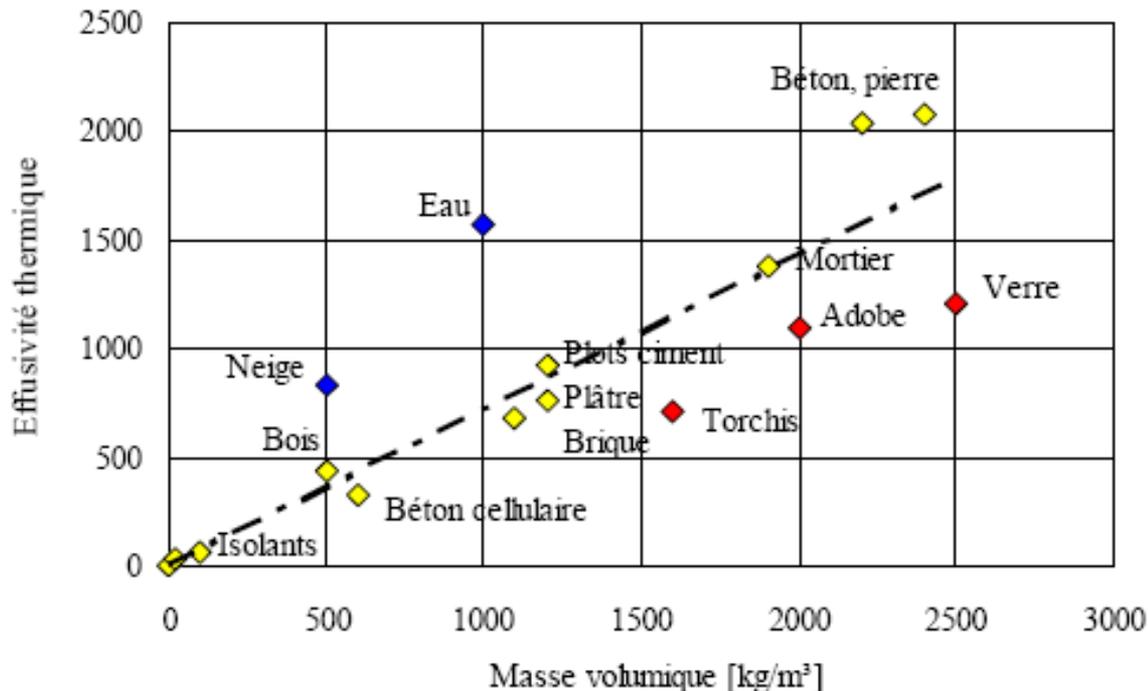
$U =$ 1,48 1,63 1,84 W/(m²·K)



$\psi_c = 0,06$ W/(m²·K)

Caractéristiques thermiques des matériaux

- ▶ La capacité d'accumulation de chaleur d'un matériau donné est fonction de son **effusivité thermique** b [$J / (s^{1/2} m^2 K)$] donnée par:



$$b = \sqrt{\lambda \rho c}$$

$$c = 1000 J/(kg.K)$$

- ▶ La **diffusivité thermique** a exprime la "vitesse" avec laquelle la chaleur pénètre dans un matériau, ou la profondeur à laquelle la chaleur a un effet après une période de temps donnée. Cette diffusivité se calcule par:

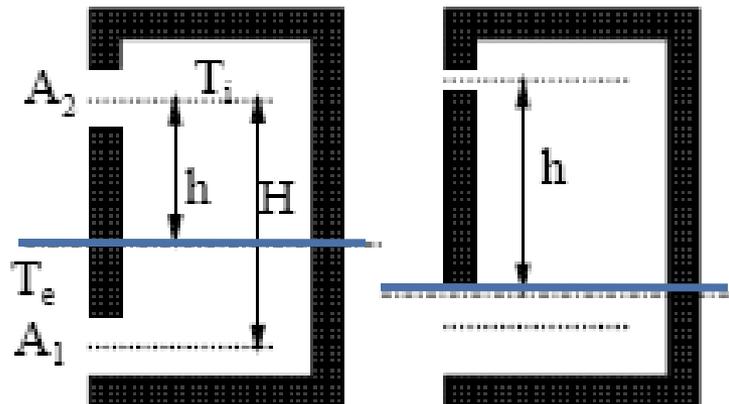
$$a = \frac{\lambda}{\rho c}$$

- ▶ L'aération influence au moins quatre domaines de la physique des bâtiments:
 - la qualité de l'air et en conséquence la santé des occupants,
 - les déperditions de chaleur, donc la consommation d'énergie,
 - les problèmes de condensation interne et superficielle, donc la durabilité du bâtiment,
 - le confort thermique, notamment les courants d'air.

Effet cheminée

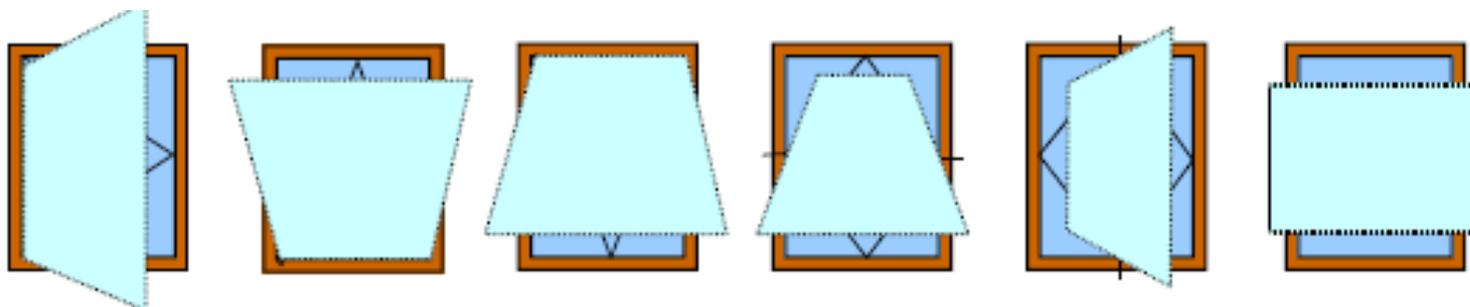


- Les pressions sur l'enveloppe s'ajustent de manière à équilibrer les débits entrant et sortant. Le niveau auquel la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur est nulle est le **niveau neutre**.



$$h = \frac{H}{1 + \frac{T_e}{T_i} \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}$$

Ouvertures de ventilation



A la française

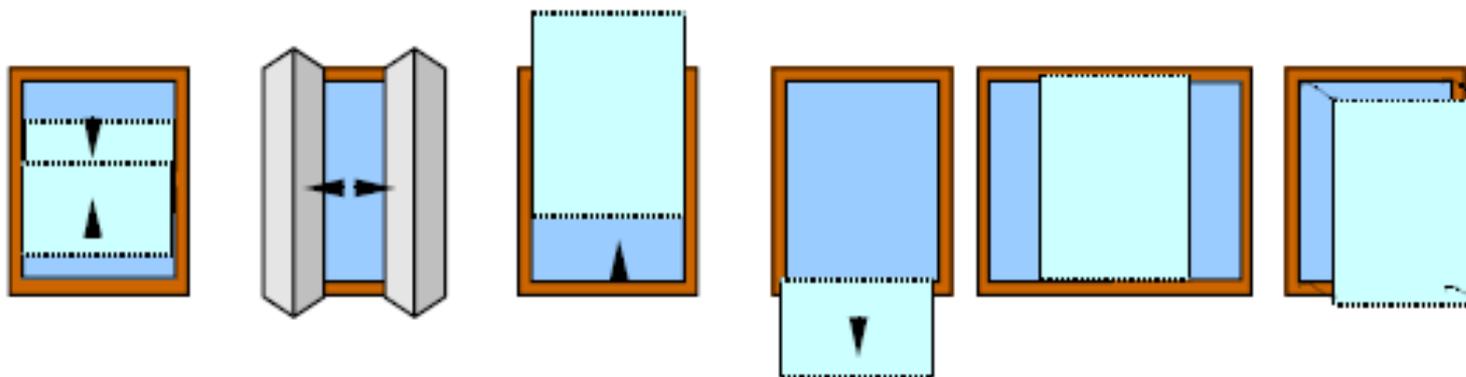
Tombant

Projeté

Basculant

Pivotant

Tournant



Guillotine

Acordéon

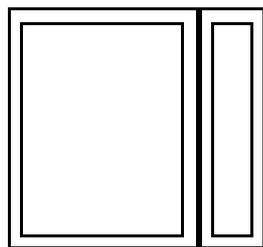
Levant

Escamotable

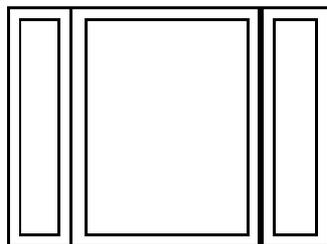
Coulissant

Parallèle

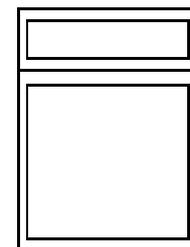
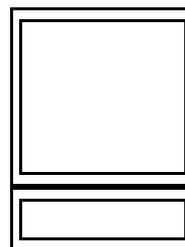
Types d'ouvrants



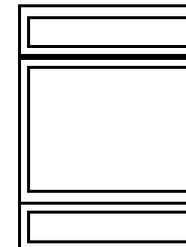
Panneau latéral



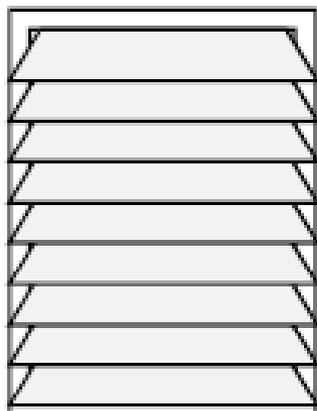
Panneau inférieur



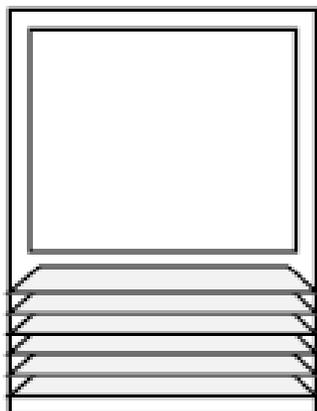
Imposte



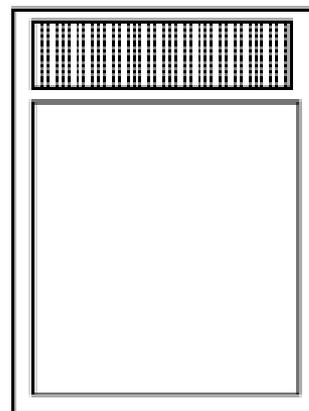
Combinaisons d'ouvrants



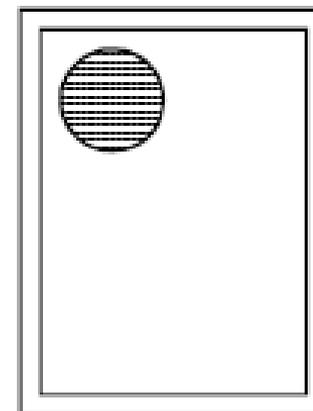
Vantelles



Lamelles an allège



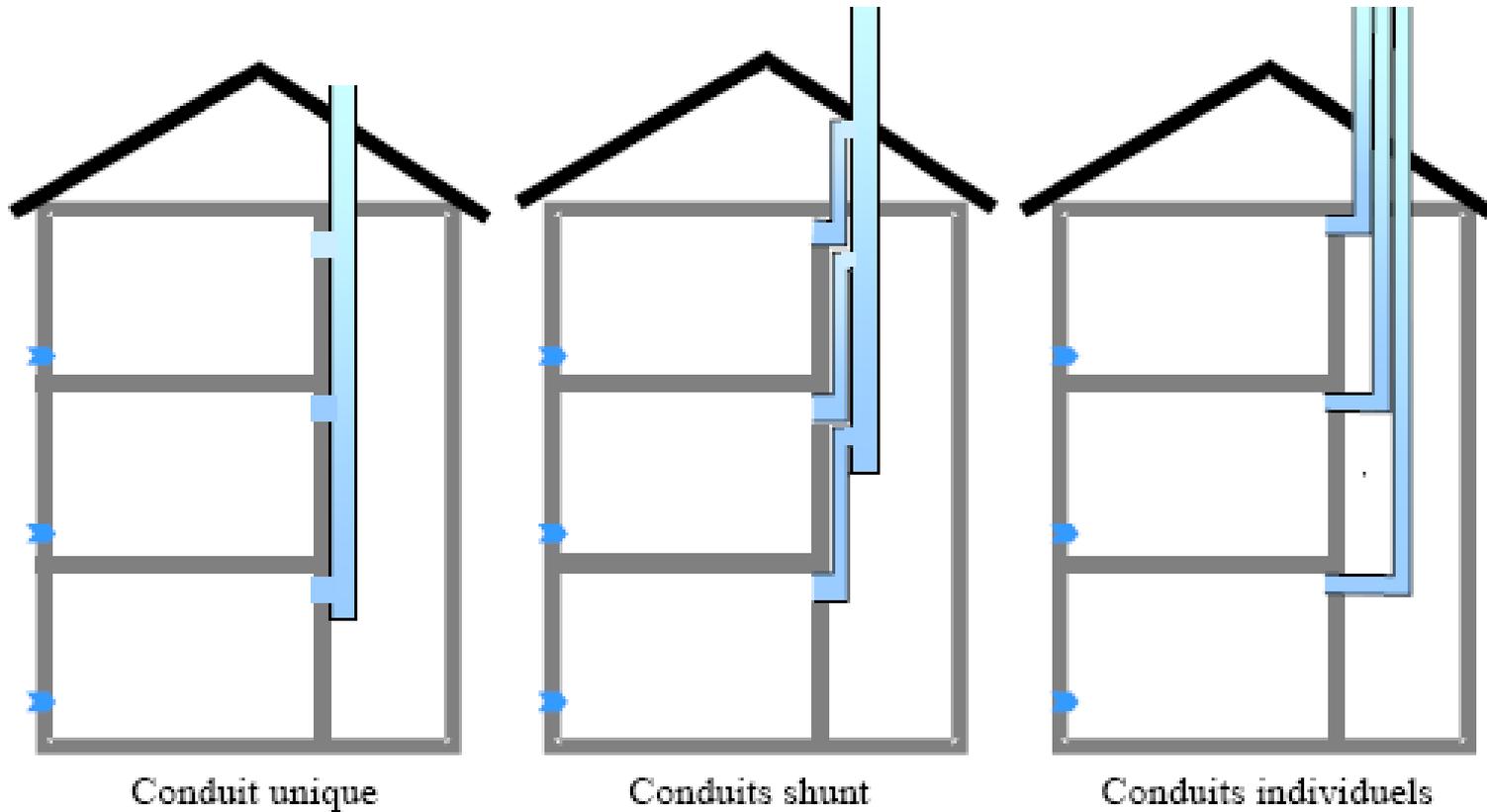
Grille réglable



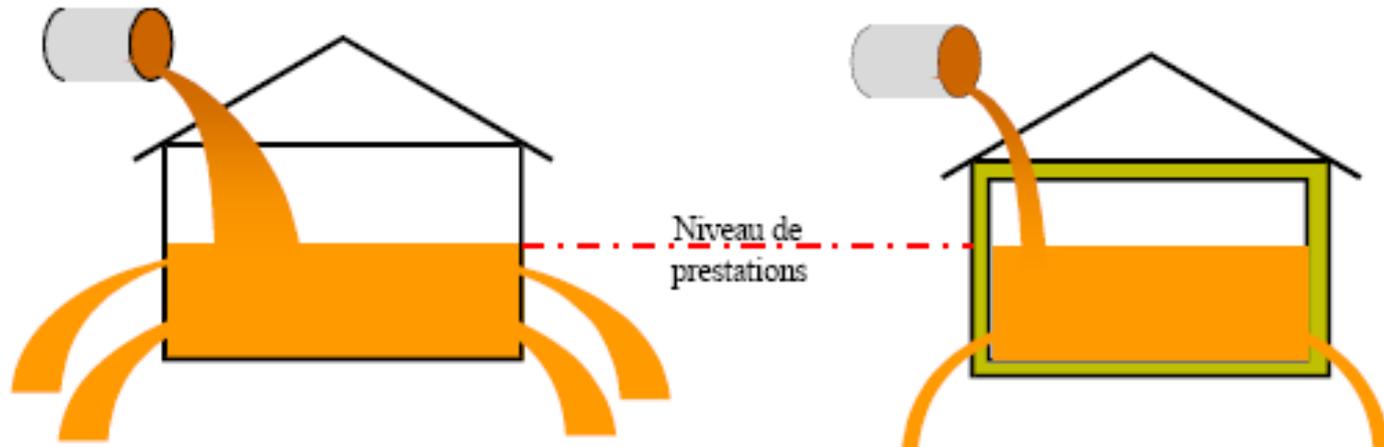
Ventilateur

Ouvertures de ventilation

Conduits de ventilation naturelle

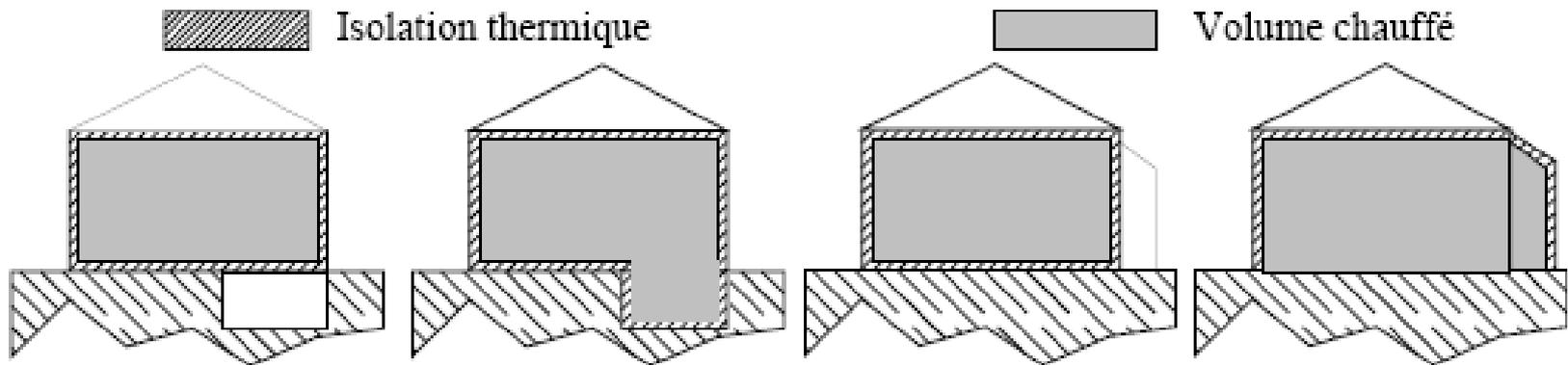


Bilan thermique d'un bâtiment



Délimitation du système

- ▶ Avant de calculer le bilan, il convient de **délimiter le système étudié dans l'espace et dans le temps**, et de définir les utilisations de l'énergie et les vecteurs énergétiques que l'on va considérer.



