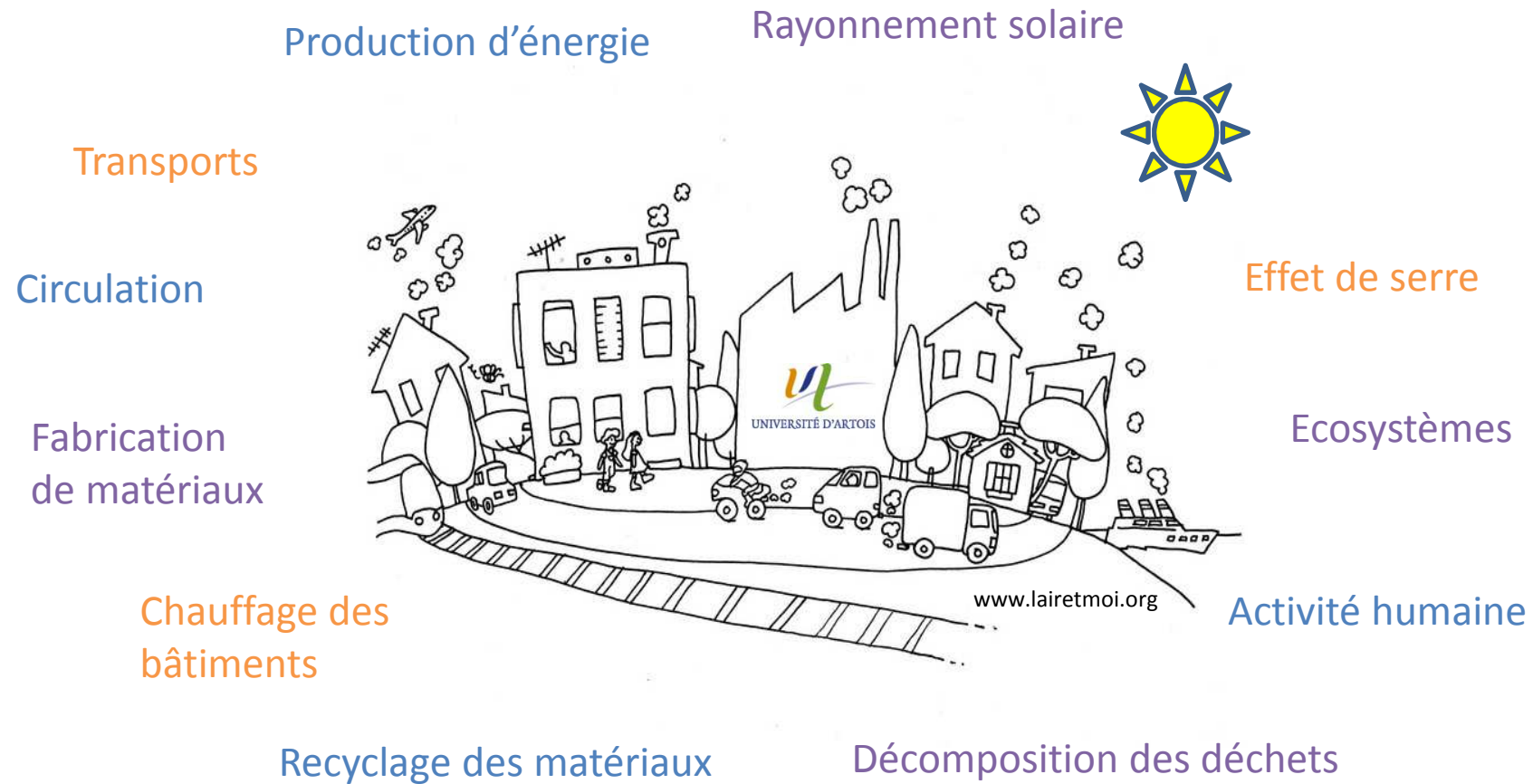


Les qualités thermiques de la pierre naturelle - Villa YFS, un retour d'expérience

