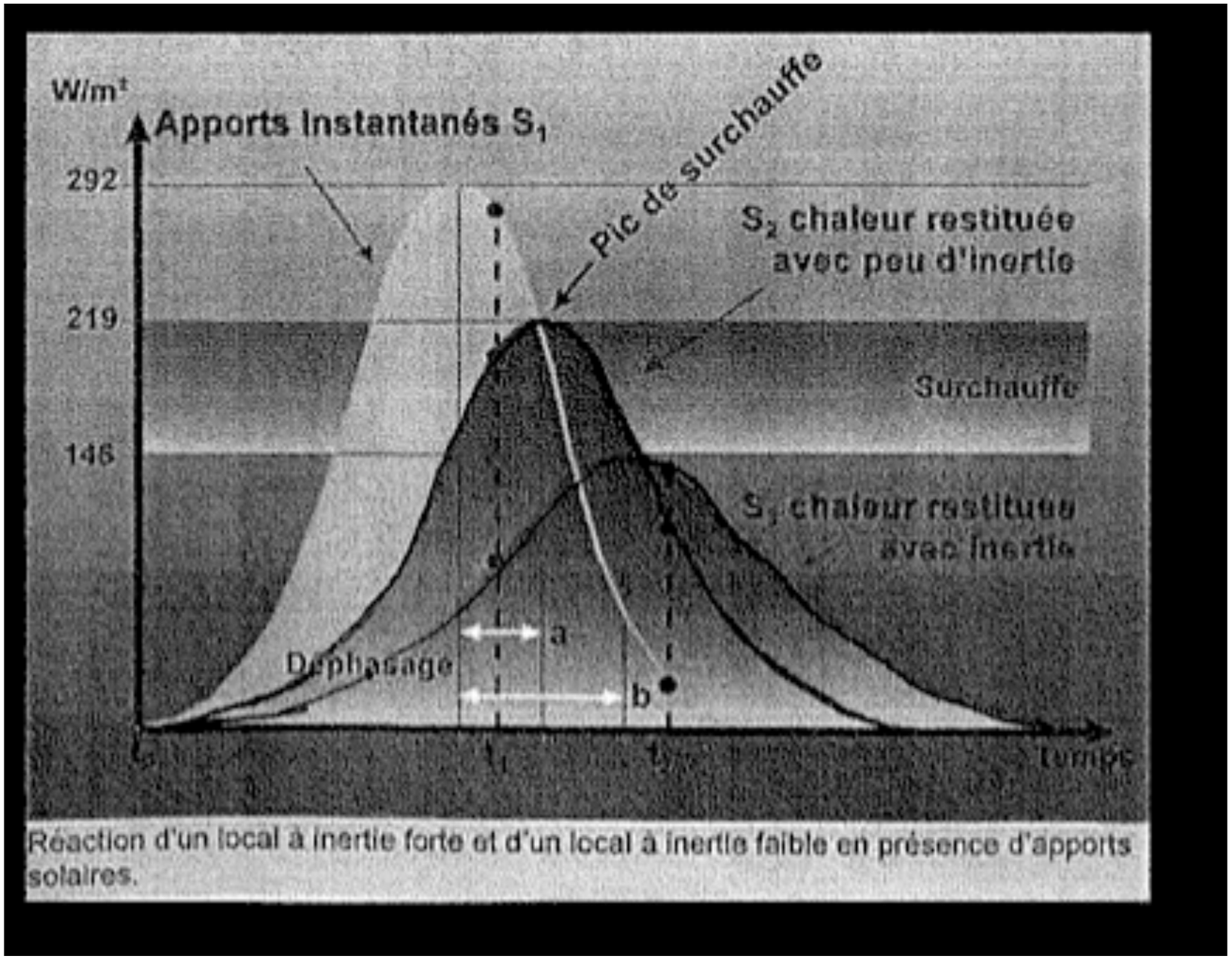
L’inertie thermique :
est la capacité d’un matériau à stocker l’énergie, traduite par sa capacité thermique.