► **Délimitation spatiale:**

consiste à définir les frontières du domaine étudié, au travers desquelles passent les flux d'énergie à calculer:

- l'enveloppe du bâtiment
- les compteurs d'entrée des sources d'énergie de réseau (électricité, gaz, chauffage à distance)
- les entrées des combustibles (mazout, charbon, bois)
- les surfaces de captage d'énergie solaire
- les raccordements d'entrée de l'eau froide
- les raccordements de sortie des égouts

- **Délimitation temporelle:**

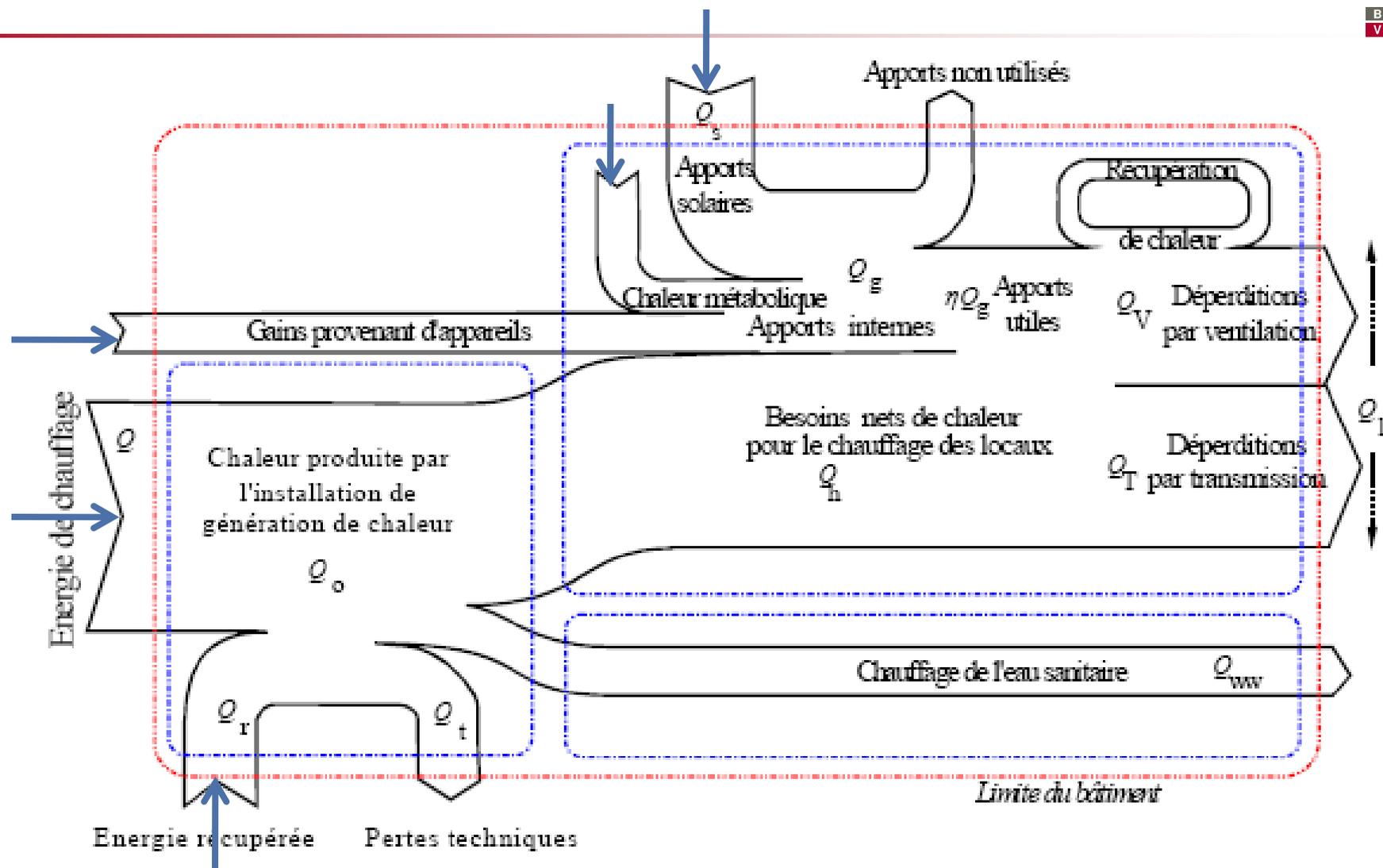
consiste à définir la ou les périodes de temps pendant lesquelles on désire connaître le bilan

- **Délimitation par utilisation et par vecteur**

permet de définir le système énergétique dont on s'occupe:

- le système de chauffage
- l'eau chaude
- la cuisson
- l'électroménager
- l'éclairage
- la climatisation
- les transports et télécommunications
- etc.

- ▶ Pour établir le diagramme de Sankey, il faut:
 - calculer l'ensemble des pertes thermiques par conduction et convection au travers de l'enveloppe;
 - déterminer les gains internes et solaires utiles. Le solde du bilan thermique constitue les besoins nets en énergie de chauffage;
 - déterminer les pertes de l'installation de chauffage, qui dépendent de l'installation de chauffage et de la consommation effective, qui elle même dépend des pertes;
 - calculer (s'il y a lieu) les autres besoins ou gains d'énergie du système délimité pendant la période considérée;



Bilan thermique instantané

► La chaleur produite dans le bâtiment est:

- soit évacuée ou perdue à l'extérieur,
- soit stockée momentanément dans le bâtiment.

$$P_c = P_T + P_V - (P_S - P_i) + S$$

Puissance nécessaire pour le chauffage

Pertes par transmission

Pertes par ventilation

Gains solaires

Gains internes

Chaleur accumulée dans le bâtiment

Bilan thermique moyen

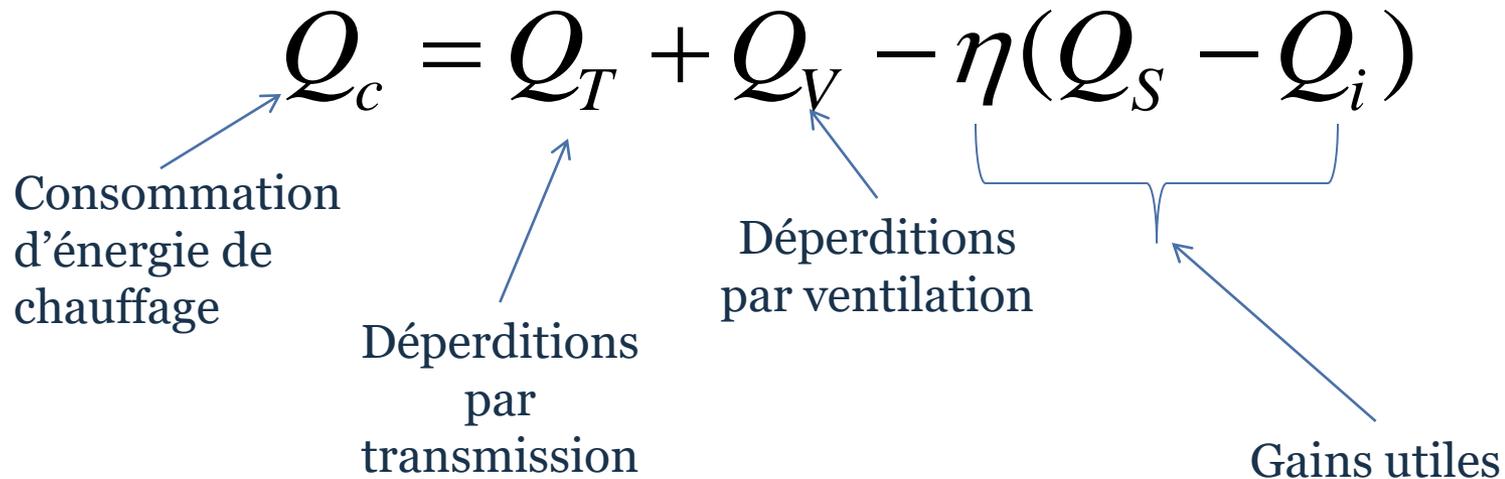
$$Q_c = Q_T + Q_V - \eta(Q_s - Q_i)$$

Consommation d'énergie de chauffage

Déperditions par transmission

Déperditions par ventilation

Gains utiles



Déperditions totales

- ▶ Les déperditions totales Q_l d'un bâtiment à une seule zone, donc à température intérieure constante et uniforme pour une période donnée peuvent s'exprimer en fonction de la différence de température moyenne entre l'intérieur et l'extérieur:

$$Q_l = H (\theta_i - \theta_e) t$$

Coefficient de déperditions du bâtiment

Température intérieure moyenne

Température extérieure moyenne

Durée de la période de calcul: en mois

$$H = H_T + H_V$$

Déperditions par transmission

- Le coefficient de déperditions par transmission H_T , se calcule par:

$$H_T = H_D + H_S + H_N$$

Coefficient de déperditions par transmission directe vers l'extérieur

Coefficient de déperditions par le sol

Coefficient de déperditions par transmission à travers les espaces non chauffés

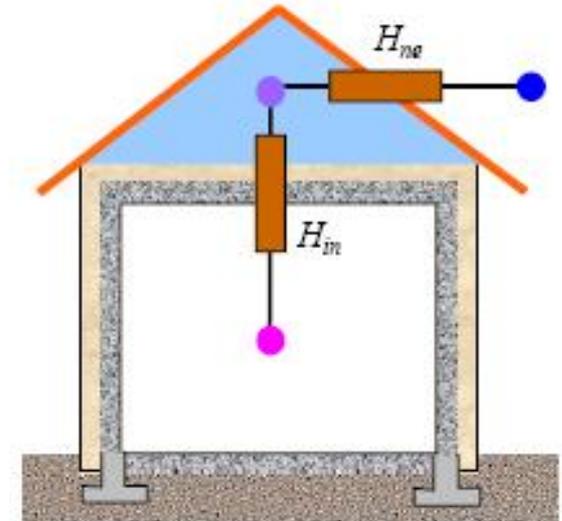
Transmission directe vers l'extérieur

$$H_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j$$

- A_i : aire de la paroi i de l'enveloppe du bâtiment
- U_i : coefficient de transmission thermique de la paroi i
- l_k : longueur du pont thermique.
- ψ_k : coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique.
- χ_j : coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique.

Transmission à travers les espaces non chauffés

$$H_N = H_{in} \frac{H_{ne}}{H_{ne} + H_{ni}}$$



Déperdition par le sol

$$H_s = A.U_0$$

Aire du sol situé sous le bâtiment

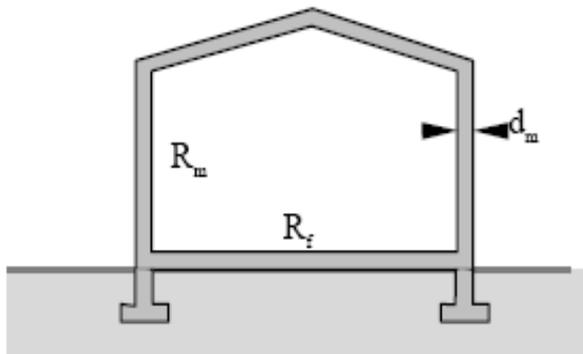
Coefficient de transmission thermique apparent

► Dalle sur sol:

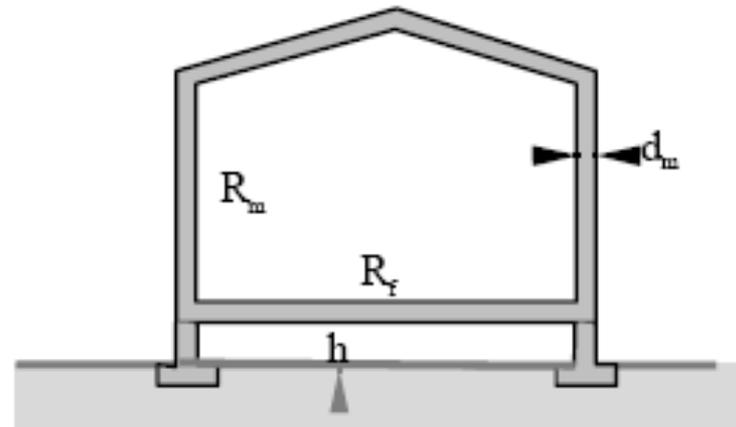
Dalle mal isolée:
$$U_0 = \frac{2\pi}{\pi B + d_t} \ln \left(\frac{\pi B}{d_t} + 1 \right)$$

Dalle bien isolée:
$$U_0 = \frac{\lambda}{0.457B + d_t}$$

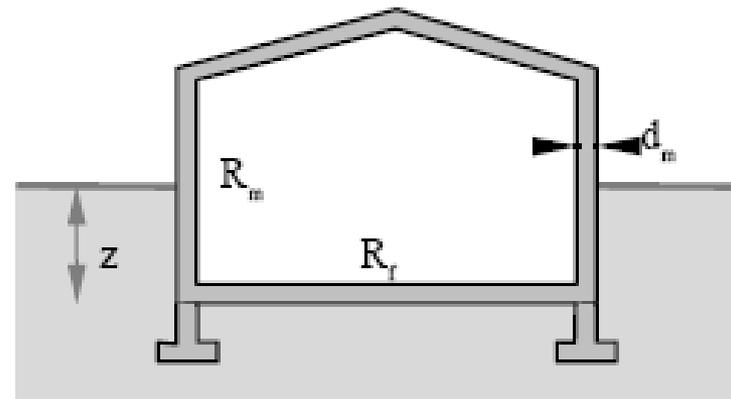
$$d_t = d_m + \lambda.R_f$$



► Dalle sur vide sanitaire:



► Sous sol chauffé:



Déperdition par ventilation

- La dépense d'énergie pour le conditionnement de l'air est:

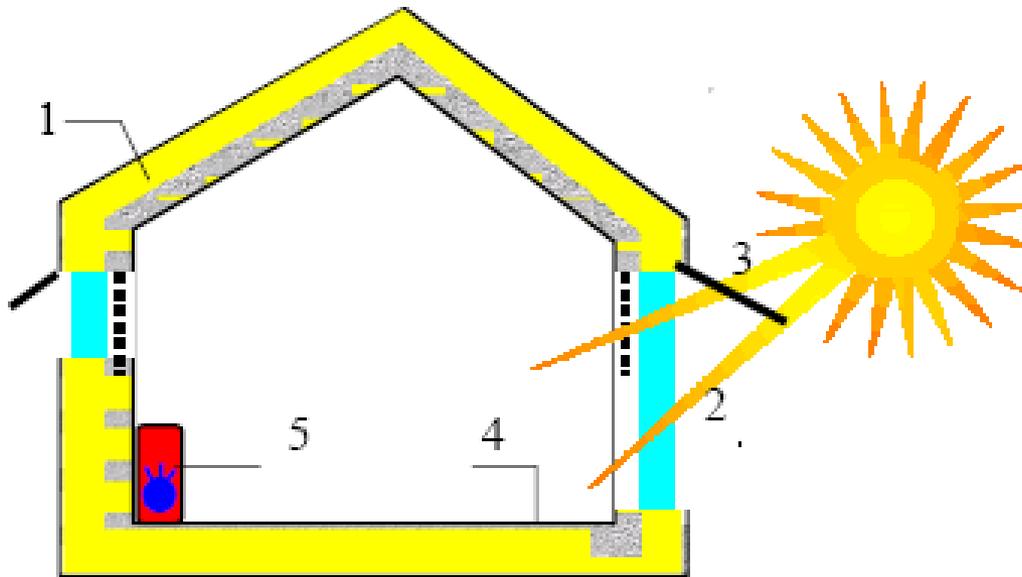
$$Q_V = m \cdot \Delta H (1 - \eta_r) = \rho \dot{V} t \Delta H (1 - \eta_r)$$

Annotations de l'équation :

- Q_V : Masse d'air ayant traversé le bâtiment
- ΔH : Différence d'enthalpie entre l'air intérieur et extérieur
- η_r : Rendement de récupération de chaleur sur l'air évacué
- \dot{V} : Débit d'air
- ρ : Masse volumique de l'air

Apports d'énergie solaire

► Principes du chauffage solaire passif:



1. Bonne isolation thermique
2. Grands vitrages côté soleil
3. Protections solaires mobiles
4. Structure massive pour accumuler la chaleur
5. Installation de chauffage et régulation adéquats.

$$Q_S = \sum_j Q_{Sj} = \sum_j I_{Sj} \sum_n A_{Snj}$$

Irradiance solaire sur une surface unitaire d'orientation j

Aire réceptrice équivalente de la surface n d'orientation j

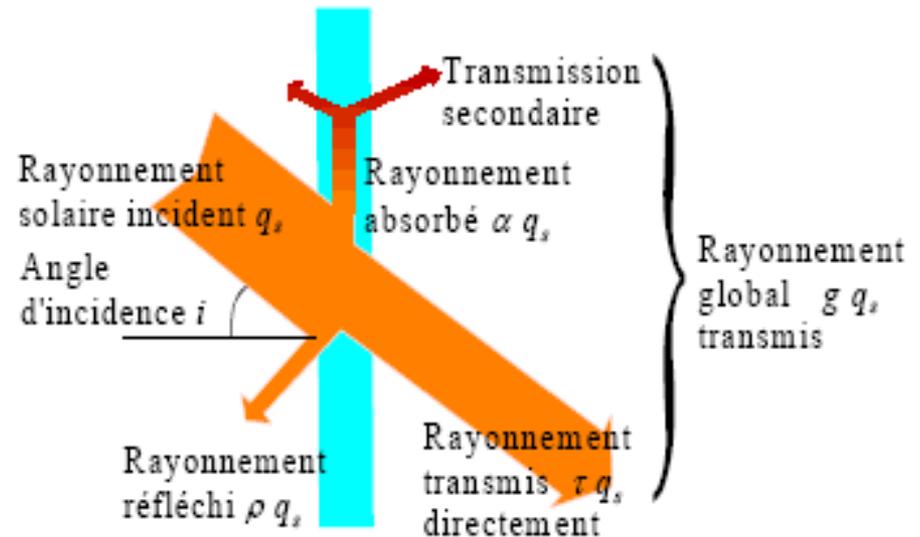
Exemple d'un vitrage

$$A_S = A \cdot F_S \cdot F_F \cdot g$$

Aire du vitrage

Facteur d'ombre
de la surface n

Facteur de réduction
pour les encadrements
des vitrages



Gains internes

- Ces gains de chaleur "gratuits" proviennent de la chaleur métabolique des habitants et de la chaleur provenant des appareils, éclairage, etc.;

Puissance dégagée par habitant

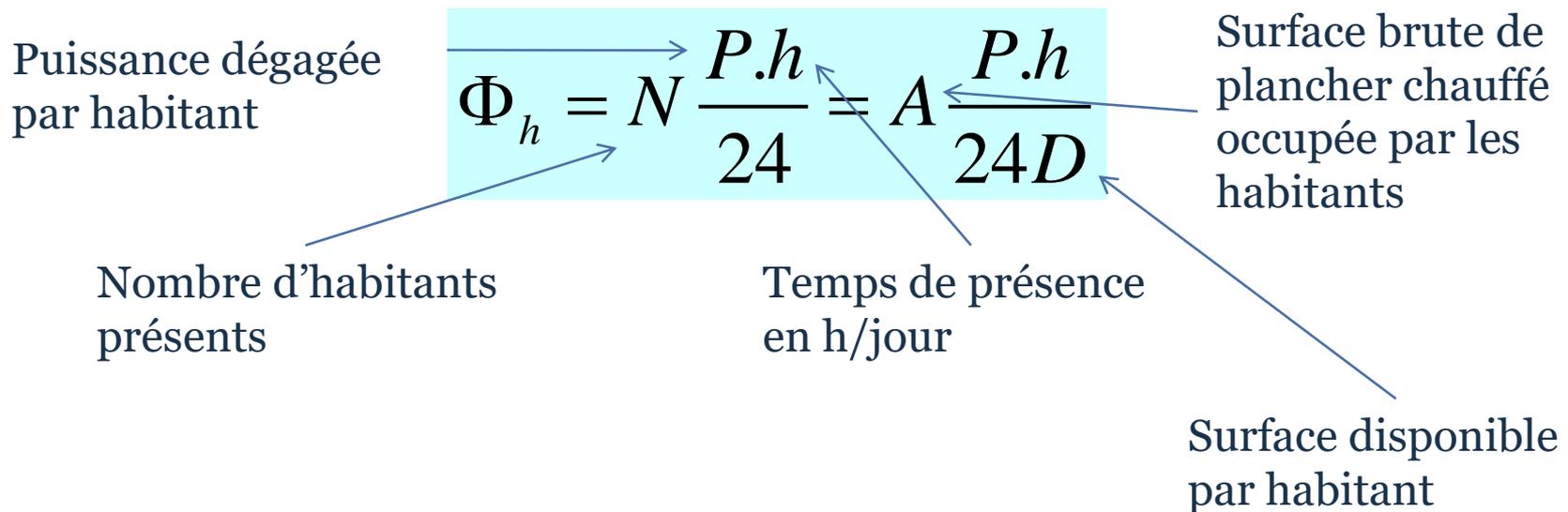
$$\Phi_h = N \frac{P.h}{24} = A \frac{P.h}{24D}$$

Nombre d'habitants présents

Temps de présence en h/jour

Surface brute de plancher chauffé occupée par les habitants

Surface disponible par habitant



- ▶ La puissance fournie par les appareils est généralement calculée à partir de la puissance électrique P_{el} consommée par les appareils :

$$\Phi_a = P_{el} \cdot f$$

facteur de correction tenant compte du fait que les appareils électriques ne se trouvent pas tous dans le volume chauffé (par ex. éclairage extérieur, congélateur dans la cave, etc.)