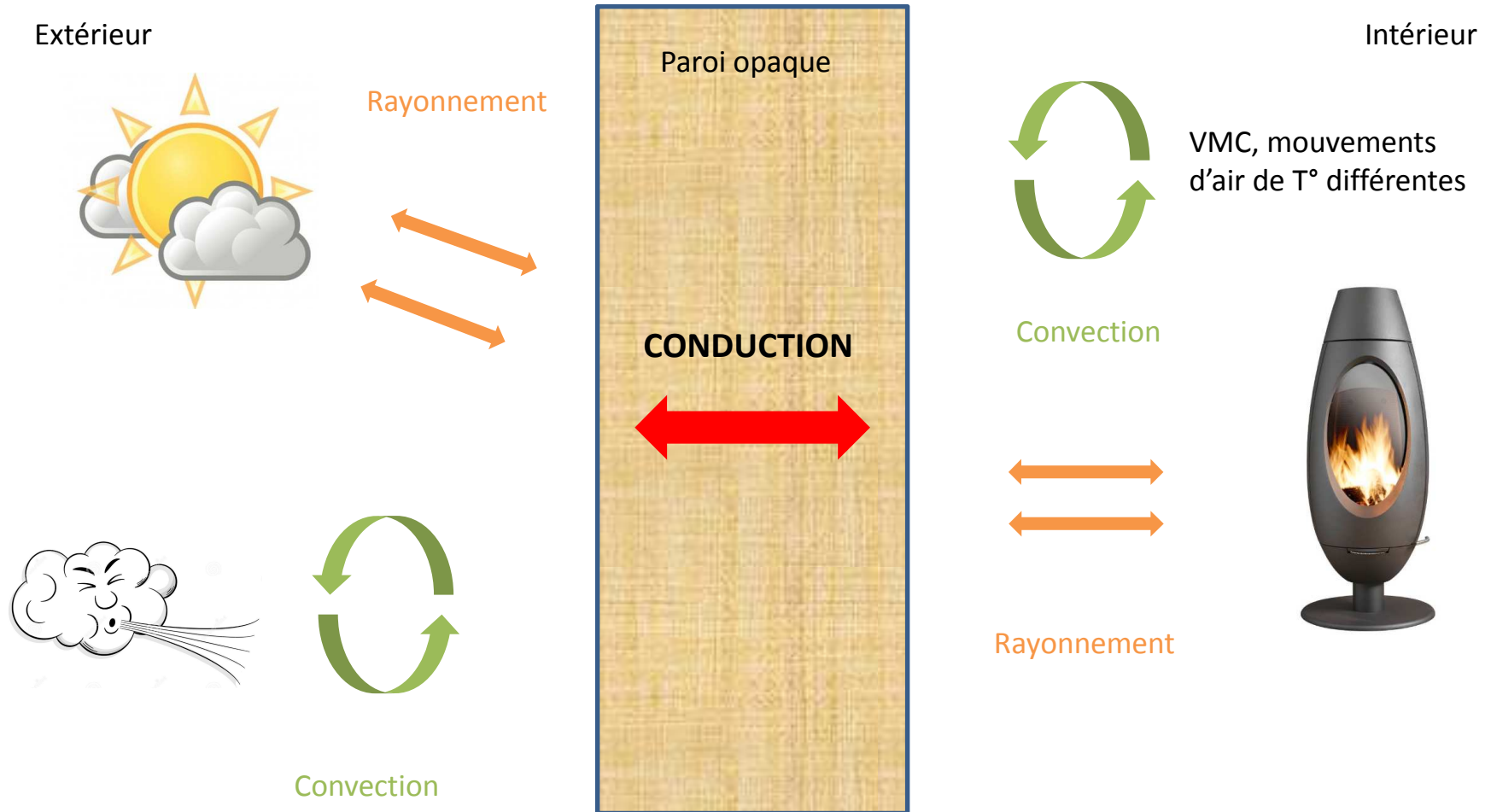
La thermique, l'essentiel à savoir

Emmanuel Antczak – LGCgE – Université d'Artois

La thermique dans notre environnement : contexte énergétique mondial



Quels échanges thermiques observe-t-on au niveau d'un bâtiment ?



La paroi interagit avec l'environnement extérieur et l'environnement intérieur

Quels sont les paramètres thermiques caractérisant la paroi ?