Plus l’inertie est élevée et plus le matériau restitue des quantités importantes de chaleur (ou de fraîcheur), en décalage par rapport aux variations thermiques extérieures.



Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires.

Pour bien utiliser l'inertie d'un bâtiment,

La diffusivité thermique :
est la capacité d'un matériau *à transmettre une variation de température*.

Tab. 5.6. Diffusivité *a* de matériaux de construction

Matériaux	Diffusivité *a* (m^2/s)
Béton ordinaire	$5,5$ à 8.10^{-7}
Mortier	$\approx 4.10^{-7}$
Béton cellulaire	$\approx 4.10^{-7}$
Brique pleine	5 à 6.10^{-7}
Polystyrène expansé	4 à 8.10^{-7}
Laine minérale	2 à 20.10^{-7}
Bois	$1,5$ à $2,5.10^{-7}$
Fibre de bois	$1,3$ à $1,9.10^{-7}$

L'effusivité thermique :
est la rapidité avec laquelle *la température superficielle d'un matériau s'élève*.
Plus elle est grande et plus le matériau absorbe rapidement les apports de chaleur sans que la température du local s'élève notablement.

Tab. 5.7. Effusivité *b* des familles de matériaux de construction

Matériaux	Effusivité *b* ($J/m^2.\,°K.S^{1/2}$)	
Maçonnerie	$\approx 2\,000$	Effusivité courante
Bois	≈ 350	Effusivité médiocre
Plastique alvéolaire	≈ 30	Très faible effusivité

Tab. 5.8. Matériaux pleins à l'échelle macroscopique

Matériaux	Conductibilité λ	Diffusivité *a*	Effusivité *b*
Matériaux de maçonnerie	courante	courante	courante
Bois et bois aggloméré	faible	$\approx \frac{\text{courante}}{3}$	médiocre
Fibres de bois avec vides	faible	$\approx \frac{\text{courante}}{3}$	faible
Isolants plastiques alvéolaires	très faible	courante	très faible
Isolants fibreux	très faible	$\nearrow$ ≈ courante $\nearrow$	

L5C : Environnement thermique et maîtrise énergétique

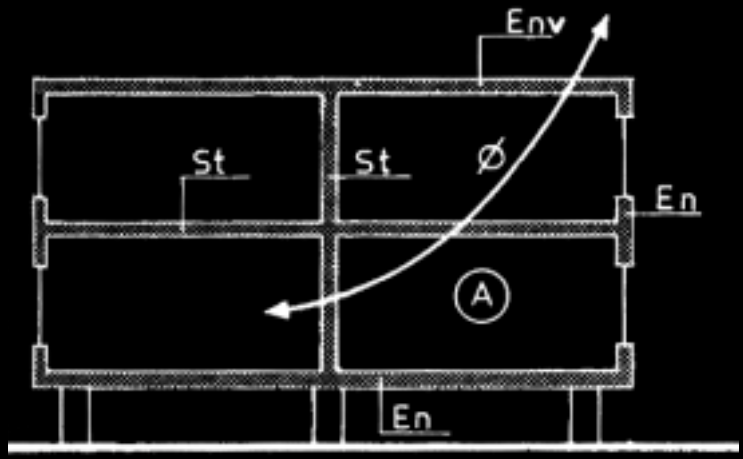
Cours n° 09 > Inertie(s) et régime dynamique

1. Apports et perditions thermiques
2. Deux principes d'inertie thermique
3. Aperçu de la RT 2000 et de la logique HQE

1. Apports et perditions thermiques

- En régime permanent, on considère que la puissance de chauffage ou de climatisation nécessaire pour un bâtiment est égale au flux de chaleur qui sort ou qui entre.