Besoins de chauffage

$$Q_h = Q_l - \eta Q_g$$

Déperditions

Taux d'utilisation

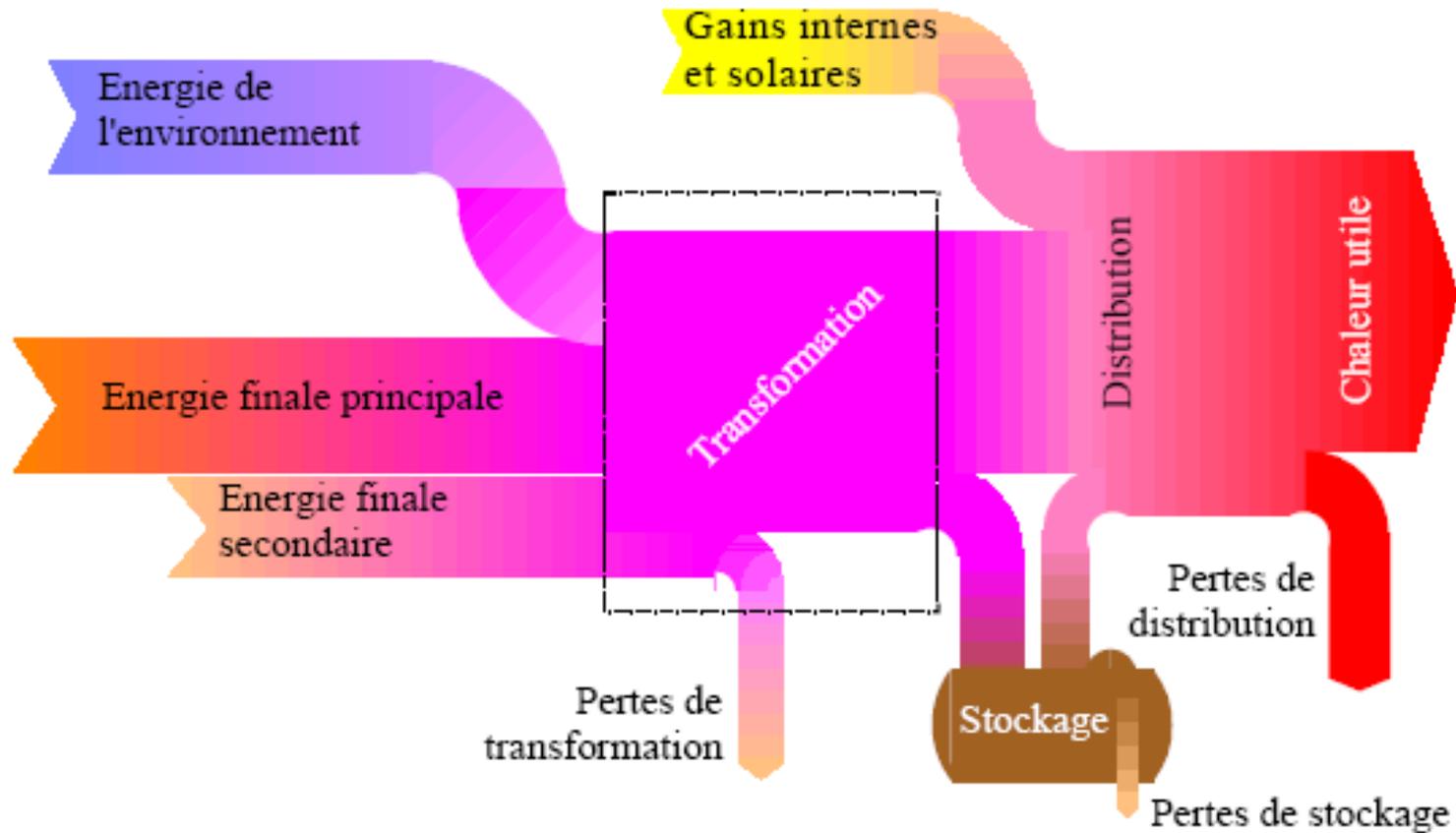
Gains

Installations techniques

Energie finale / énergie utile

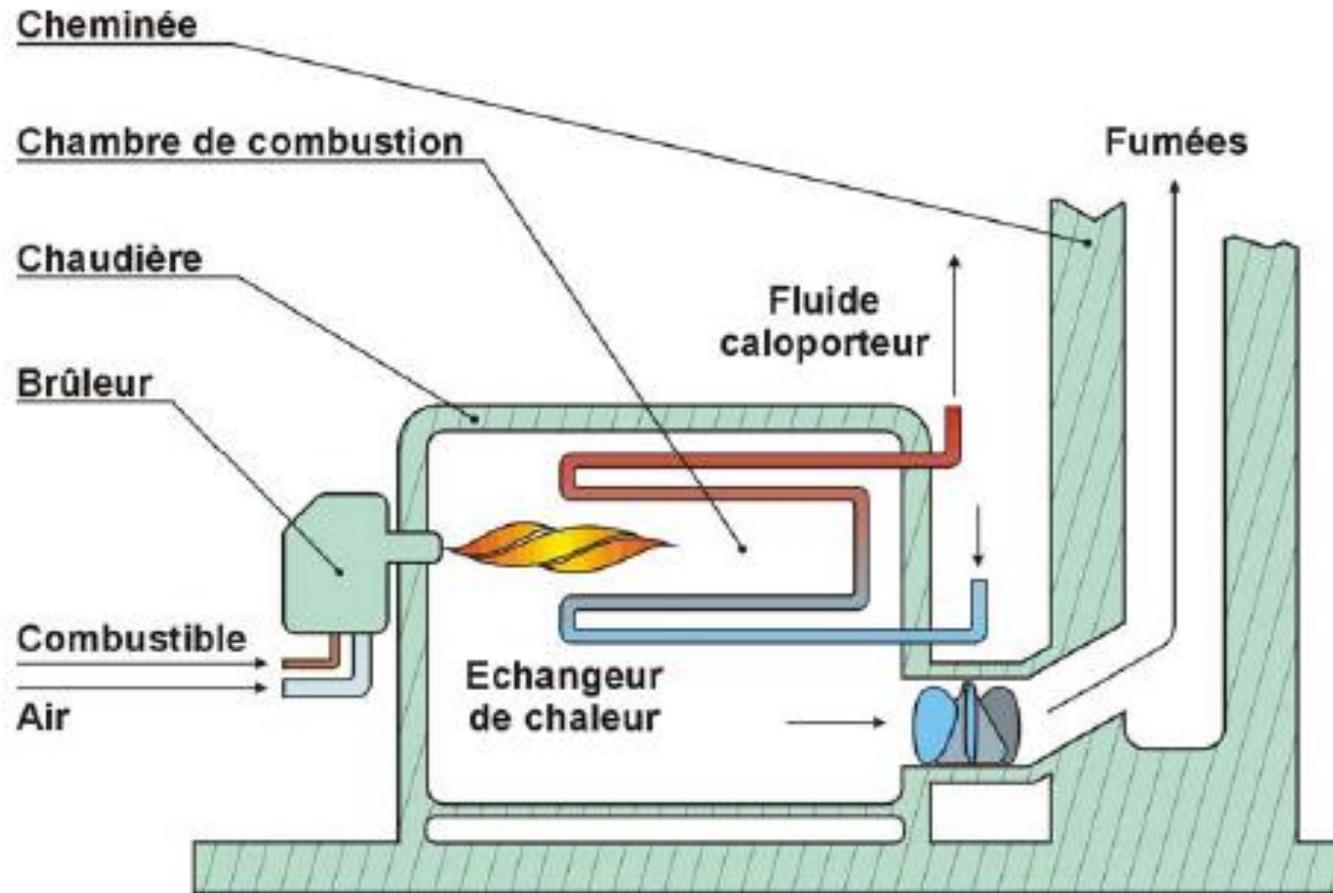
Type de chauffage	Energie finale
Chaudière	Mazout, gaz, charbon ou bois
Chauffage électrique : <ul style="list-style-type: none">• à accumulation• direct	Electricité
Chauffage à distance	Eau chaude, vapeur
Collecteur solaire	Soleil
Pompe à chaleur (PAC)	Electricité, mazout, gaz
Poêle	Mazout, gaz, charbon ou bois

Installation de chauffage

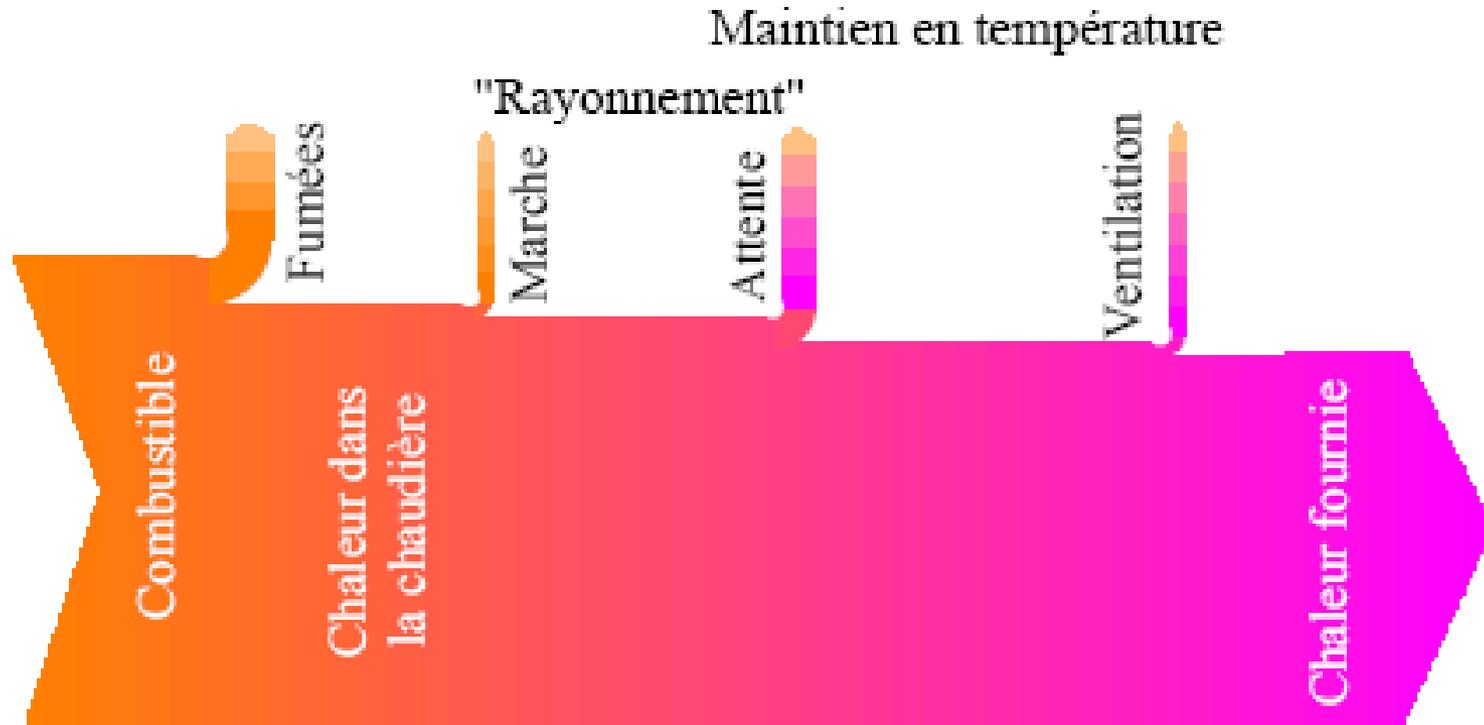


$$\eta_{Ch} = \text{Chaleur utile fournie} / \text{Energie finale consommée}$$

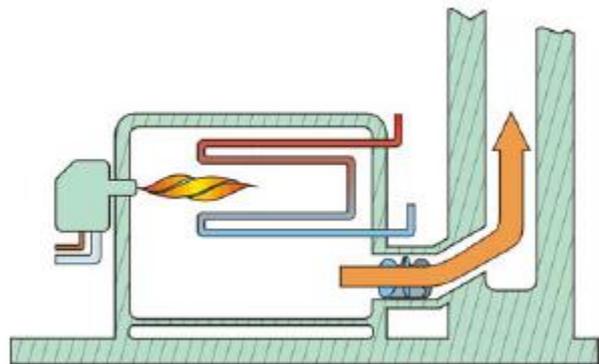
Chaudière à combustible



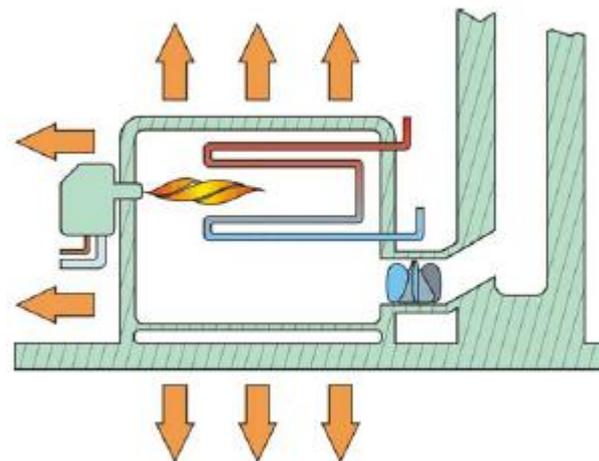
Rendement d'une chaudière



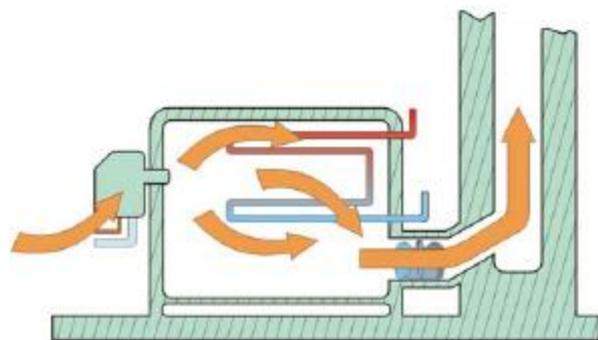
Pertes



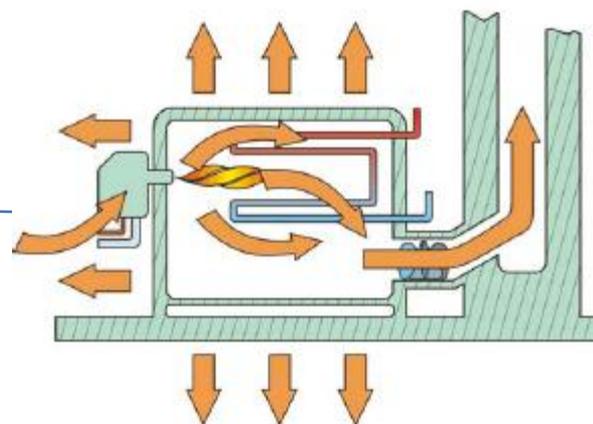
Pertes par fumées



Pertes externes
0.2 à 10%

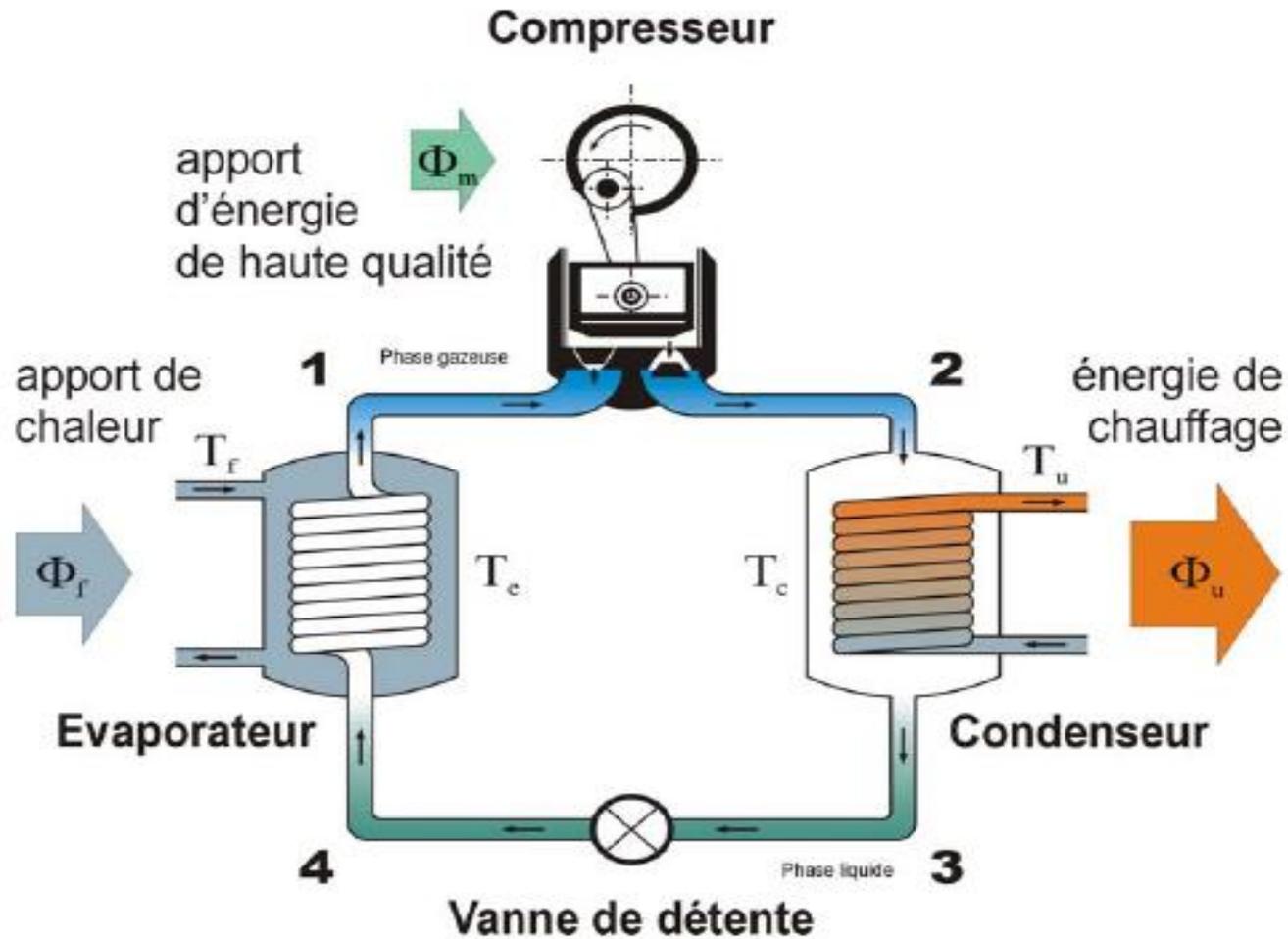


Pertes internes
0.5 à 2 %

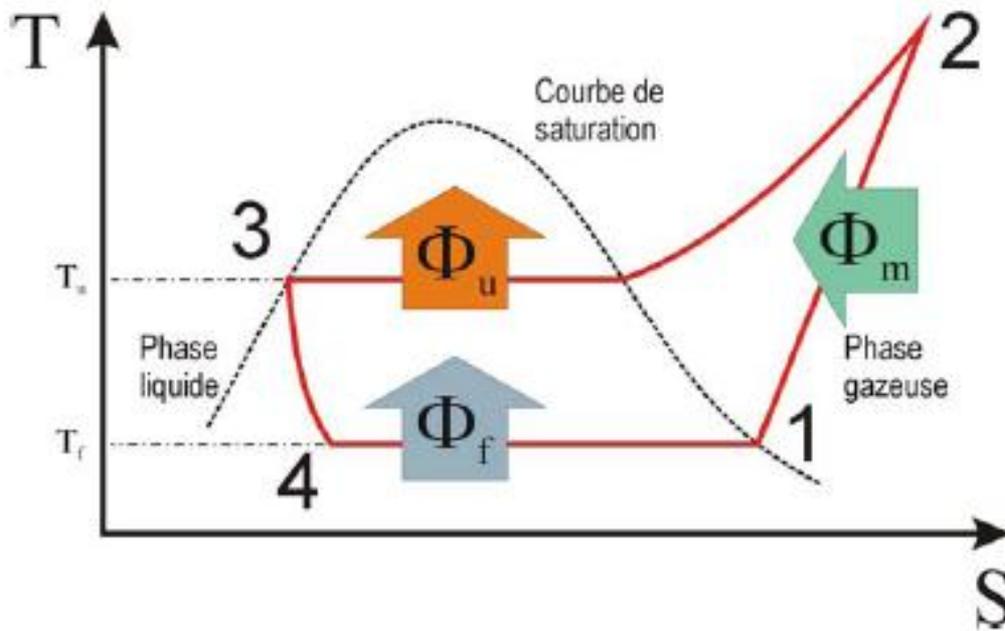


Pertes de maintien en température

Pompe à chaleur



Performance



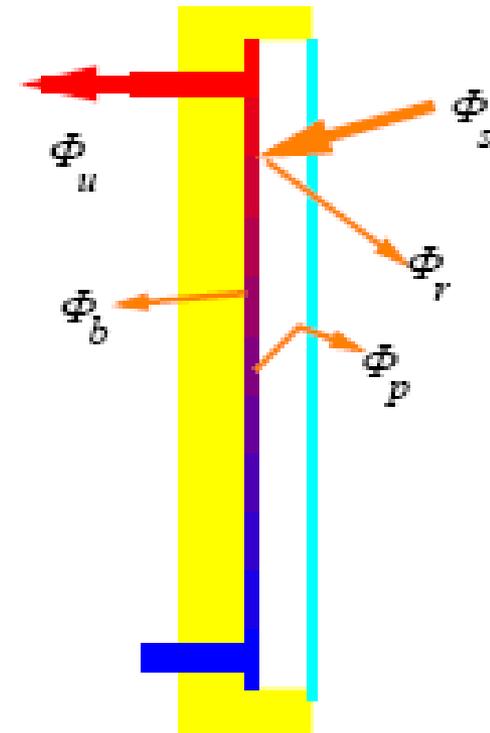
$$COP = \frac{\Phi_u}{\Phi_m} = \frac{\Phi_f + \Phi_m}{\Phi_m} = 1 + \frac{\Phi_f}{\Phi_m}$$