La paroi conduit la chaleur : conductivité thermique λ [$\text{W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$]

C'est le flux de chaleur qui traverse 1 m de paroi pour 1 °C d'écart entre ses 2 faces

Par exemple (valeurs RT 2012) :

Matériau	λ [$\text{W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]
Marbre	3.5	2600 à 2800
Béton plein	2	2300 à 2600
Pierre calcaire tendre	1.1	1600 à 1790
Plâtre gâché serré	0.56	1200 à 1500
Bois feuillu lourd	0.23	750 à 870
Polystyrène expansé	0.039	29 à 40

La conductivité thermique est théoriquement indépendante de l'épaisseur

Conductivité thermique

On remarque que la valeur de λ est corrélée à celle de la masse volumique :

- Plus un matériau contient de matière, plus il est conducteur thermique
- Plus il contient d'air (porosité), plus il est isolant thermique

La résistance thermique est l'inverse de la conductivité thermique à l'épaisseur près

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}]$$

On peut compenser une mauvaise conductivité thermique par une forte épaisseur pour obtenir une bonne résistance thermique

Si on compare 2 matériaux de natures différentes, l'un en fibres naturelles, l'autre à base minérale, on peut expliquer leurs conductivités thermiques :

Anas de lin $\lambda = 0.065 \text{ [W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}]$



Béton $\lambda = 2 \text{ [W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}]$



La porosité du matériau a une grande influence sur les transferts de chaleur car ils contiennent de l'air sec, de la vapeur d'eau, de l'eau liquide...

La conductivité de l'air sec immobile est de l'ordre de $\lambda = 0.024 \text{ [W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}]$ (à 20°C)

La conductivité du quartz est de l'ordre de $\lambda = 2.7 \text{ [W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}]$

La conductivité de l'eau est de l'ordre de $\lambda = 0.6 \text{ [W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}]$ (à 20°C), elle dégrade les qualités isolantes des matériaux

Conclusion : Un matériau à forte porosité, donc pouvant contenir de l'air, aura une plus faible conductivité qu'un matériau contenant plus de matière solide

Quels sont les paramètres thermiques caractérisant la paroi ?

La paroi stocke de la chaleur : chaleur massique c [$\text{J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$]

C'est la quantité de chaleur stockée par 1 kg de matériau pour 1 °C d'écart imposé

Elle ne fait pas l'objet d'une norme spécifique pour sa mesure dans le domaine de la construction. On connaît les ordres de grandeur :

Matériau	c [$\text{J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$]
eau	4180
air	1005 à 1030
Béton, brique, pierre	800 à 900
isolants, bois	1000 à 1800

Les matériaux isolants ont une chaleur massique plus élevée que les matériaux structurels lourds !

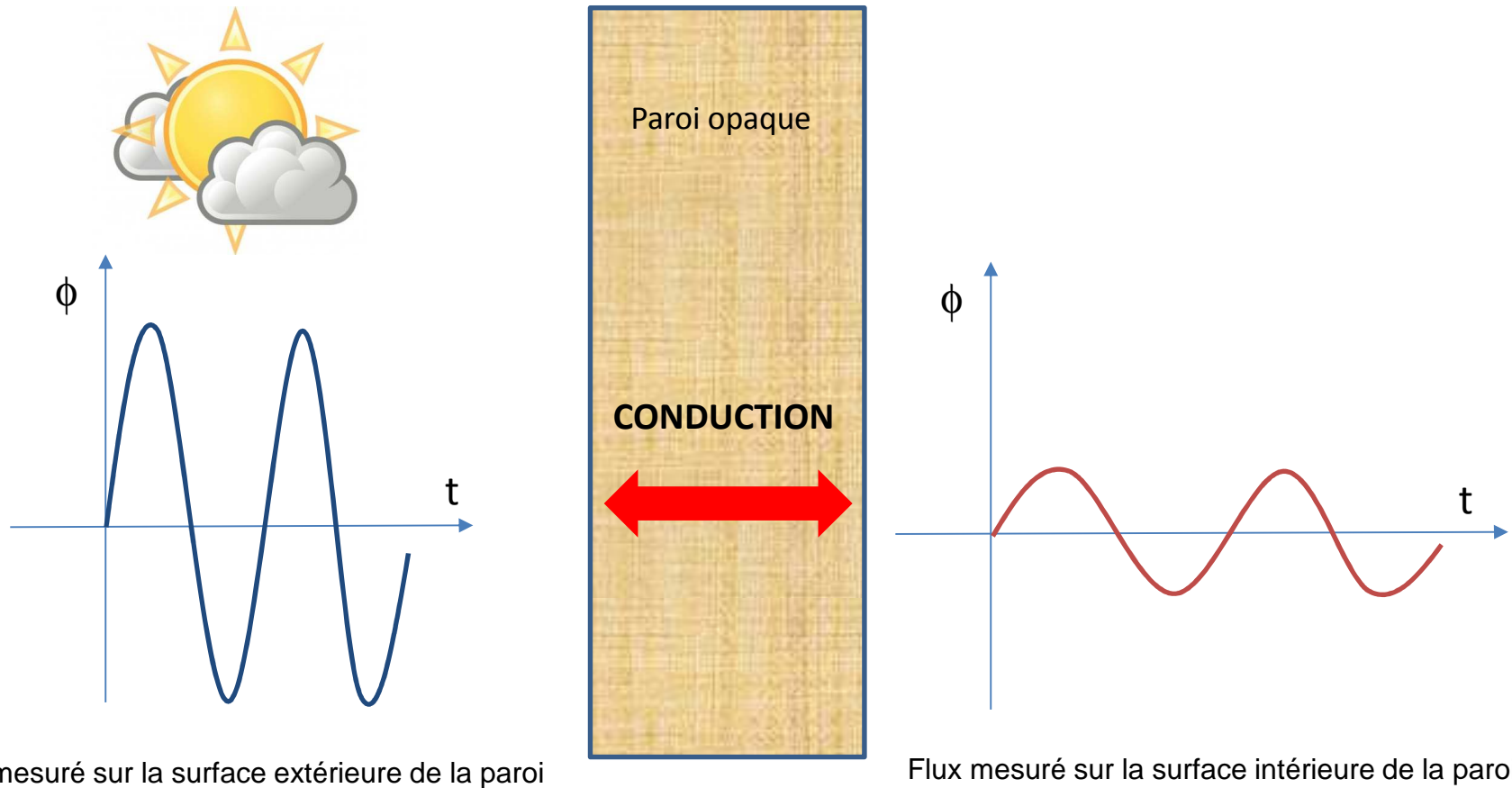
Attention : il faut raisonner par kg de matériau / m² de paroi !