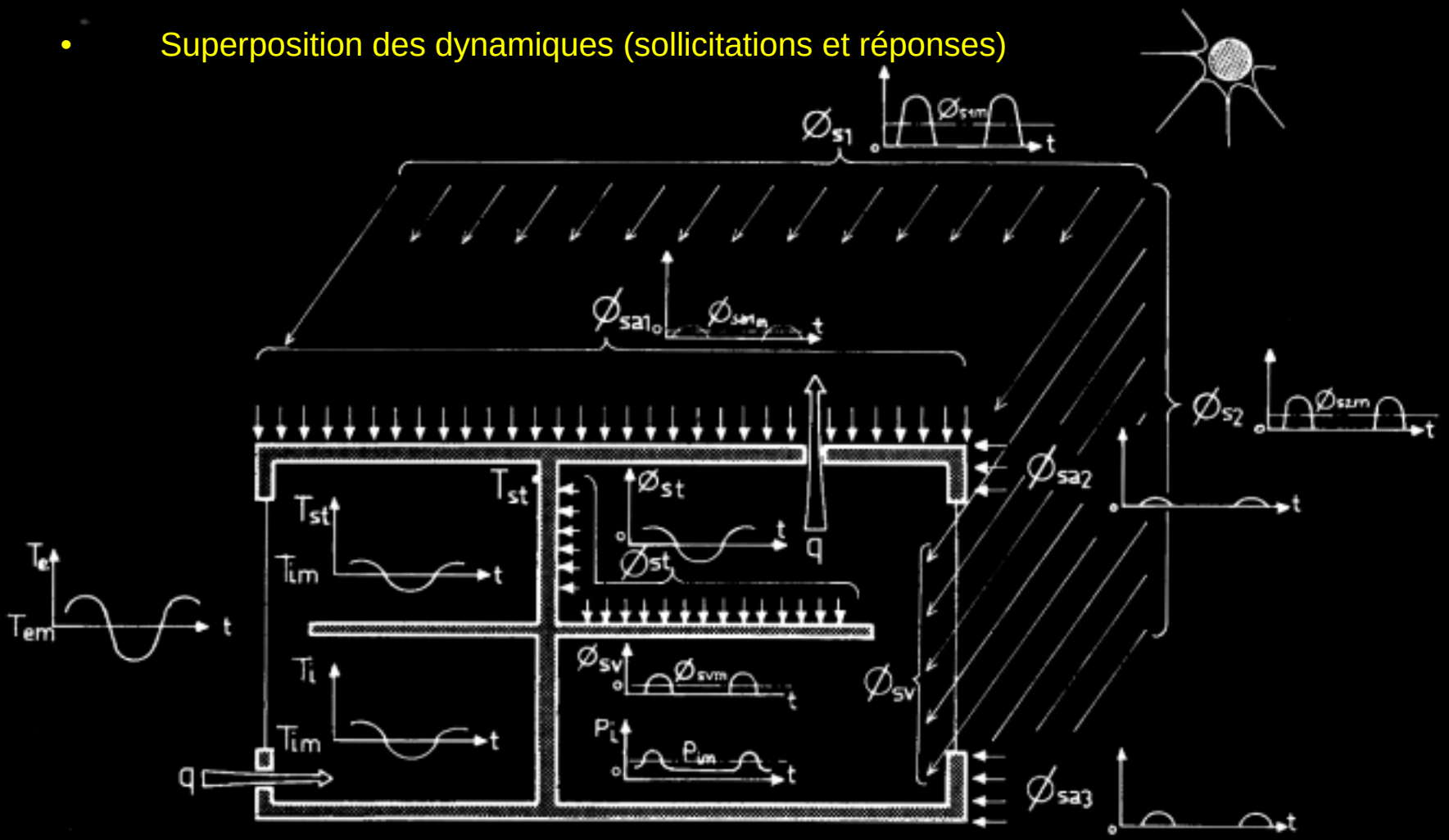
$$P=\phi=U_T.\Delta T$$



- Mais un édifice n'est jamais en régime permanent !
  - La T°C extérieure est variable
  - Le rayonnement solaire est périodique et orientée
  - Une puissance intérieure est produite par les usages
  - Le bâtiment est ventilé avec un débit d'air
- Le problème est donc dynamique !