Capteurs solaires

- ▶ Le rapport entre le flux solaire transformé en chaleur par l'absorbeur et le flux solaire incident est le **coefficient d'absorption α du capteur** ou **rendement optique**.

$$\Phi_b + \Phi_p = K(T_c - T_e)A$$

- ▶ **K : facteur des pertes augmente avec T_c .**



- ▶ On peut donc décrire la puissance transmise au fluide caloporteur par mètre carré de surface utile de captage par :

$$q = \alpha_0 \cdot q_s - K(T_c - T_e)$$

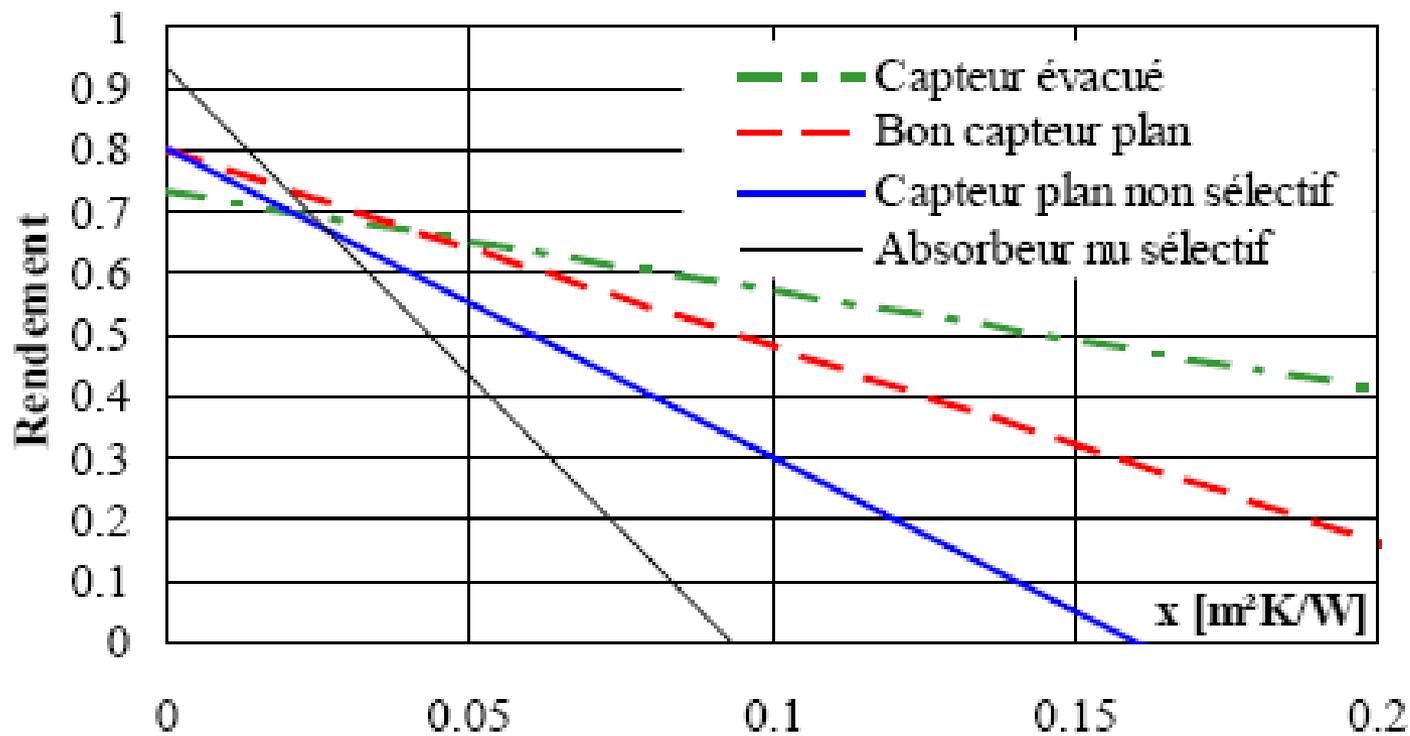
Rendement optique à incidence normale

- ▶ Le rendement instantané du capteur est donné par :

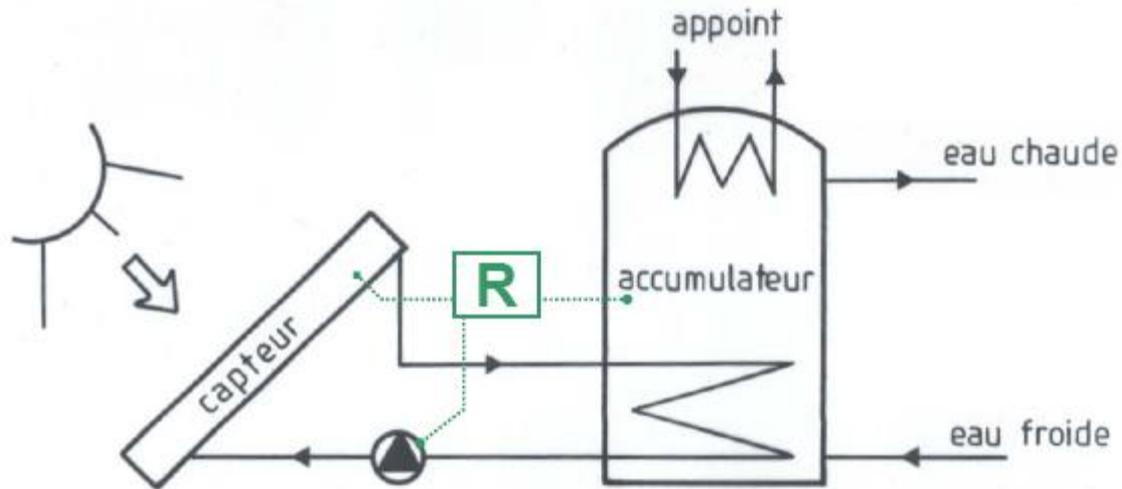
Intensité du flux solaire incident (W/m²)

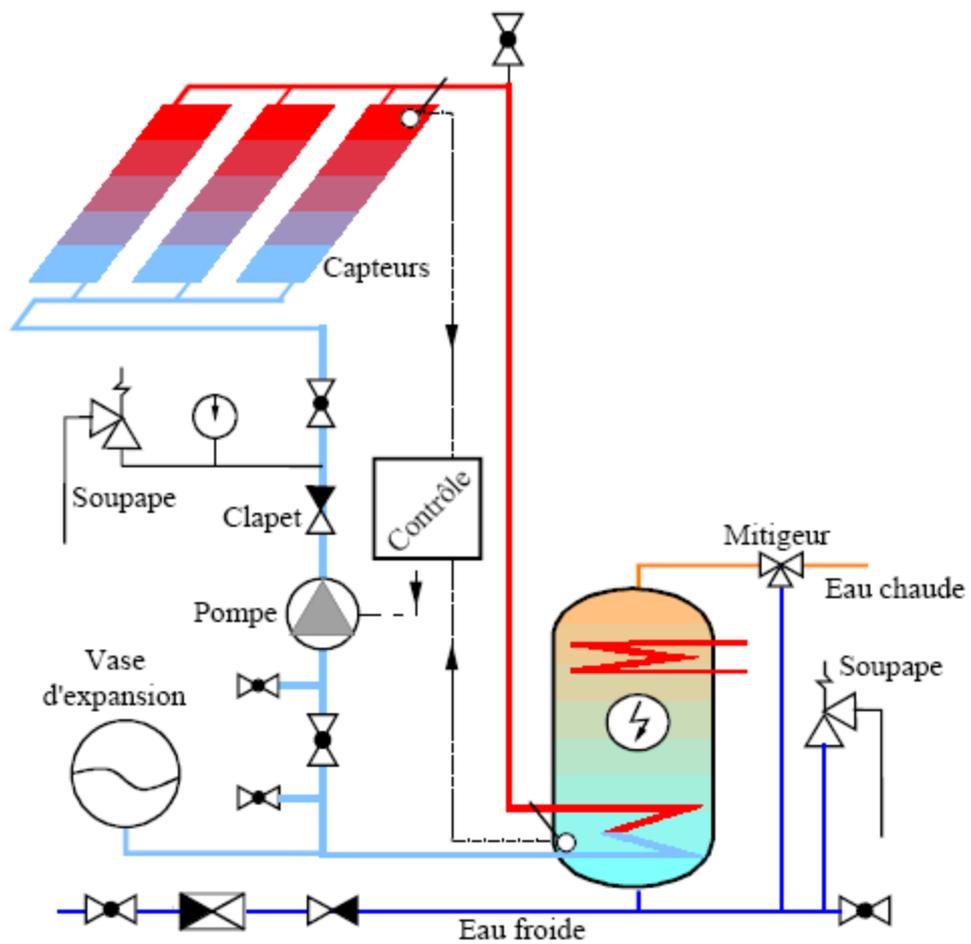
$$\eta = \alpha_0 - K \frac{(T_c - T_e)}{q_s}$$

$$\eta = \alpha_0 - K \cdot x$$

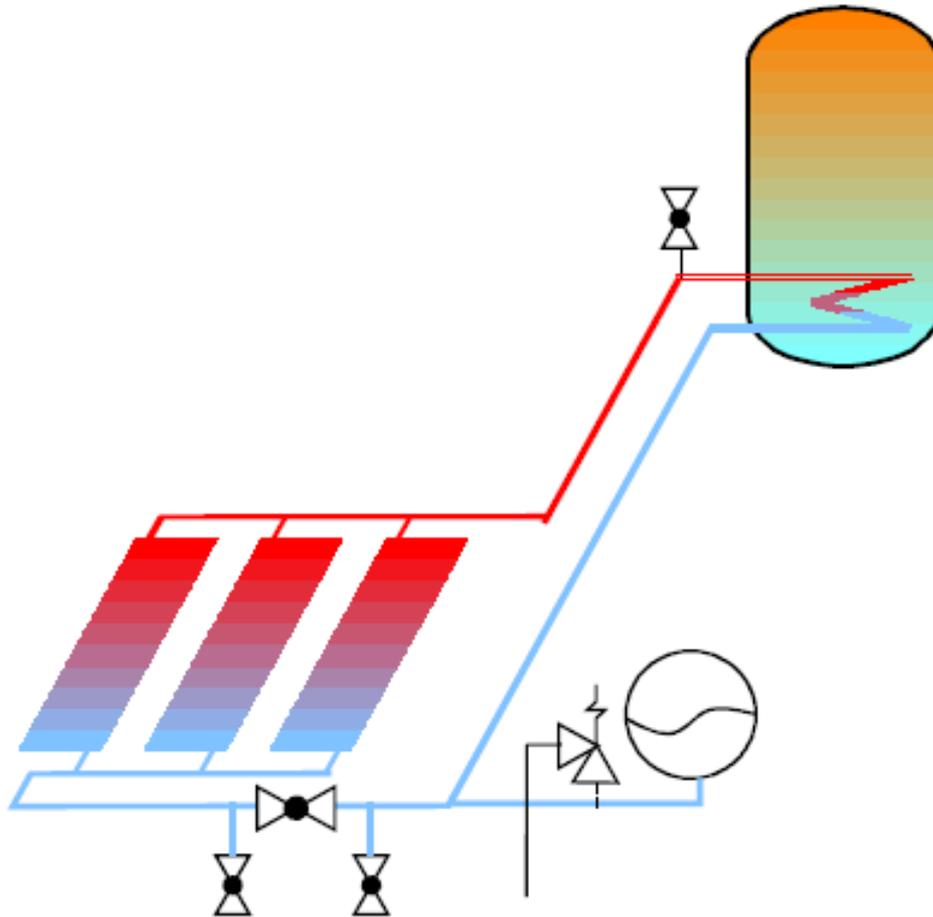


Installation thermosolaire

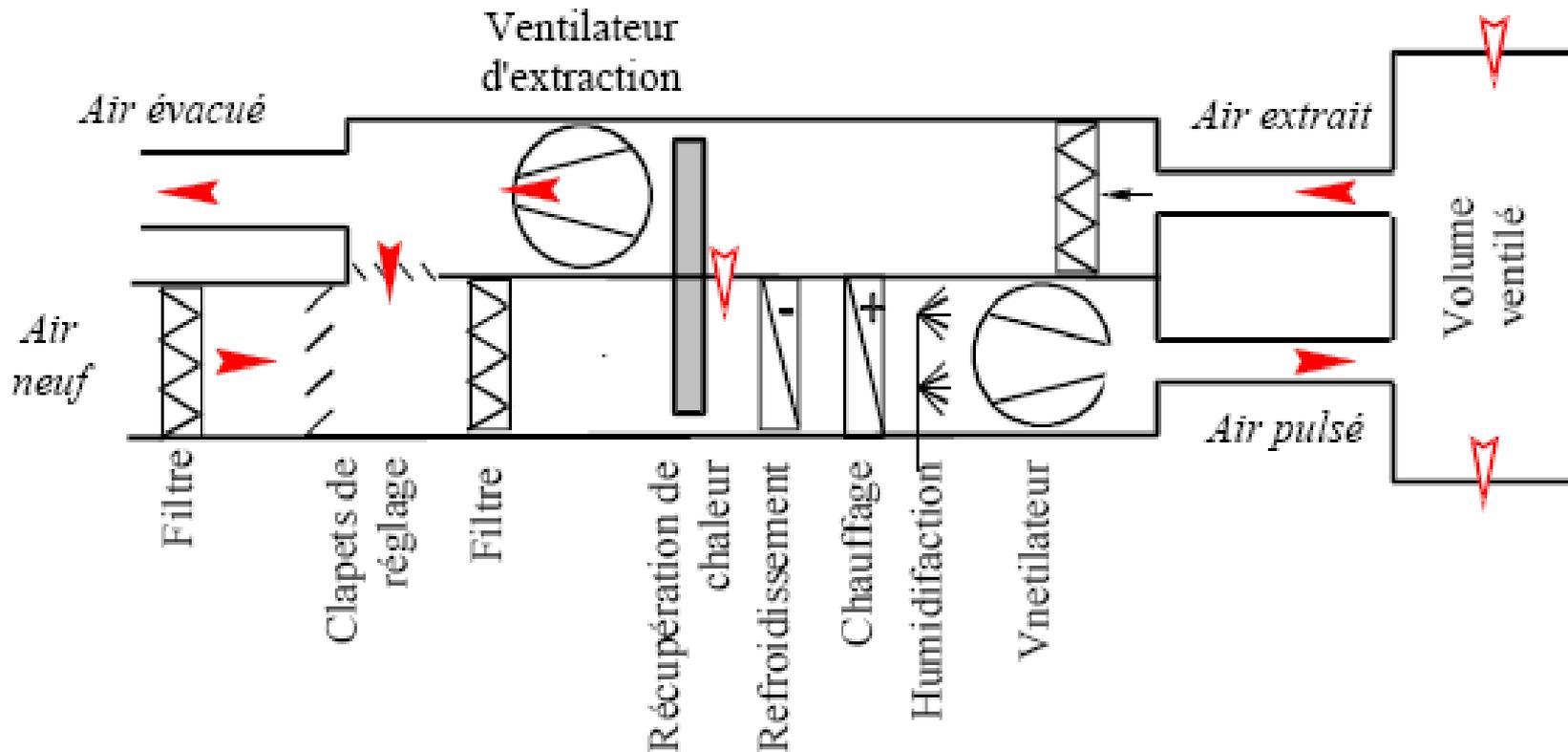


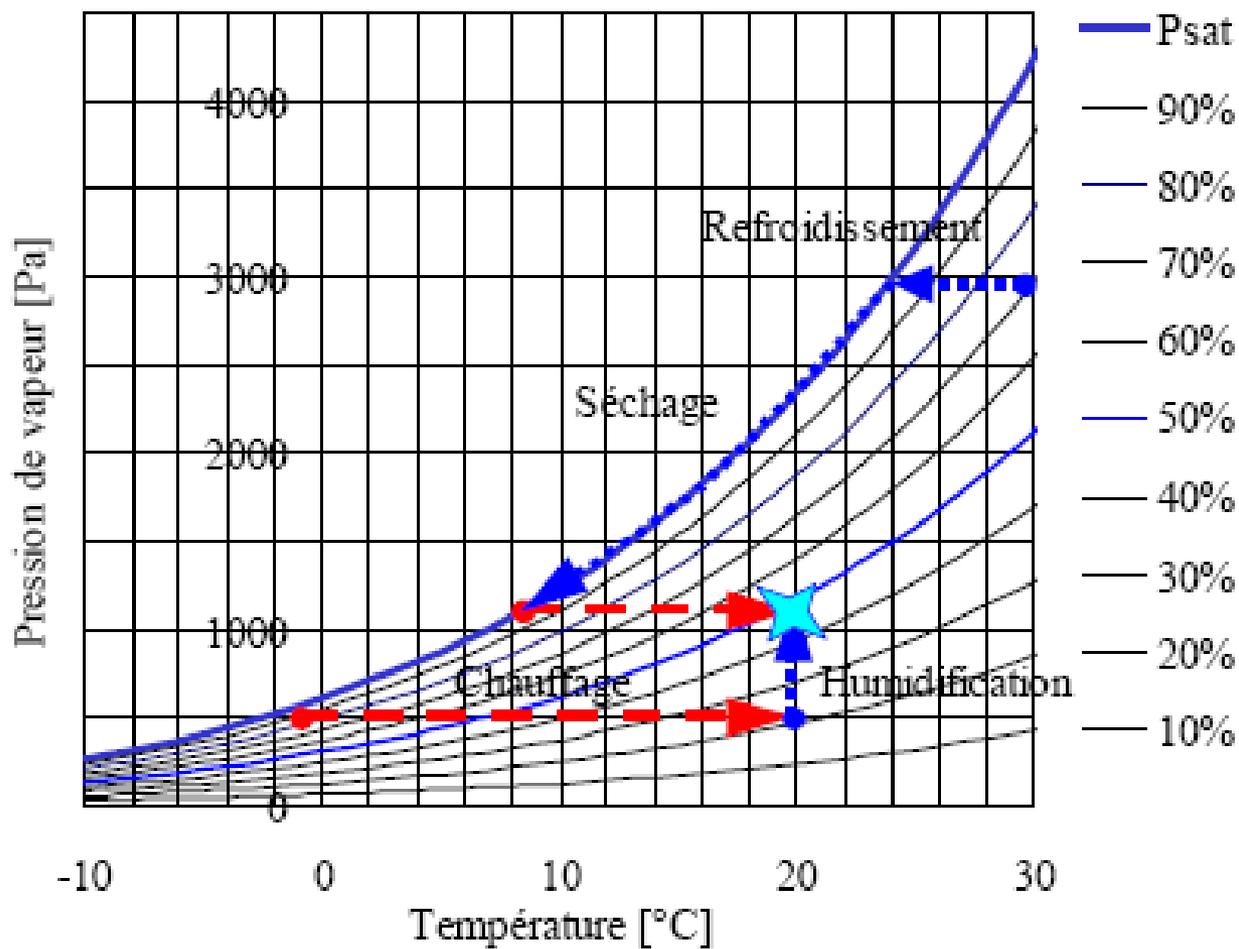


Thermosiphon



Ventilation mécanique





Diagnostic

- Une fois le bâtiment réalisé ou pour un bâtiment existant à réhabiliter, des mesures sont nécessaires autant pour savoir si le bâtiment fonctionne comme prévu que pour contrôler sa bonne marche au cours du temps.

OBJECTIFS	OBJETS
Analyse statistique grossière Première analyse du bâtiment Analyse détaillée du bâtiment Mise en service Contrôle de fonctionnement Recherche	Environnement (météorologie) Bâtiment dans son ensemble Enveloppe du bâtiment Prestation aux usagers Systèmes énergétiques complets Sous systèmes

La mesure donne la réponse, mais quelle est la question?