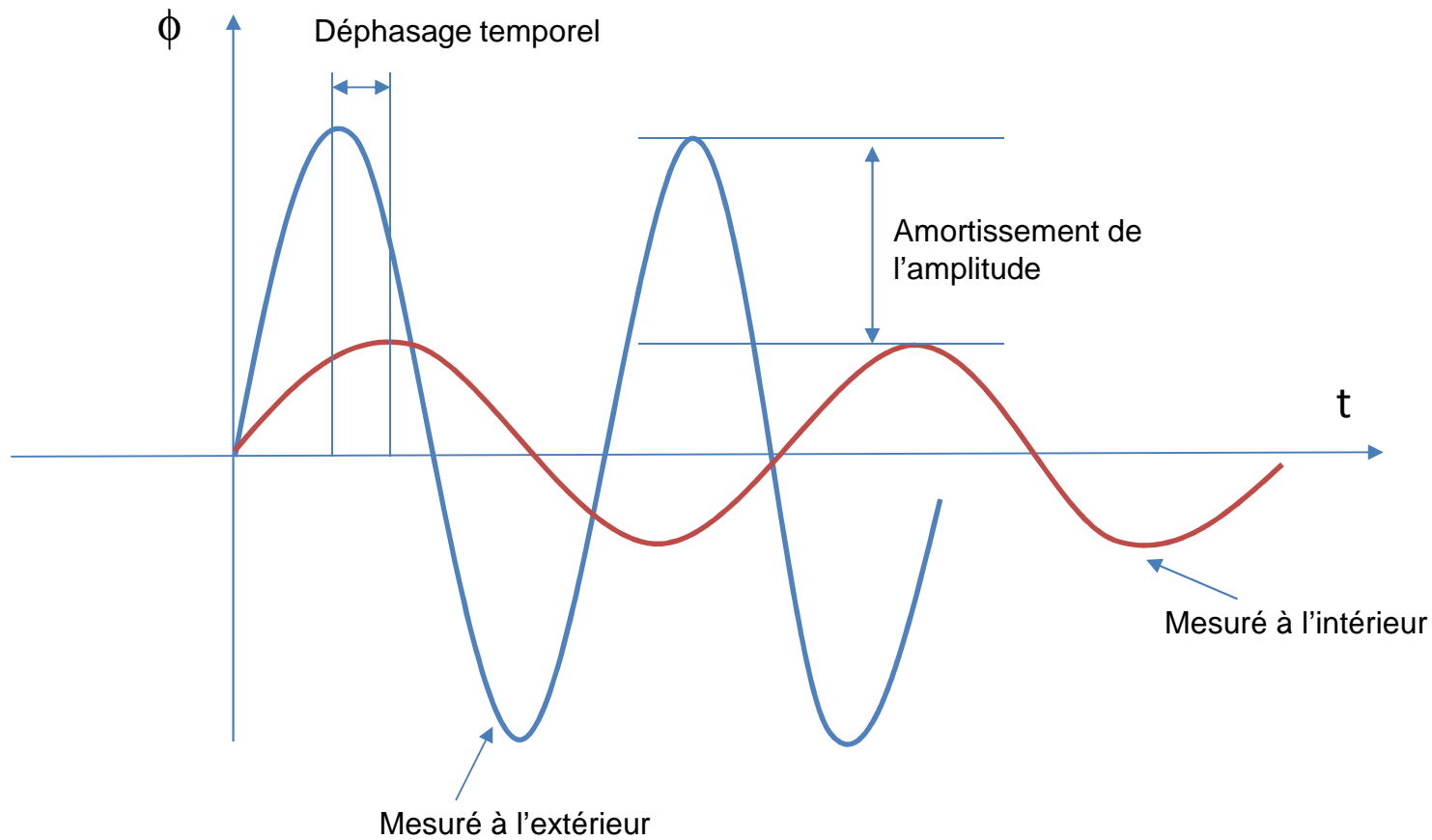
- Un mur en pierre de 20 cm d'épaisseur a une masse au m² d'environ **300 kg à 400 kg**
- Un isolant fibreux de 20 cm d'épaisseur a une masse au m² d'environ **5 à 10 kg**
- La quantité de chaleur stockée dépend de la masse volumique : $Q = \underline{m} \cdot c \cdot \Delta\theta$ [J]
- Le mur en pierre est beaucoup plus lourd donc stockera plus de chaleur même si sa chaleur massique est plus faible (40 fois plus environ)