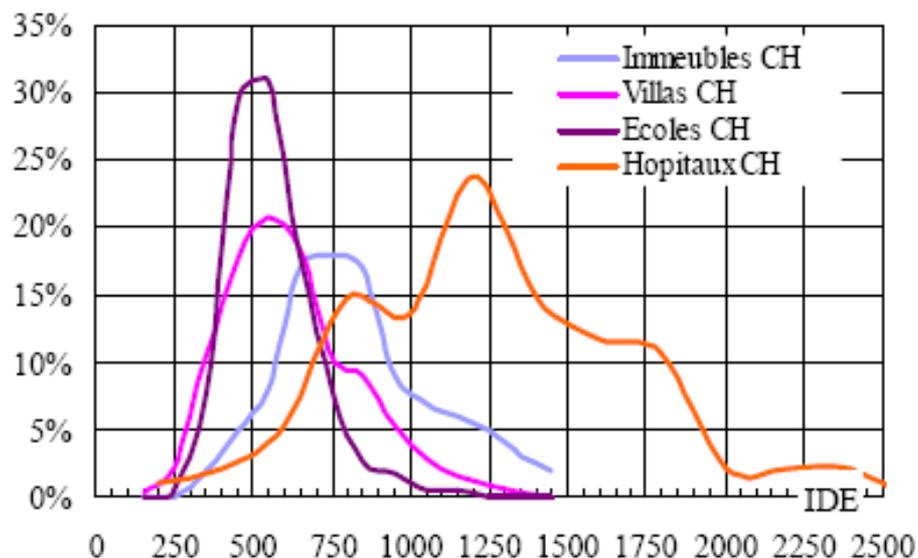
- ▶ Une chaufferie devrait être équipée en permanence des instruments suivants:
 - thermomètre de température des fumées
 - thermomètre de chaudière
 - thermomètre de l'eau de chauffage (aller et retour)
 - thermomètre pour l'eau chaude
 - compteur d'heures sur l'ouverture de la vanne d'admission du combustible ou compteur de mazout
 - compteur d'énergie électrique pour le chauffage
 - compteur d'eau chaude.

- Pour le contrôle du climat intérieur, Il est utile de poser des thermomètres (garantis à $\pm 0,5$ ° C) dans les pièces importantes. Des thermomètres à maxima - minima, relevés régulièrement, sont très utiles pour l'appréciation des variations de température.
- Si l'eau chaude est fournie par des capteurs solaires, la pose d'un compteur d'heures de fonctionnement de la pompe de circulation, ou l'enregistrement des températures d'entrée et de sortie des capteurs permettent de déceler des défauts de circulation ou de régulation.

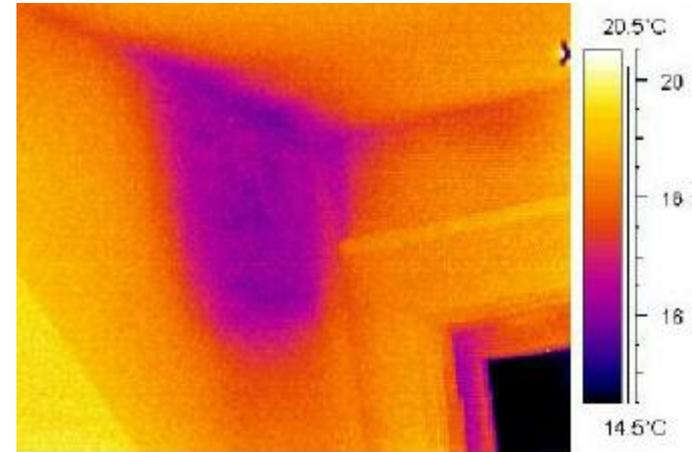
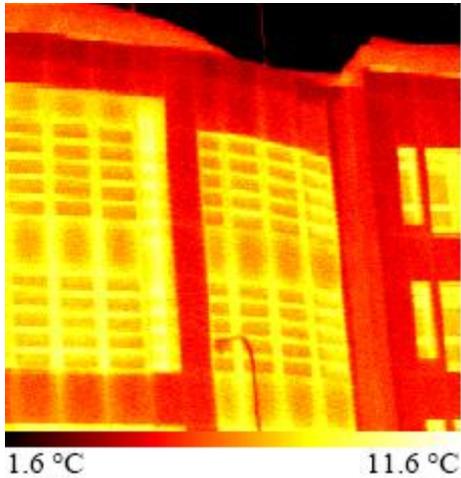
- ▶ La mesure de la quantité d'énergie consommée pendant un certain intervalle de temps dépend du vecteur énergétique.
 - Electricité → compteur
 - Fuel: → compteur
 - Bois, charbon → pesée

Indice de dépense d'énergie (IDE)

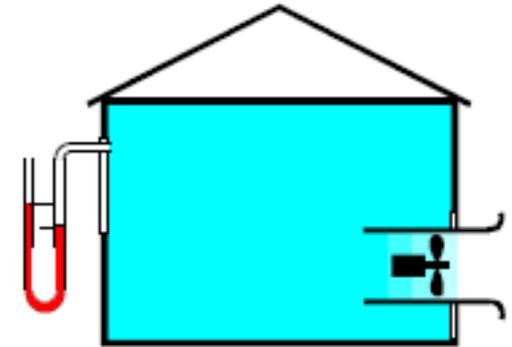
- On obtient cet indice en divisant la consommation annuelle d'énergie totale (de tous les agents énergétiques) exprimée en MJ par la surface brute de plancher chauffé (murs inclus).



Thermographie

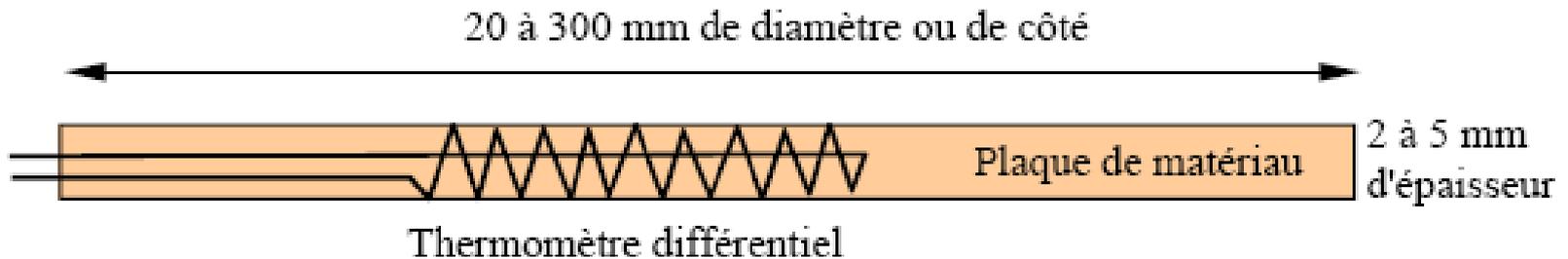


- A l'aide du dispositif ci contre, on met le logement sous dépression, par une journée froide (température extérieure d'au moins 10 K en dessous de la température intérieure). La différence de pression étant maintenue approximativement constante, l'air froid entre par les fuites et refroidit les abords de ces fuites. Ces régions refroidies se repèrent aisément sur l'écran de la thermocaméra et se distinguent, avec un peu d'exercice, des autres ponts thermiques.



Mesure de l'isolation thermique

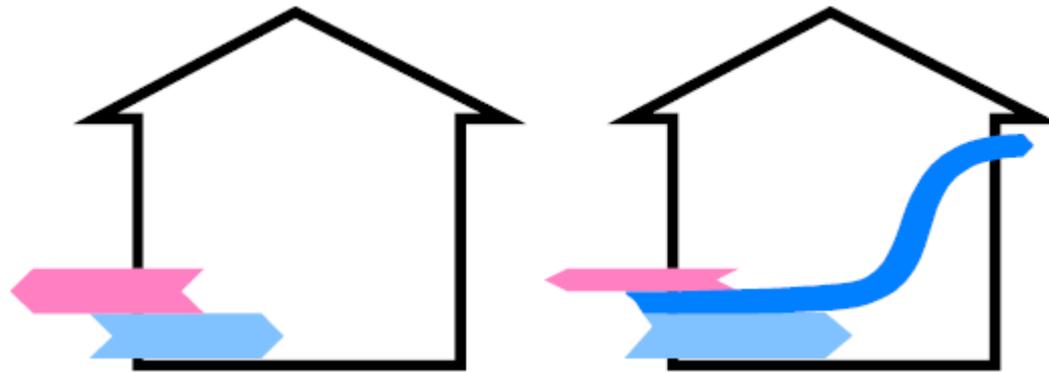
- Un *fluxmètre*: est une sonde servant à mesurer la densité de flux thermique.



- On enregistre le signal donné par le fluxmètre et les températures de surface intérieure et extérieure. Il peut être utile d'enregistrer simultanément les températures d'air intérieur et extérieur et éventuellement l'ensoleillement de la façade ainsi que le vent. Ces mesures supplémentaires permettent d'obtenir des informations sur les résistances de transfert superficielles.

Mesure de la perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments

- Méthode du niveau neutre:
 - Elle est basée sur la mesure de la position du niveau neutre, et l'équipement nécessaire se réduit à un petit fumigène, une bougie, une cigarette ou un bâton d'encens et un mètre.

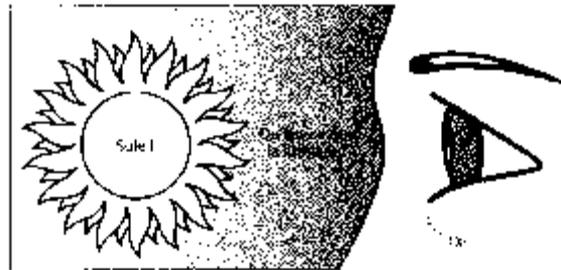


- A l'aide de petites bouffées de fumée ou d'une flamme de bougie, nous examinons le courant d'air de bas en haut de l'ouverture. Au niveau neutre, la flamme sera verticale et la fumée ne se déplacera pas.

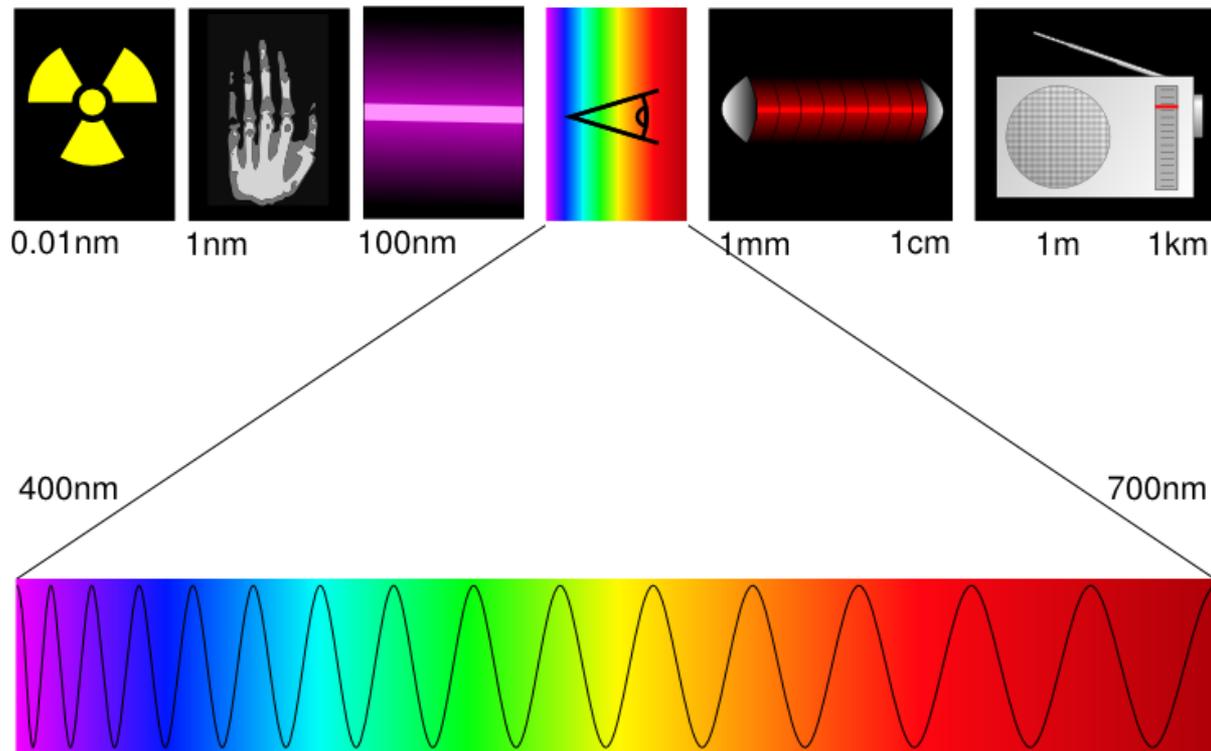
- ▶ Au niveau mondial, **l'éclairage artificiel consomme 19 % de la production d'électricité, soit environ 2651 TWh. Cette consommation s'accompagne d'une émission de gaz à effet de serre évaluée à 1700 millions de tonnes de CO2**

- ▶ D'un point de vue technologique, la diminution de la consommation électrique de l'éclairage artificiel repose principalement sur trois axes :
- Meilleure utilisation des apports en lumière naturelle ;
- Evolution de la technologie des lampes ;
- Réduction de la durée d'utilisation de l'éclairage artificiel par l'amélioration des techniques de régulation.

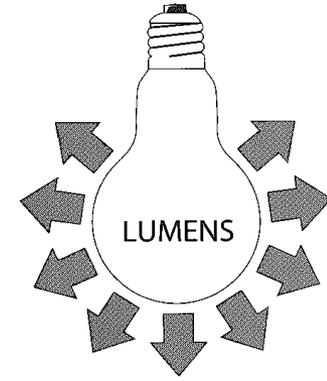
- ▶ Ensemble de radiations de longueurs d'onde différentes qui produisent des effets sur les cellules rétiniennes de l'œil.
- ▶ 380 à 770 nm produisent un effet visuel.



Spectre électromagnétique

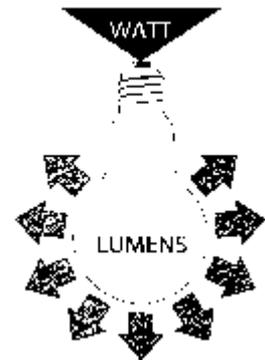


Flux lumineux



- ▶ Le flux lumineux est la quantité totale de lumière émise par une source en 1 seconde
- ▶ La quantité de lumière émise varie en fonction de la longueur d'onde et atteint son maximum à 555 nm.
- ▶ L'unité de mesure du flux est le lumen (lm)

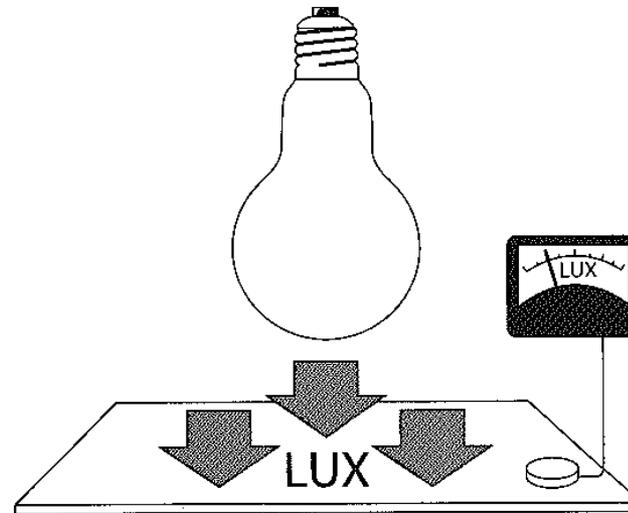
Efficacité lumineuse



- ▶ Rapport entre le flux lumineux (lumens) et la puissance consommée (watts): lm/W
- ▶ Efficacité peut varier de 10 lm/W à plus de 200 lm/W .

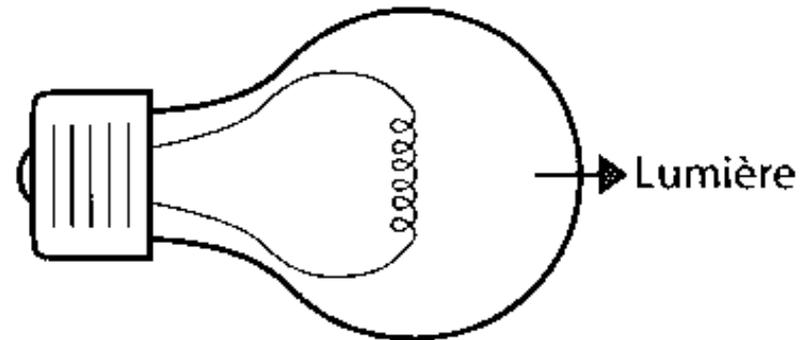
Densité de flux lumineux ou éclairement

- ▶ Flux lumineux par unité de surface.
- ▶ Unité d'éclairement est le **lux (lx) = 1 lm/m²**
- ▶ L'éclairement est mesuré au moyen d'un luxmètre.

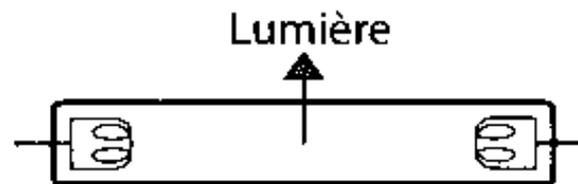


Production de lumière

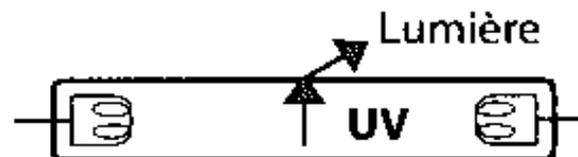
Incandescence



**Décharge
dans un gaz**



Fluorescence



- ▶ Lorsqu'ils sont portés à des températures de plus de 720°C , les solides et les liquides émettent des radiations visibles.
- ▶ On appelle ce phénomène **Incandescence** ou **rayonnement thermique**
- ▶ Application: Lampes à incandescence

1- Décharge électrique dans un gaz:

- Lorsqu'un courant électrique traverse un gaz, les atomes et les molécules émettent des radiations.
- Décharge basse pression: 1/100 atmosphère.
- Décharge haute pression: 1 à 2 atmosphères.

2- Fluorescence

- Les radiations absorbées à une longueur d'onde donnée par un solide sont émises à une longueur d'onde différente. Si émission dans le visible et uniquement durant l'absorption  Fluorescence
- Si l'émission se poursuit après l'excitation  phosphorescence

Types de lampes

Types de lampes			Durée de vie (h)
Lampes à incandescence			1 000
Lampes à décharge	A basse pression	Lampes fluorescentes	10 000 - 24 000
		Lampes à vapeur de Na	
	A haute pression (HID)	Lampes à vapeur de Hg	5 000 - 30 000
		Lampes aux halogénures métalliques	
		Lampes à vapeur de Na	
Lampes à induction			15 000 - 100 000
Lampes à micro-ondes			60 000

- ▶ Température de couleur
- ▶ Indice de rendu des couleurs (IRD)
- ▶ Courbe de répartition spectrale

Température de couleur

- ▶ C'est la température absolue d'un corps noir ayant la même température que cette source.
- ▶ Les sources ayant une basse T de couleur < 3000 K sont jaunâtres ou rougeâtres → couleurs chaudes → bas niveau d'éclairement
- ▶ Les sources ayant une haute T de couleur > 4000 K sont bleuâtres couleurs froides →

Haut niveau d'éclairement

Exemple: sources lumineuses

Source lumineuse	Température de couleur °K	Description
Ciel très bleu	25 000	Froide
Ciel couvert	6 500	Froide
Soleil de midi	5 000	Froide
Lampe fluoresecnte blanc froid	4 100	Froide
Lampe halogène métallique 400 W	4 000	Froide
Lampe fluoresecnte blanc chaud	3 000	Chaude
Lampe à incandescence, 100 W	2 900	Chaude
Lampe Na haute pression, 400 W	2 100	Chaude
Flammede chandelle	1 800	Chaude
Lampe Na basse pression	1 740	Chaude

▶ Avantages de l'énergie électrique :

- Facilité de contrôle.
- Facilité de transport et de distribution.
- Rendement élevé.
- Propreté.

▶ Inconvénients :

- Coût très cher.

➔ ***Importance de l'économie de l'électricité.***

Sources d'éclairage

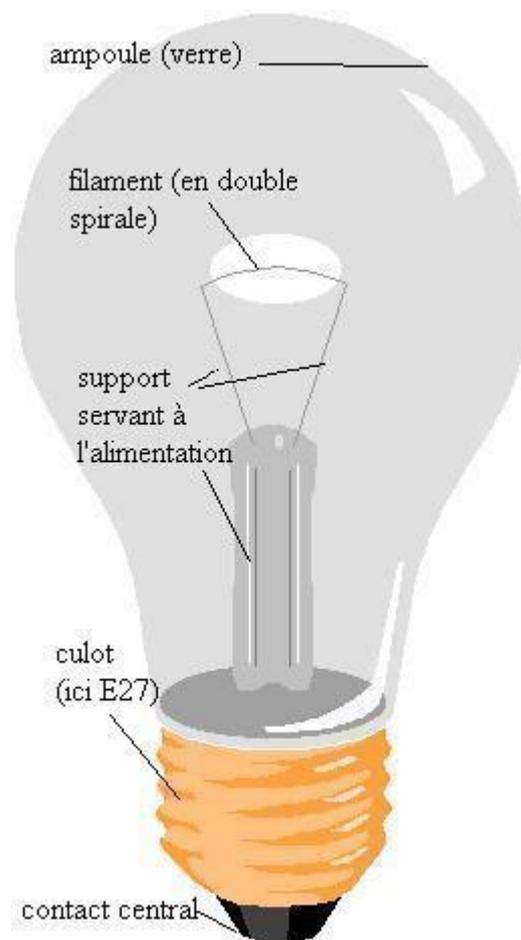
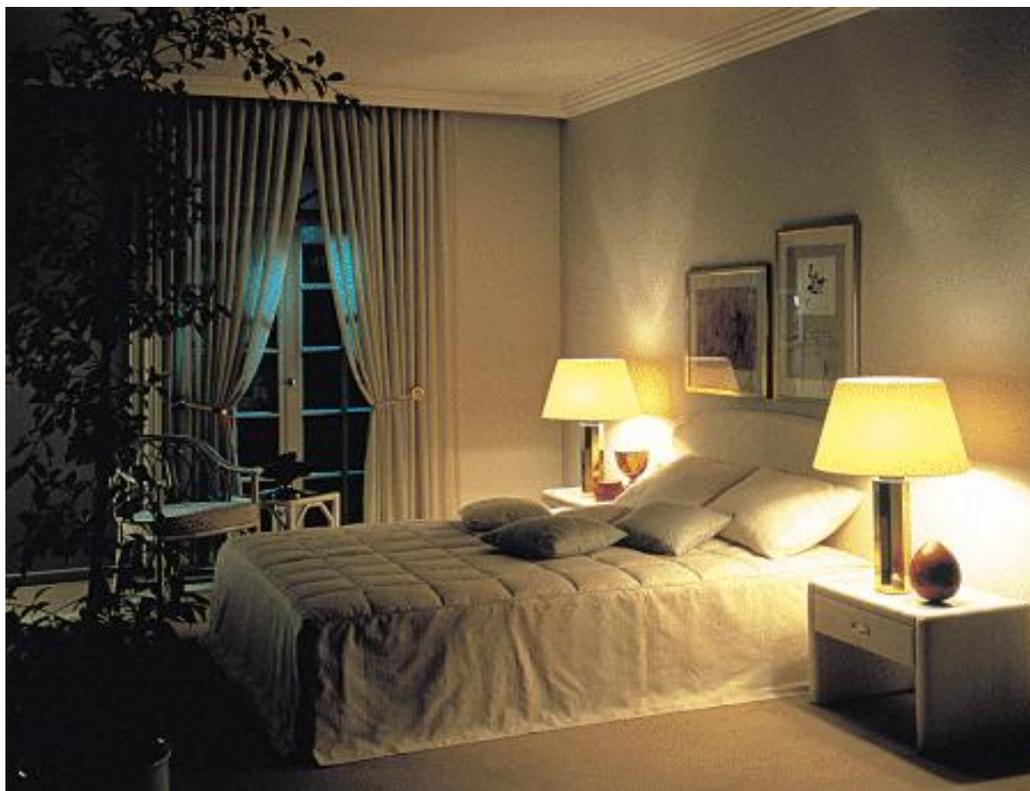
136

09/03/2017

Lampes à filament

137

09/03/2017



138

09/03/2017

▶ Principe :

- Basé sur le phénomène de thermo résistance (filament chauffant à l'intérieur d'une ampoule de verre sous vide ou contenant un gaz)

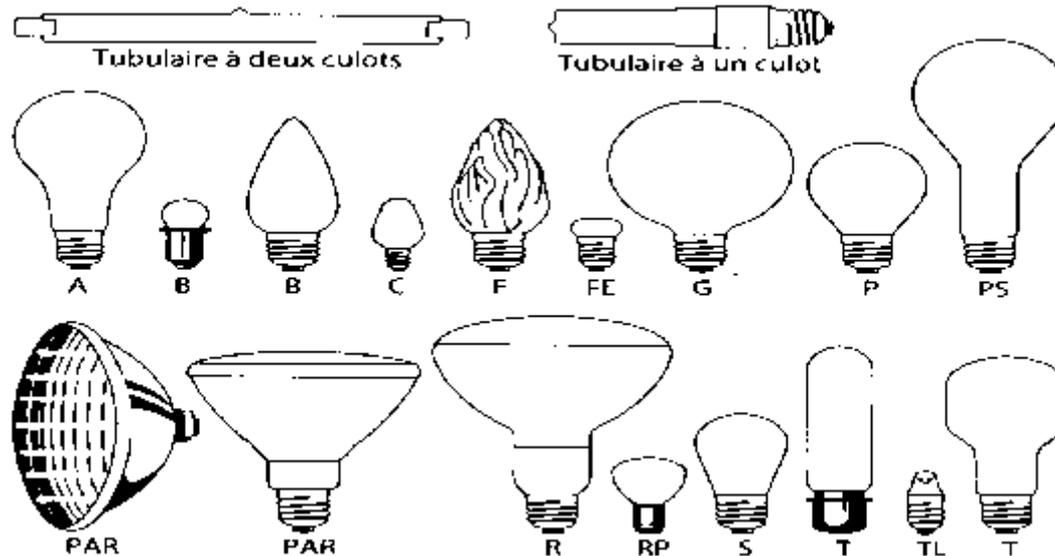
▶ Caractéristiques :

- Leur durée de vie est assez brève (environ 1.000 heures).
- L'indice de rendu des couleurs élevé
- Prix compétitif à l'acquisition.
- Température de couleur chaude
- Faible efficacité lumineuse.

▶ Ce sont les plus répandues et les moins chers à l'achat

- **Ampoule 25 W :**
 efficacité lumineuse : 8 [lm/W]
 efficacité énergétique 250 [mW/lm]
 durée de vie : 1000 heures

- **Ampoule 100 W :**
 efficacité lumineuse : 13,8 [lm/W]
 efficacité énergétique 72,5 [mW/lm]
 durée de vie : 1000 heures



Efficacité
l'efficacité
lumineuse
aug

140

09/03/2017

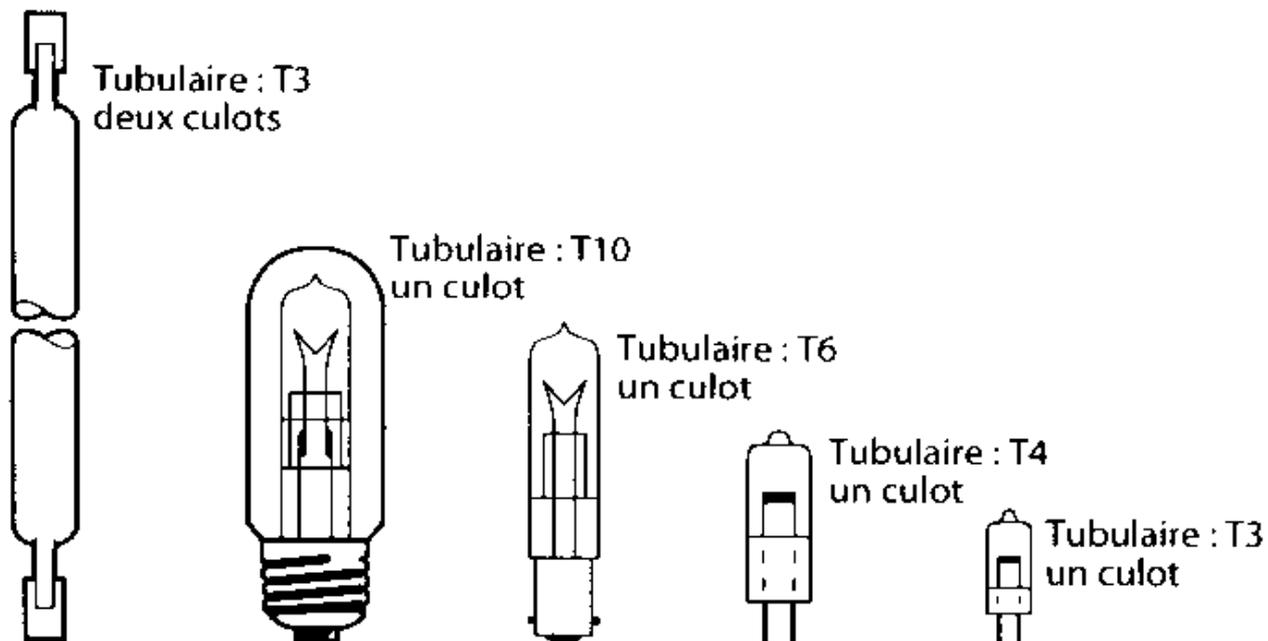
Lampes halogènes



09/03/2017

- ▶ Mêmes caractéristiques que les lampes à incandescence sauf qu'on leur a intégré un gaz halogène (iodure, fluorure, bromure) qui évite l'évaporation du filament en tungstène et le noircissement graduel de la lampe à incandescence
- ▶ Sa durée de vie est deux fois celle de l'incandescent (2000 heures)

Lampes à décharge



13

09/03/2017

- ▶ Ce type de lampe est constitué d'une ampoule renfermant un gaz ou une vapeur métallique. Lorsqu'un courant électrique traverse ce gaz, il y a production de photons d'une longueur d'onde comprise dans le spectre de la lumière visible (ou UV). Les couleurs émises dépendent du gaz ou de la valeur métallique utilisée.

vapeur métallique ou gaz	couleur émise
néon	rouge
mercure	bleue + UV
sodium	jaune - orange
xénon	blanche

Lampes à décharge Basse pression

145

09/03/2017

Lampes fluorescentes

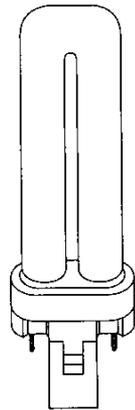


09/03/2017

Lampes fluorescentes compactes



Formes des lampes



Standard
T4



Groupée
T4



Allongée
T5

147

09/03/2017

- ▶ Elle produit la lumière en créant un arc entre deux électrodes d'un tube en verre sous une atmosphère basse pression de vapeur de mercure et d'un gaz inerte
- ▶ La lumière est produite par la couche de phosphore à l'intérieur du tube, activée par l'énergie ultraviolette de la décharge

- ▶ La durée de vie moyenne d'une lampe fluorescente est de 6.000 à 10.000 heures bien qu'on trouve aujourd'hui des lampes à durée de vie allant jusqu'à 20.000 heures

 - ▶ Elle requiert une amorce pour le démarrage
 - Starter (type préchauffeur et interrupteur)
 - Démarrage instantanée (le ballast* fournit une tension élevée, éliminant le starter du circuit)
 - Démarrage rapide (utilise préchauffage et démarrage instantanée)
- * Le terme de **ballast** désigne n'importe quel composant électrique utilisé pour réduire le courant dans un circuit électrique (résistance, condensateur, bobine etc...)

Lampes fluorescentes

- ▶ Elles existent en différentes tailles
 - Diamètre 16 mm
 - Diamètre 26 mm
 - Diamètre 38
 - Lampes circulaires – diam. 16 mm

- ▶ Et différentes longueurs et puissances
 - 0,60 m - 14, 18 et 20 W
 - 1,20 m – 28, 36 et 40 W
 - 1,50 m – 35, 58 et 65 W

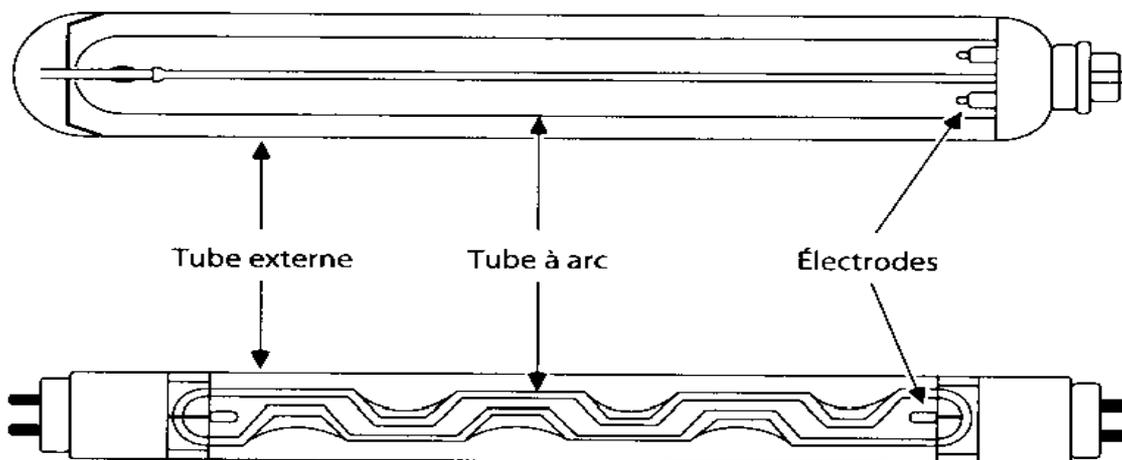


- ▶ Elles sont :
 - À alimentation incorporée
 - À alimentation séparée
- ▶ De différentes puissances
 - 5 à 23 W pour alim. incorp.
 - 5 à 55 W pour alim. séparée





Lamp



152

- ▶ Applications « sécurité »
 - Tunnels, extérieur bâtiments

- ▶ Très mauvais rendu des couleurs
 - Couleur jaune sombre

- ▶ Très haute efficacité lumineuse
 - 200 lumen / watt

- Puissances de 18 à 180 W

Lampes sodium basse pression

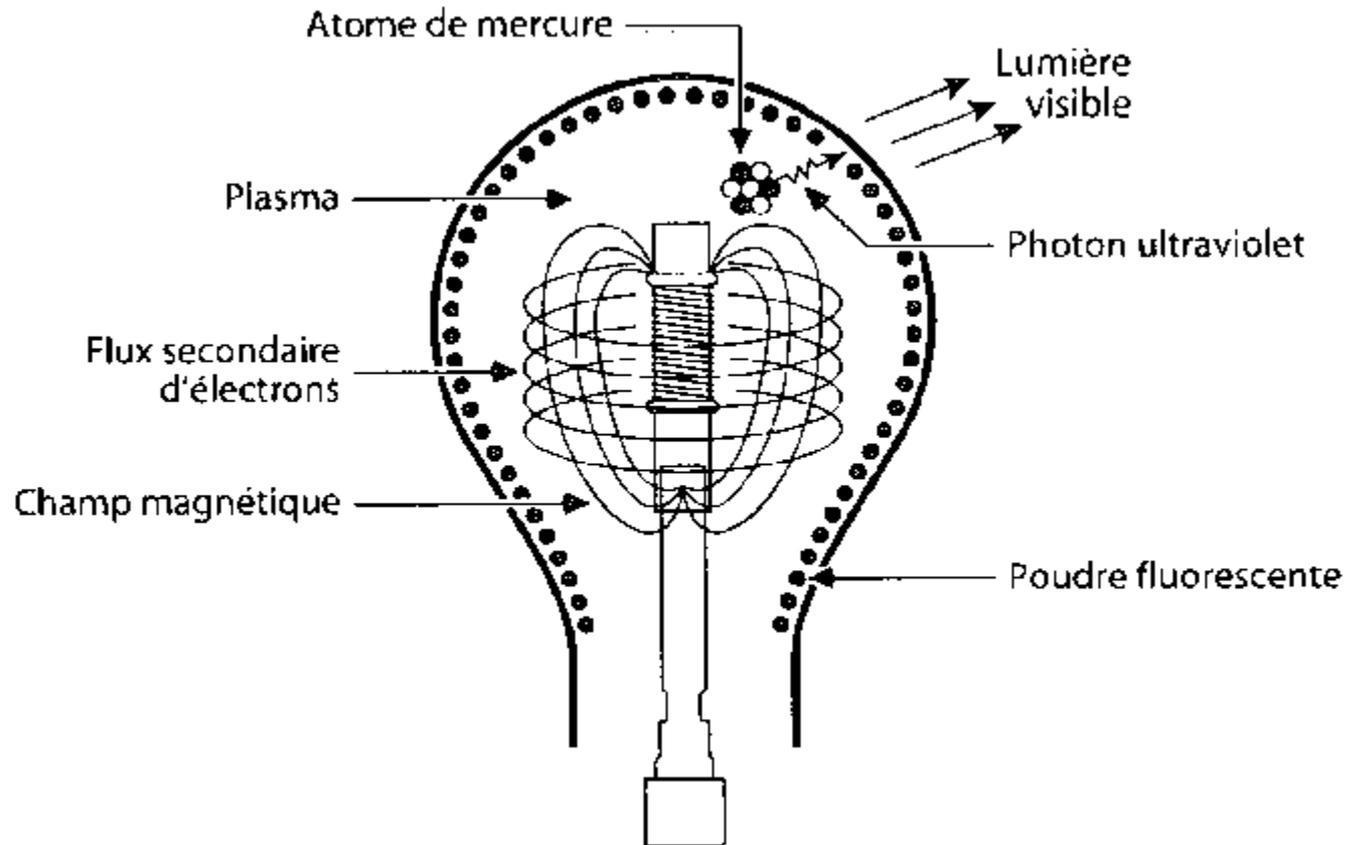


154

09/03/2017

- ▶ Même principe de décharge qu'un tube fluorescent
- ▶ La décharge se fait grâce à un champ électromagnétique créé par un courant à haute fréquence circulant dans une bobine
 - Plus d'usure d'électrodes
 - Durée de vie accrue -> 60.000 heures
 - Puissance de 55, 85 et 165 W