Quels sont les paramètres thermiques caractérisant la paroi ?

La paroi amortit et décale dans le temps les sollicitations qui lui sont imposées



Si on superpose les 2 courbes, en entrée et en sortie, on observe un décalage en amplitude et en temps :



Les paramètres thermiques qui jouent sur l'amortissement et le déphasage sont :

La diffusivité thermique :

$$a = \lambda / (\rho.c) \text{ [m}^2\text{/s]} \quad \text{que l'on assimile à une vitesse de propagation}$$

Si on prend les valeurs précédentes, on trouve :

- pour le béton $a = 1 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$
- pour un isolant $a = 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$

Le déphasage est donné par $\eta = 1.38 e \sqrt{1/a}$

➡ Donc une faible diffusivité améliore le déphasage

L'effusivité thermique :

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad [\text{J}/(\text{°C}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2})]$$

que l'on assimile à la capacité d'absorber de la chaleur pour un matériau

- pour le béton $b = 2000 [\text{J}/(\text{°C}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2})]$
- pour un isolant $b = 35 [\text{J}/(\text{°C}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1/2})]$

(La température de contact est pilotée par les matériaux à forte effusivité)

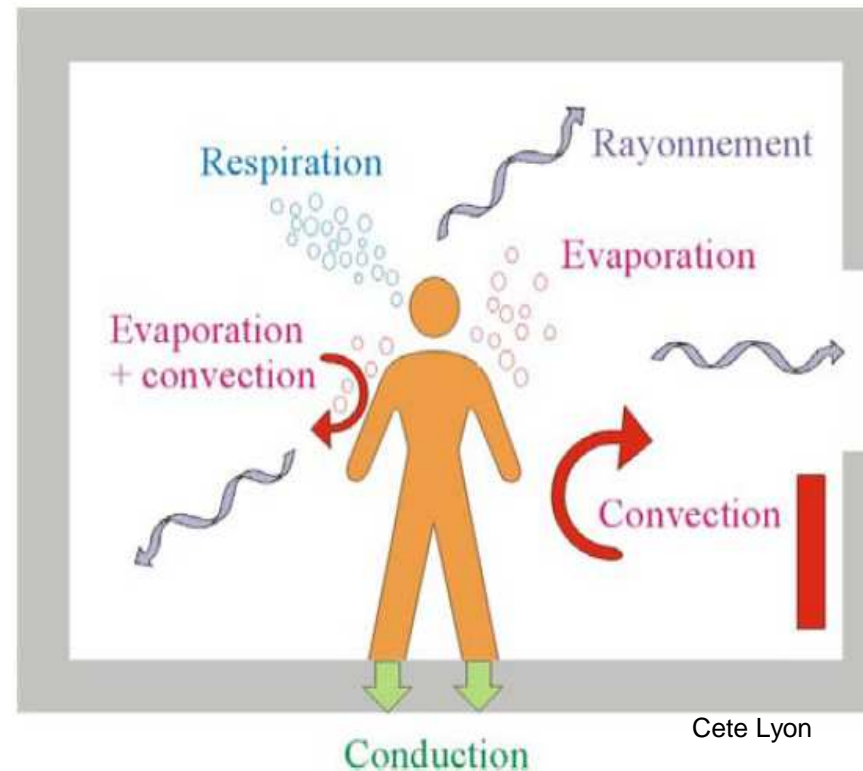
 **une forte effusivité améliore l'inertie**