Lampes à induction

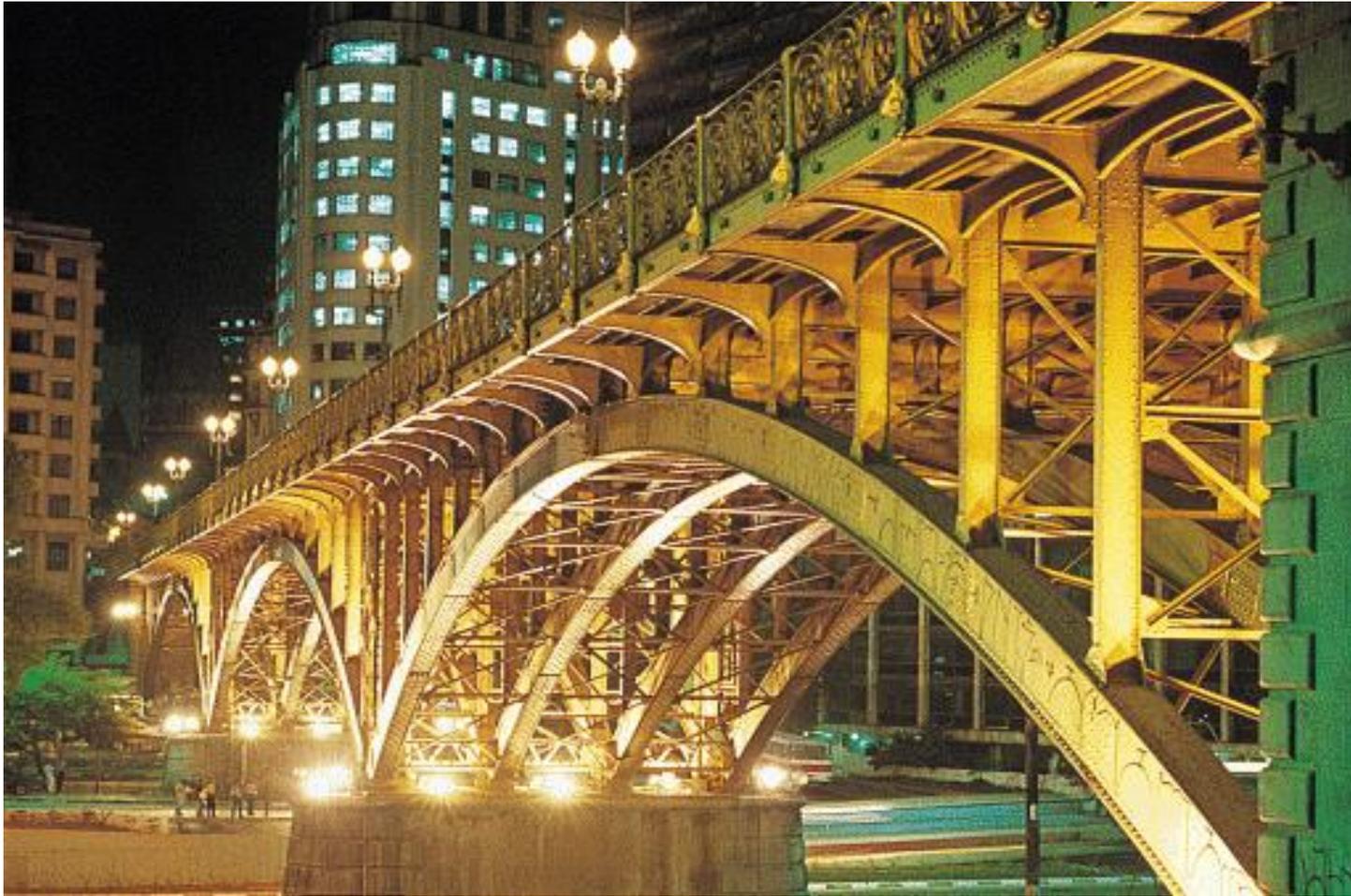


Lampes à décharge haute pression

157

09/03/2017

Lampes sodium haute pression

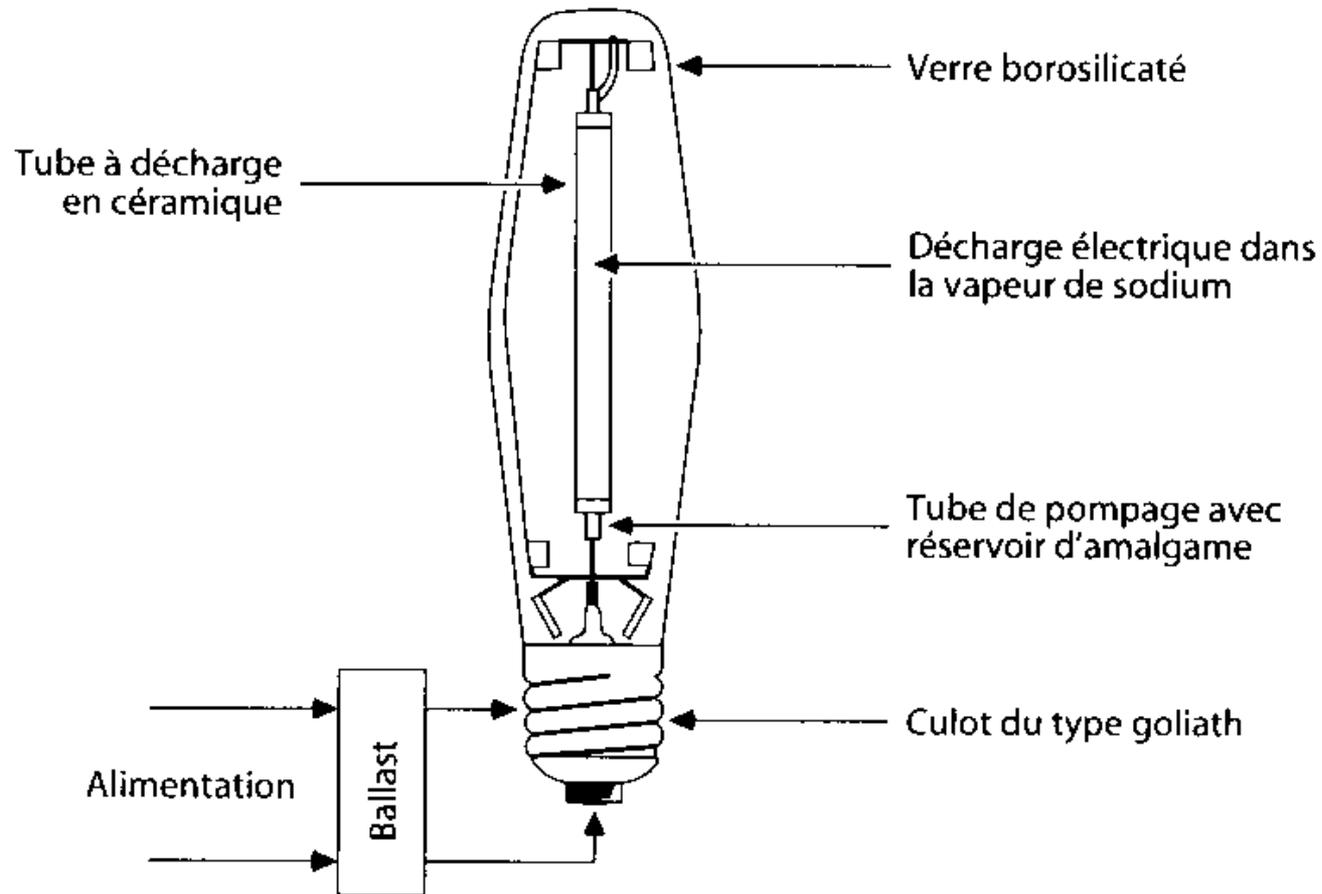


09/03/2017

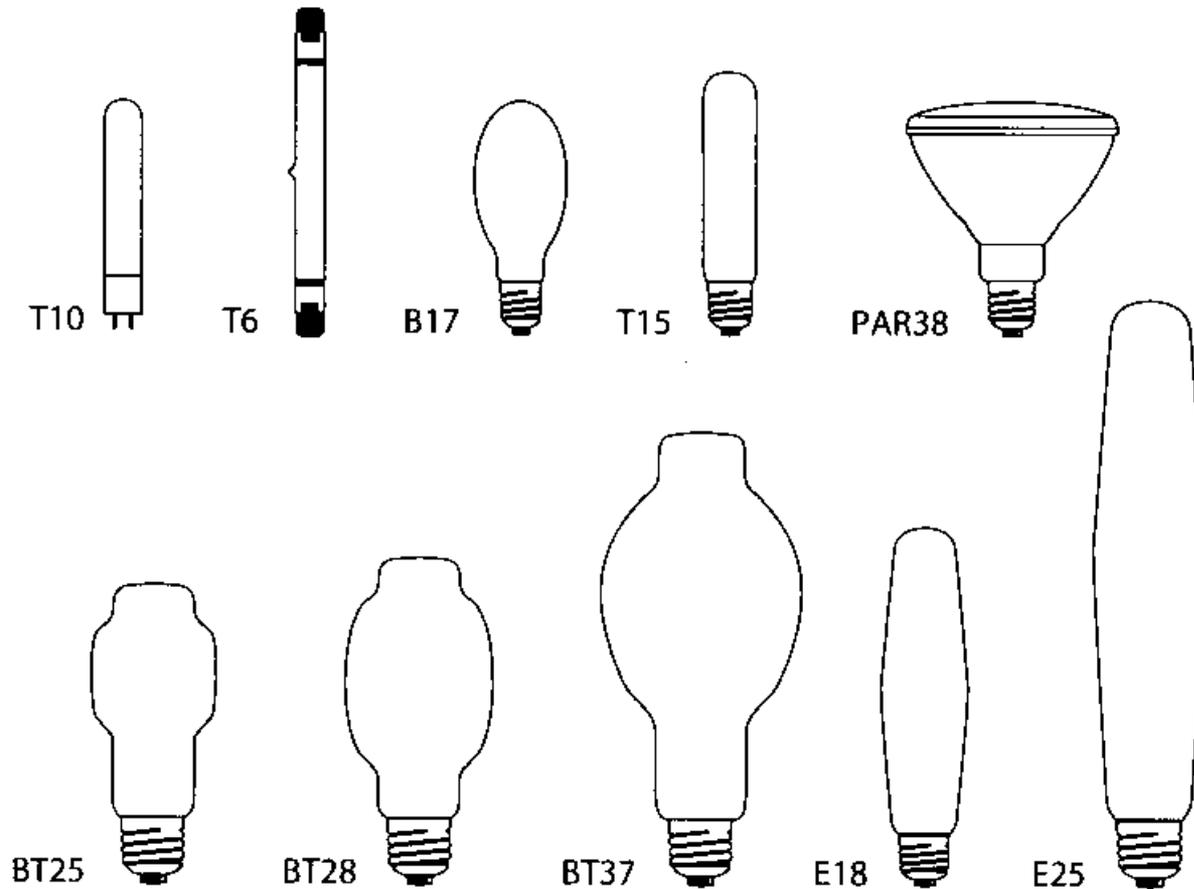
► Description :

- Tube à décharge en alumine rempli de gaz xenon et contenant un amalgame sodium avec ou sans mercure
- Ampoule externe en verre tubulaire ou ovoïde poudrée sur sa partie interne

Lampes sodium haute pression



Forme des lampes



- ▶ Meilleure restitution des couleurs que les lampes à vapeur de mercure

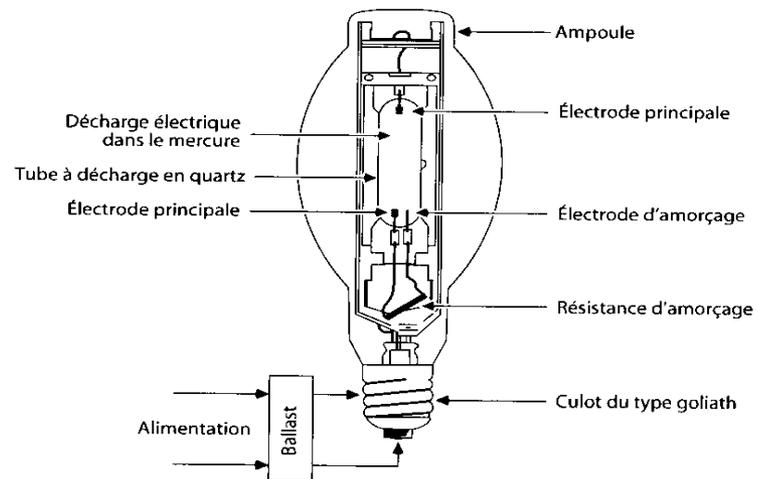
- ▶ Applications :
 - Éclairage public urbain
 - Éclairage routier

Lampes sodium haute pression

- ▶ Efficacité lumineuse allant de 68 à 130 lumens/watt
- ▶ Puissance allant de 50 à 1000 W
- ▶ Durée de vie de 12000 à 20000 heures

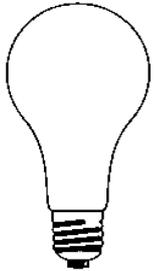
► Description :

- Tube à décharge en quartz contenant une faible quantité de mercure
- Ampoule externe en verre recouverte d'un poudrage fluorescent sur sa partie interne et remplie de gaz argon et azote

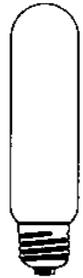


- ▶ Indice de rendu des couleurs allant de 55 à 60
- ▶ Applications :
 - Éclairage public
 - Éclairage résidentiel / industriel
- ▶ Efficacité lumineuse de 40 à 60 lumens / watt
- ▶ Gamme de puissance :
 - De 50 à 1000 Watt

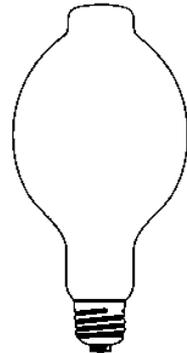
Forme des lampes



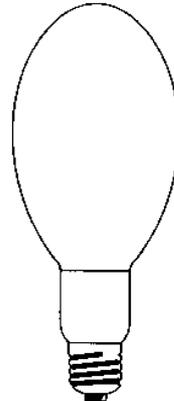
A
Arbitraire



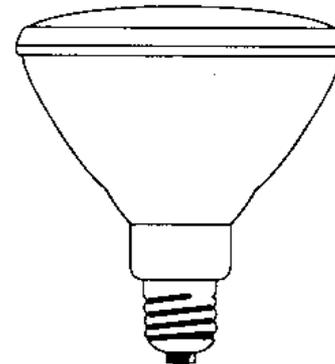
T
Tubulaire



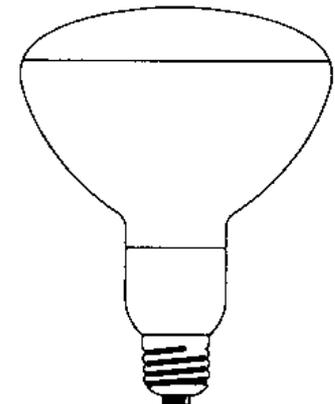
BT
Tubulaire renflée



E
Elliptique renflée



PAR
Réflecteur parabolique
aluminisé



R
Réflecteur

Lampes à iodures métalliques



7

09/03/2017

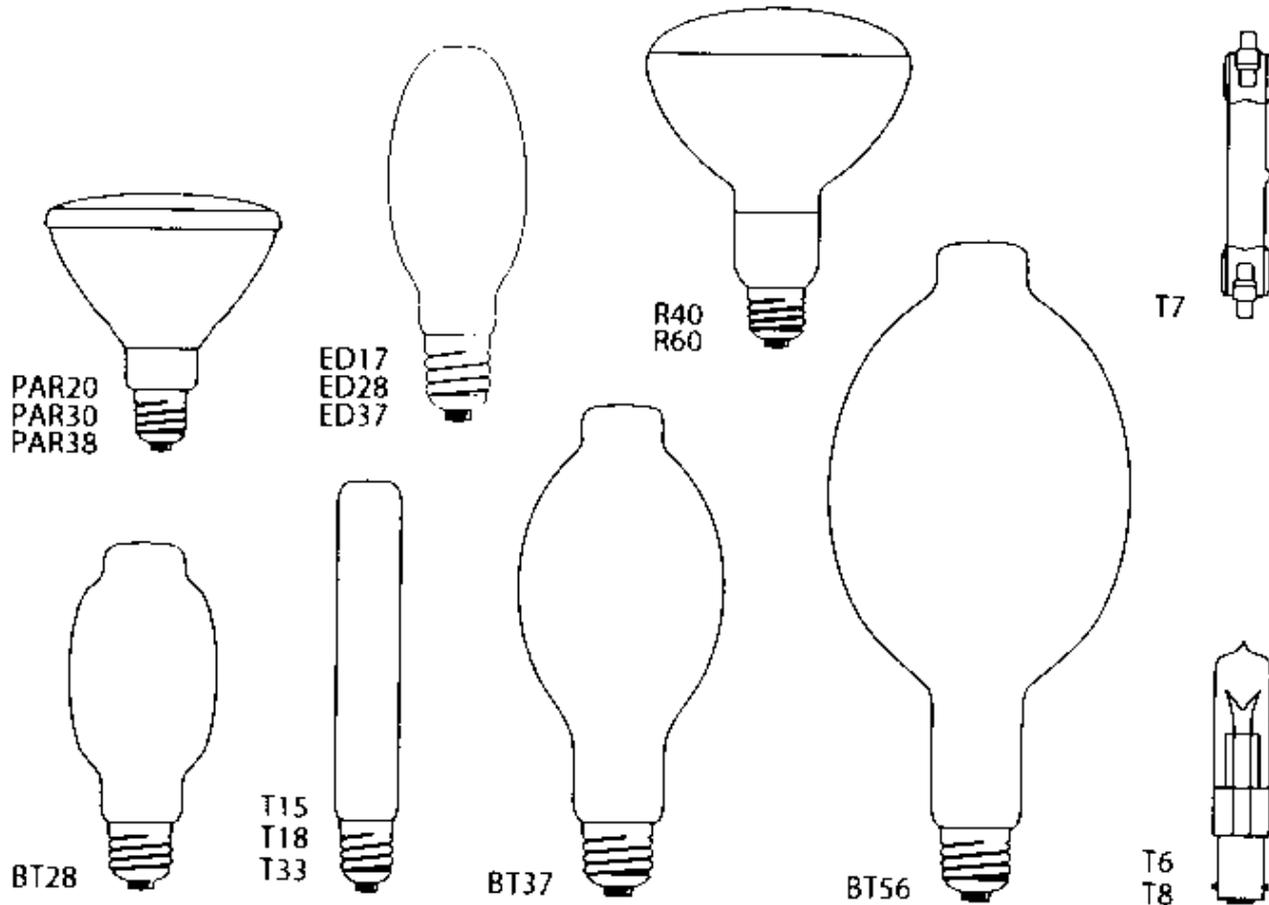
► Description :

- Tube à décharge en céramique contenant des vapeurs d'iodures métalliques
- Ampoule externe en verre tubulaire claire ou ovoïde satinée

Lampes à iodures métalliques

- ▶ Indice de rendu des couleurs supérieur à 80
- ▶ Applications :
 - Éclairage public
 - Éclairage extérieur de mise en valeur
- ▶ Efficacité lumineuse de 85 à 90 lumens/watt
- ▶ Gamme de puissance
 - De 70 à 150 Watts

Forme des lampes



Comparaison de certaines caractéristiques de lampes

<u>Caractéristique</u> Lampes	Lumen/watt	Gamme de puissance (Watt)	Durée de vie (heures)
Incandescent (usage général)	3,75 à 16,4	8 à 500	1000
Halogène	12 à 22	6 à 2000	2000
Fluorescent	68 à 96	4 à 215	9000 à 15000
Mercure	19 à 63	50 à 1000	12000 à 24000
Iodure métallique	68 à 100	70 à 2000	3500 à 20000
Haute Pression Sodium	66 à 140	50 à 1000	14000 à 55000
Basse Pression Sodium	100 à 198	18 à 180	16000

Source: Catalogue GE 1998

Accessoires

172

09/03/2017

- ▶ Toutes les lampes à décharge y compris les fluorescentes nécessitent un ballast pour un bon fonctionnement.
- ▶ Le ballast limite le courant à travers le tube d'arc. S'il est branché sur une tension d'alimentation non régulée le tube d'arc prend immédiatement un courant illimité et se détruit.

- ▶ Le ballast fournit une tension de décharge pour amorcer l'arc.
- ▶ Il maintient ensuite la tension adéquate pour maintenir l'arc stable, évitant les surintensités et ajustant la tension aux exigences de la lampe suivant son âge.

- ▶ Certains ballasts fournissent aussi la correction du facteur de puissance pour compenser partiellement la réactance inductive de la bobine.

Les pertes typiques d'un ballast sont de l'ordre de 15% de la puissance de la lampe

→ il est important de considérer les pertes des ballasts dans les projets d'économie d'énergie.

Gestion énergétique des installations d'éclairage

176

09/03/2017

Gestion énergétique des installations d'éclairage

- ▶ Effectuer un inventaire
- ▶ Établir un programme de maintenance
- ▶ Suivi de la consommation et de la facturation
- ▶ Processus de gestion énergétique

- ▶ Inventorier l'ensemble des appareils d'éclairage existants dans l'usine
 - Salle/espace desservi
 - Type d'appareils
 - Puissance
 - Quantité
 - Type de commande
 - Temps de fonctionnement

Salle ou local	Nbre appareils ou lampes					Puissance / lampe (W)	si Appareils (F)		Puissance installée (kW)	Type de commande			Temps de fonction			
	I	F	M	HPS	A		Nbre de tubes	Longueur (m)		Générale	Partielle	Minuterie	De	à	Nbre heures	Nbre jours par an
Extérieur			9			250			2,250						12	275
Salle Matières Premières		13				40	2	1,20	1,040						9	275
Salle Matières Premières		8				40	1	1,20	0,320						9	275
Zone Livraison		11				40	2	1,20	0,880						9	275
Zone Attente découpage		6				40	2	1,20	0,480						9	275
Couloir central		28				40	2	1,20	2,240						9	275
Section pliage collage		14				40	2	1,20	1,120						9	275
Qualité		16				40	2	1,20	1,280						9	275
Section découpage		12				40	2	1,20	0,960						9	275
Section impression		38				40	2	1,20	3,040						9	275
Bureaux usine		6				40	1	1,20	0,240						9	275

179

09/03/2017

- ▶ Remplacement des lampes et ballasts en fonction des durées de vie
- ▶ Nettoyage des appareils et réflecteurs
- ▶ Peinture des surfaces réfléchissantes (murs, sols, plafonds)
- ▶ Entretien des appareils de contrôle de l'éclairage

- ▶ Installation de compteurs divisionnaires
 - Marche en heures de jour
 - Marche en heures de pointe
 - Marche en heures de nuit
- ▶ Établissement des coûts correspondants par salle, par atelier, ou globalement

- ▶ Processus continu d'amélioration :
 - De la consommation d'énergie
 - De la qualité de l'éclairage
 - Des niveaux d'éclairage aux lieux de travail (normes en lux)
 - Du confort visuel des travailleurs
 - De la production et de la productivité

- ▶ Il s'appuie sur les aspects
 1. Adaptation des niveaux d'éclairage
 2. Utilisation correcte des installations
 3. Performance des installations
 4. Optimisation de la consommation et du coût

Opportunités d'économie d'énergie dans le processus de gestion énergétique



1. Concevoir l'éclairage pour l'activité prévue (lumière plus intense dans les zones de travail que celles de repos).
2. Concevoir des luminaires plus efficaces et utiliser correctement l'éclairage naturel.
3. Utiliser les lampes à rendement élevé (Lumen/Watt élevé).
4. Utiliser des luminaires à rendement élevé.
5. Utiliser un fini plus brillant pour les plafonds, les murs, les sols et le mobilier.
6. Utiliser des lampes à incandescence de rendement élevé si nécessaire.
7. Éteindre les lumières en cas de non-utilisation.
8. Contrôler la luminosité des fenêtres.
9. Utiliser la lumière du jour si possible.
10. Maintenir l'équipement d'éclairage en bon état de fonctionnement et de propreté.
11. Afficher les instructions de fonctionnement et de maintenance de l'éclairage.