Quel est l'impact des grandeurs thermiques des parois sur le confort de l'occupant ?

Les températures ressenties à l'intérieur des volumes habités sont directement liées aux caractéristiques thermiques des matériaux utilisés :

- Température d'air
- Température des parois (effet de paroi froide : rayonnement des murs, planchers, plafonds, fenêtres...)
- Humidité
- Mouvements d'air ambiant (vitesse d'air : ventilation mécanique contrôlée, entrées d'air...)

(voir dans la partie exploitation des résultats)



Le matériau idéal ?

- Une conductivité thermique faible pour être isolant thermique
- Une chaleur massique élevée et une effusivité thermique élevée pour l'inertie thermique
- Une diffusivité thermique faible pour augmenter le déphasage

C'est un matériau difficile à trouver car la masse volumique et la conductivité thermique sont corrélées et évoluent dans le même sens.

Quel est le contexte réglementaire ?

- L'actuelle réglementation thermique (RT 2012 – règles Th-Bât Th-I) tient compte de la notion **d'inertie**
 - Inertie horaire (intermittence de chauffage)
 - Inertie quotidienne (récupération des apports de chaleur en hiver, amortissement de l'onde quotidienne en été)
 - Inertie séquentielle (amortissement de l'onde de température en saison chaude sur 12 jours)
- Elle concerne l'ensemble des parois : murs, planchers, plafonds...
- La vision se fait globalement sur le bâtiment (une faiblesse peut-être compensée par un point fort), il n'y a quasiment plus de garde-fous
- Les principaux paramètres sont :
 - Les consommations annuelles par m² (Cep)
 - La température intérieure conventionnelle (Tic, confort d'été)
 - La conception (Bbio)

Comment va évoluer la réglementation thermique ?... Réglementation environnementale ?

La **RT 2020** : Bâtiments à énergie positive (Bepos)

- Les parois doivent être mises à profit pour l'accumulation et la restitution de la chaleur
- L'isolation thermique doit être renforcée
- Une captation efficace de l'énergie solaire de façon passive
- Des systèmes thermiques performants

-

 Sobriété, efficacité, recours aux ENR, production d'électricité renouvelable

Comment va évoluer la réglementation thermique ?... Réglementation environnementale ?

Le référentiel **Energie-Carbone** (Octobre 2016) préfigure de ce que sera cette RT 2020 en ajoutant à la performance thermique, la performance environnementale :

- des produits de construction et équipements (50 ans)
- des consommations d'énergie
- des consommations et rejets d'eau
- du chantier



On tient compte du cycle de vie des matériaux : valorisation des matériaux naturels et durables

Comment va évoluer la réglementation thermique ?... Réglementation environnementale ?

Performance environnementale des produits de construction et équipements (50 ans):

13 lots impactés :

- 1. VRD,
- 2. Fondations et infrastructures,
- 3. **Superstructure – Maçonnerie**,
- 4. Couverture – Etanchéité – Charpente – Zinguerie,
- 5. **Cloisonnement** – Doublage – Plafonds suspendus – Menuiseries intérieures,
- 6. **Façades** et menuiseries extérieures,
- 7. **Revêtements** des sols, **murs** et plafonds – Chape – Peintures – **Produits de décoration**,
- 13. Equipements de production locale d'électricité.

Des valeurs forfaitaires peuvent être utilisées pour les lots suivants :

- 8. CVC (Chauffage – Ventilation – Refroidissement – eau chaude sanitaire),
- 9. Installations sanitaire,
- 10. Réseaux d'énergie (courant fort),
- 11. Réseaux de communication (courant faible),
- 12. Appareils élévateurs et autres équipements de transport intérieur.

Merci pour votre attention