- ▶ En général, ce type de projet n'offre pas de gains énergétiques
 - Parent pauvre de l'installation industrielle
 - Pas de normes marocaines en vigueur
 - Correspond rarement aux besoins d'éclairage

Projets de type « Adaptation du niveau d'éclairage »

- ▶ Par contre, il améliore sensiblement le confort visuel donc la production/productivité
- ▶ Une utilisation adéquate de l'éclairage naturel peut cependant réduire les consommations énergétiques

Projets de type « Efficacité lumineuse accrue »

► Projet classique :

- Remplacement des incandescents par des lampes fluorescentes compactes
- Remplacement des tubes de diam 38 par des tubes de diam 26 mm
- Remplacement des vapeurs de mercure par des iodures métalliques
- Remplacement des appareils extérieur sodium haute pression ou vapeur de mercure par des sodium basse pression (aspect sécurité)

Projets de type « Efficacité lumineuse accrue »

- ▶ Autres projets :
 - Réflecteurs plus efficaces
 - Placer les appareils au niveau des besoins à combler

EXEMPLES DE REMPLACEMENT DES LAMPES

Lampes actuelle	Application	Remplacée par
Incandescente (2 x 40 W)	Intérieur/extérieur	36-40 W Fluorescence
Incandescente 100 W	Intérieur/extérieur	36-40 W Fluorescence
Incandescente 200 W	Intérieur/extérieur	2 x 36-40 W Fluorescence
Incandescente 500 W	Extérieur	50-70 W Lampes à sodium haute pression
Fluorescente (40 W)	Intérieur/extérieur	36 W Fluorescence.
Vapeur de mercure (125-250W)	Intérieur	50-70 W Lampe à sodium haute pression
Vapeur de mercure (250-400W)	Extérieur	70-150 W Lampe à sodium haute pression
Vapeur de mercure (250-400W)	Éclairage public	60-90 W Lampe à sodium basse pression

► L'équipement de contrôle d'éclairage :

- Ces équipements contrôlent à la fois la durée de fonctionnement des lampes et l'intensité lumineuse et
- Permettent la régulation de l'éclairement de telle façon qu'ils ne fournissent que l'éclairement convenable.

► Réflecteurs de lumière fluorescente :

- Ils sont conçus pour l'esthétique et pour l'amélioration de la répartition de la lumière,
- Les réflecteurs de type miroir permettent la réduction de la charge de 50% ce qui est équivalent à la moitié des lampes.

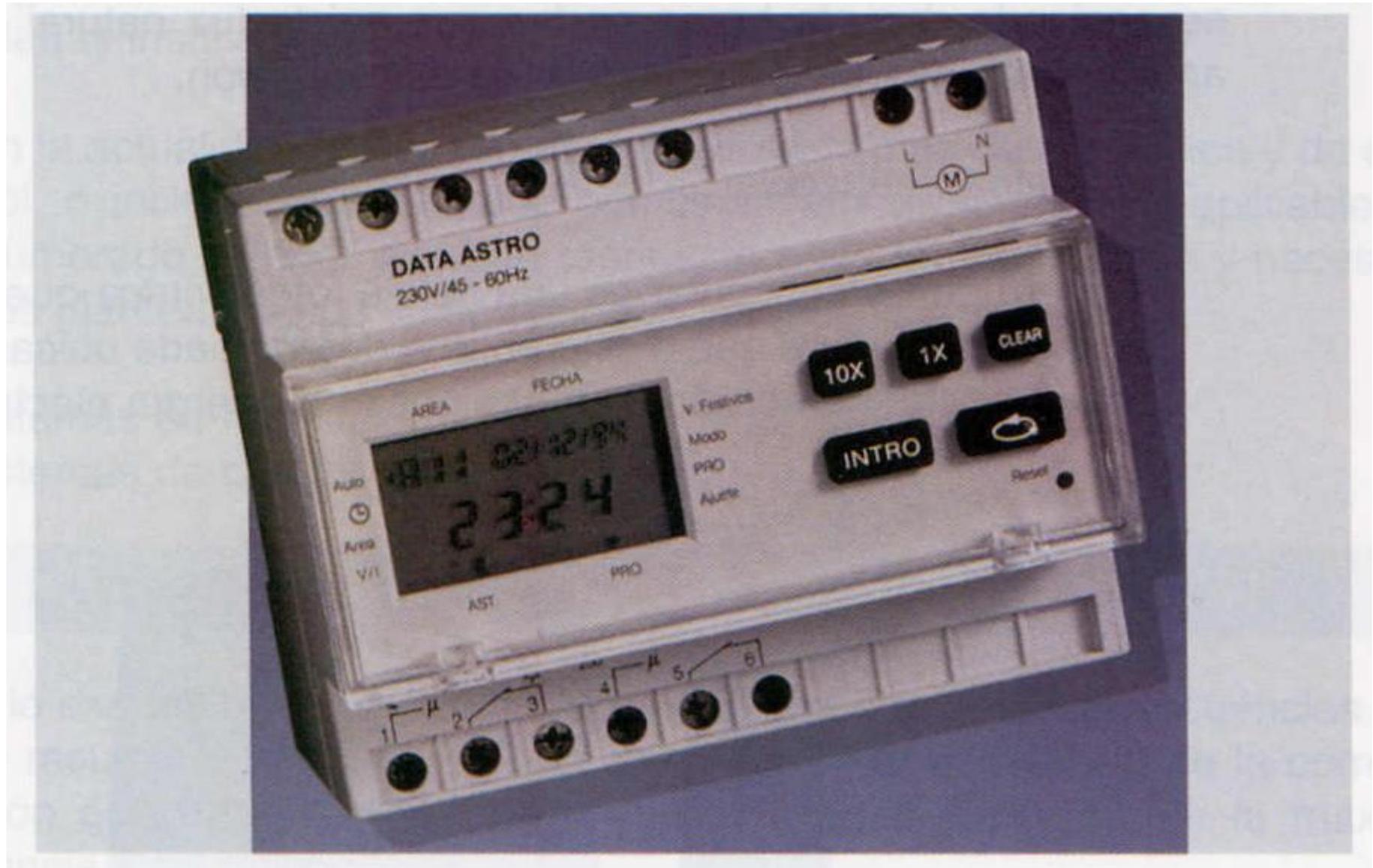
▶ **Ballasts électroniques :**

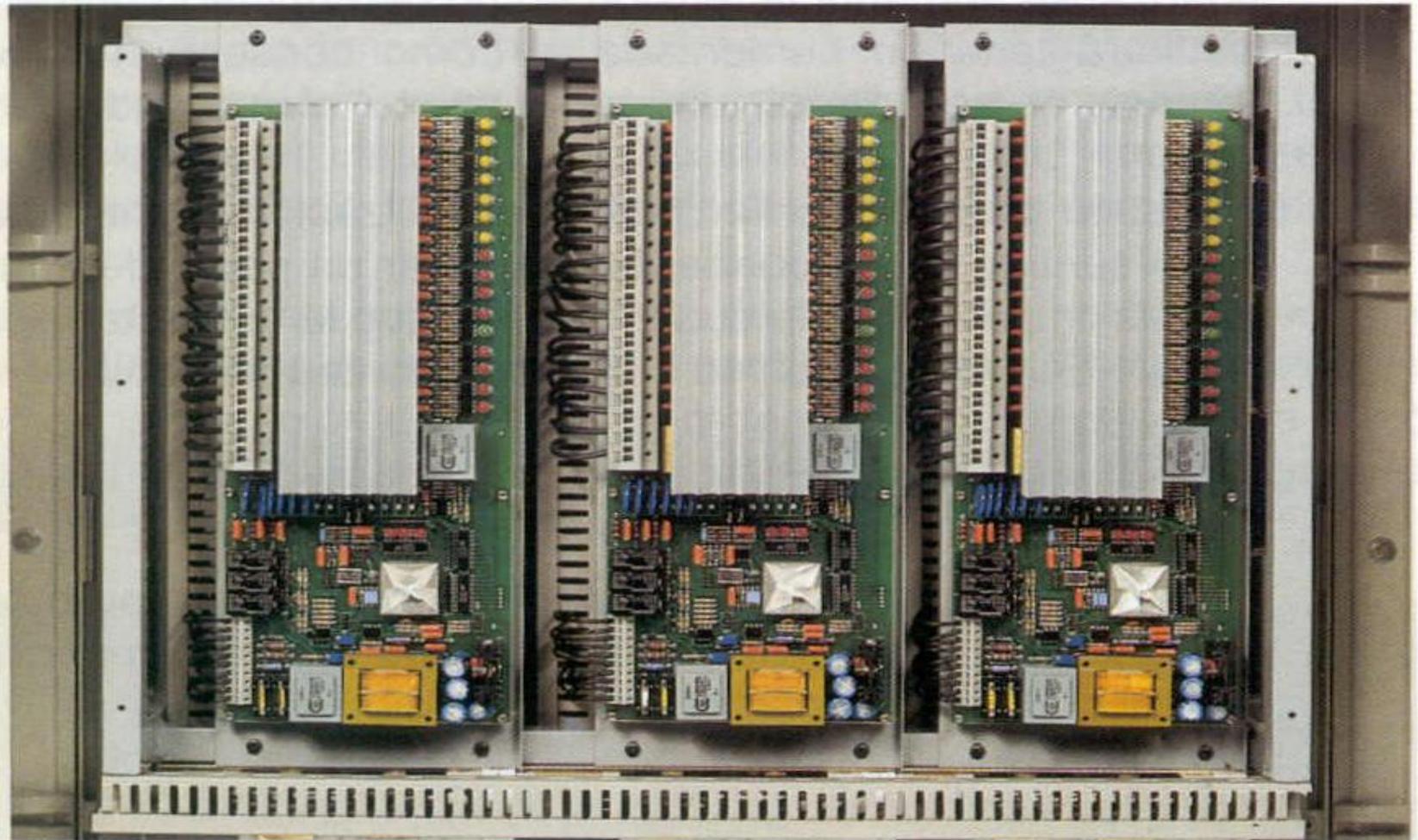
- Les ballasts électroniques présentent une évolution par rapport aux ballasts conventionnels (Durée de vie importante et des pertes réduites).

▶ **Capteurs de présence humaine :**

- Ils allument automatiquement la lumière quand une présence humaine est détectée et les éteignent dans le cas contraire.

Interrupteur astronomique





09/03/2017

Ballasts électroniques



194

09/03/2017

Niveaux d'éclairage recommandés

Eclairage (lux)	Type d'activité
20	Minimum pour la circulation à l'extérieur
30	Cours et entrepôts
50	Parkings
100	Quais et docks
150	Circulation intérieure, magasins
200	Minimum pour les tâches de grosse mécanique
500	Mécanique moyenne – imprimerie travaux de bureaux
750	Bureaux de dessin, mécanographie
1000	Mécanique fine gravure; comparaison des couleurs; dessins difficiles
1500	Mécanique de précision; électronique fine; contrôle divers
2000	Tâches très difficiles dans l'industrie ou le laboratoire

195

09/03/2017

L'optimisation des séquences d'opération

**Techniques reconnues en économie
d'énergie**

Applications de contrôle de type « fondamental »

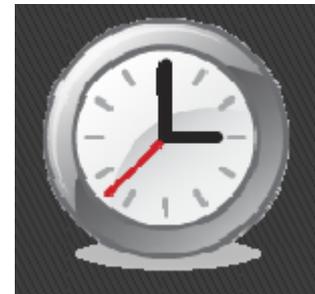
Applications de contrôle de type « avancé »

Applications de contrôle de type « intégré »



Horaires par zone « zone scheduling »

- ▶ Permet à des sections d'édifice de réduire ou d'interrompre l'apport des systèmes mécaniques et d'éclairage selon une cédule horaire prédéfinie.
- ▶ Les cédules horaires par zone permettent de moduler l'opération des systèmes mécaniques et électriques en fonction de l'occupation des lieux, favorisant ainsi une réduction contrôlée de la charge énergétique.



Modification des paramètres selon l'occupation des lieux

« night/unoccupied setback »

- ▶ Changer les paramètres de confort (points de consigne) des systèmes mécaniques de façon à ce que la température de pièce baisse en période hivernale et augmente en période d'été.
- ▶ Cela permet ainsi de réduire la demande de climatisation et de chauffage durant les temps d'inoccupation.
- ▶ Ceci peut aussi être fait grâce à un thermostat programmable, mais comporte le désavantage d'un nombre de plages horaires plus limité et moins flexible.

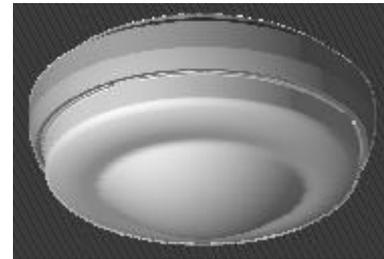
Contournement après les heures d'occupation

« override »

- ▶ Permet des changements temporaires des niveaux de confort à l'extérieur des plages horaires d'occupation.
- ▶ Un mode de retour automatique de l'horaire est primordial dans cette situation sinon cette modification pourrait devenir permanente par accident.
- ▶ Le mode de contournement des heures d'occupation s'établi à partir des demandes faites par quelques occupants dans des sections spécifiques de l'édifice.
- ▶ Permettant de réduire l'utilisation des équipements et réduire la facture d'énergie.

Détecteurs de présence

- ▶ Détecte le mouvement dans un espace donné, autorisant alors l'éclairage de ces lieux ou le départ des systèmes mécaniques.



- ▶ En lieu et place de sondes d'occupation, le système de contrôle du bâtiment peut aussi se servir de la lecture des cartes d'accès.

Horaires de vacances

« holiday scheduling »

- ▶ Un calendrier défini l'opération de l'éclairage et des systèmes mécaniques de certaines aires en fonction de congés annuels préétablis, réduisant ainsi la consommation énergétique et monétaire de l'édifice.
- ▶ Ces horaires peuvent être établis de façon automatique.
- ▶ Jour de l'an, Aid, fêtes nationales etc ...

Détection de luminosité extérieure

- ▶ Permet aux horaires d'éclairage extérieur (tels que pour les aires de stationnement) de varier en fonction de l'ensoleillement.
- ▶ Ceci empêche l'éclairage extérieur de s'allumer inutilement.
- ▶ Le système de contrôle du bâtiment enregistre les heures de levée et couchée du soleil en se basant sur la longitude et latitude.
- ▶ Tout ceci peut aussi s'effectuer plus simplement grâce à un détecteur de luminosité extérieur (cellule photoélectrique) que l'on centralise.



► Arrêts optimisés



- Avant les temps d'arrêt des cédules horaires d'occupation de l'édifice, le système de contrôle du bâtiment arrêtent les systèmes mécaniques le plus tardivement possible, mais toujours en s'assurant que les niveaux de confort demeurent rencontrés jusqu'à la fin des périodes d'occupation et en s'assurant de réduire au maximum la consommation énergétique.
- Les programmes du système de contrôle tiennent compte de la température extérieure et des températures intérieures, enregistrent et compilent ses données afin de toujours s'assurer, jour après jour, d'optimiser les heures d'arrêt requises.

► Départs optimisés



- Avant les périodes d'occupation de l'édifice, le système de contrôle du bâtiment démarre les systèmes mécaniques le plus tardivement possible, mais toujours en s'assurant que les niveaux de confort soient rencontrés au départ des périodes d'occupation et en s'assurant que la consommation énergétique demandée soit minimum.
- Les programmes du système de contrôle tiennent compte de la température extérieure et des températures intérieures, enregistrent et compilent ses données afin de toujours s'assurer, jour après jour, d'optimiser les heures de départ requises pour la période de préchauffage ou de pré-refroidissement.

Ventilation selon la demande

« ventilation on demand »



- ▶ Les niveaux de dioxyde de carbone (CO₂) enregistrés dans les espaces occupés servent à déterminer le nombre d'occupants.
- ▶ Le calcul du rapport entre les niveaux enregistrés de CO₂ et le nombre d'occupants sert à déterminer la quantité d'air frais nécessaire au maintien des normes de qualité d'air.
- ▶ Les systèmes mécaniques ajustent donc leur débit d'air frais en conséquence.

Limite de la demande ou délestage de charges

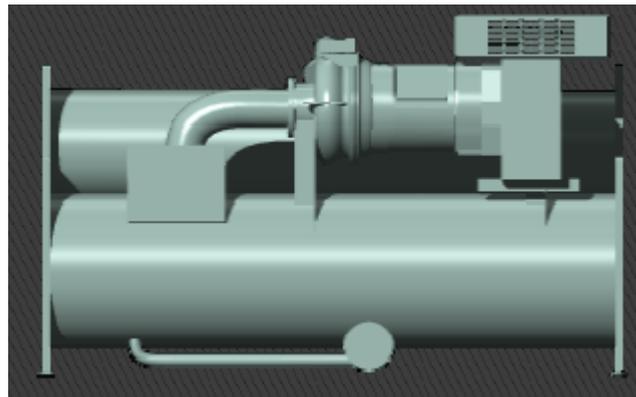
- ▶ Limiter la demande de puissance et d'énergie de certains équipements en s'assurant de ne pas dépasser la puissance suscrite.
- ▶ Retarder ou réduire le fonctionnement de certaines charges électriques.
- ▶ On peut également se servir, par exemple, du réajustement des points de consigne de température des pièces.
- ▶ Les charges de chauffage et d'éclairage non critiques sont habituellement celles touchées.



Optimisation de la réfrigération

« chiller optimization »

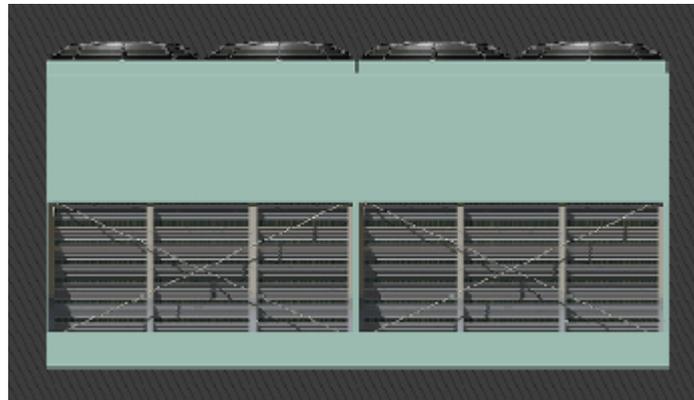
- ▶ La température de l'eau refroidie peut être augmentée lorsque les demandes internes de climatisation de l'édifice réduisent, augmentant ainsi l'efficacité du refroidisseur.
- ▶ Une technique connue sous le nom de « load reset » augmente le point de consigne de la température de l'eau refroidie jusqu'à ce qu'une des valves d'eau refroidie ouvre à 100%.



Optimisation de la tour d'eau

« cooling tower optimization »

- ▶ Le point de consigne de la température de l'eau du condenseur, à l'alimentation du refroidisseur, peut être diminué, tout en respectant les normes du manufacturier du refroidisseur.
- ▶ La réduction de ce point de consigne augmente l'efficacité du refroidisseur en charge partielle et optimise l'opération de la tour d'eau.



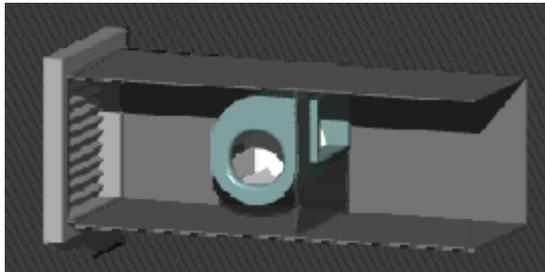
Réajustement de l'eau chaude de chauffage « hot water reset »

- ▶ Les températures d'eau chaude des systèmes peuvent être réajustées en tenant compte de la température extérieure et des demandes internes de chauffage de l'édifice, réduisant ainsi, entre autre, les pertes de chaleur à travers la tuyauterie.
- ▶ La technique du « load reset » diminue donc le point de consigne de la température de l'eau chaude de chauffage jusqu'à ce qu'une des valves d'eau chaude ouvre à 100%.



Variateurs de fréquences.

- ▶ Les variateurs de fréquence optimisent la puissance consommée par les moteurs des ventilateurs des systèmes CVAC, en réduisant ou augmentant leur vitesse en fonction des demandes de l'édifice.



Conclusions

- ▶ Fermer les équipements non utilisés.
- ▶ Déterminer le bon pourcentage d'entrée d'air frais.
- ▶ Limiter les points de consignes des thermostats.
- ▶ Assurer l'énergie minimale pour un confort adéquat.
- ▶ La collecte et l'analyse des données afin de surveiller la consommation d'énergie.
- ▶ L'optimisations des séquences d'opération apporte un retour sur l'investissement presque instantanément.