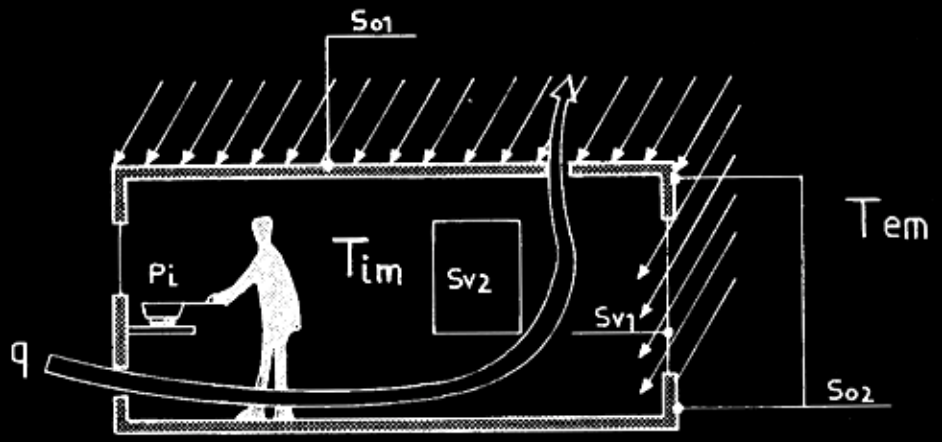
1. Apports et perditions thermiques

- Superposition des dynamiques (sollicitations et réponses)



1. Apports et perditions thermiques

- Bilan des pertes thermiques et des captages solaires



• Conductance totale U_T

• Surfaces vitrées (Sv1, Sv2, …) qui reçoivent Ev1, Ev2 [Wh/m2] diminuées de fv1, fv2, etc…

• Surfaces opaques (So1, So2, ..) qui reçoivent E1, E2, … [Wh/m2] selon leurs inclinaison et orientation et diminuées de fo1, fo2

On peut écrire que les puissances fournies par l'édifice sont égales aux puissances perdues par ce dernier
ou
les puissances crées à l'intérieur de l'édifice, celle captées par les parois opaques et vitrées sont perdues à travers son enveloppe (U) et par sa ventilation (A.q) (on peut prendre A=0.35, q étant le débit d'air)

$$P_i + P_{cv} + P_{co} = U_T (T_{im} - T_{em}) + A.q. (T_{im} - T_{em})$$

1. Apports et perditions thermiques

- Bilan des pertes thermiques et des captages solaires

$$\Delta T_m = T_{im} - T_{em} = \frac{P_i + P_{cv} + P_{co}}{U_T + A.q}$$

A- Enveloppes vitrées

-perd le flux moyen $\Phi_{pm} = U_T .S (T_{im}-T_{em})$

- capte $\Phi = \tau . S_V.\phi i$

τ : transmittance du vitrage [0 (opaque) et 1 (ouvert)]

ϕi : densité de flux incident sur le plan concerné

On connaît **Énergie Solaire globale** (Max ou effective) reçue / m2

$$\Phi_{cmv} = f_v . S_v . E/24 \text{ [W]}$$

fv : facteur d'ensoleillement

Sv : Surface vitrée

B- Enveloppes opaques

On peut montrer que le flux capté par une Surface S en tenant compte des masques

$$\Phi_{cm} = f_o . \alpha . \frac{U}{h_e} . \frac{E}{24} . S \text{ [W]}$$

α : absorbance de la surface S

fo : facteur d'ensoleillement (dépend de la géométrie du bâtiment et de l'orientation et inclinaison de la surface)

1/he : résistance superficielle

E : Energie effectivement reçue

2. Deux principes d'inertie thermique

Deux exemples extremes… La grotte et la tente

La grotte	La tente
Inertie thermique très grande *Quand il y a de grandes variations de T°C extérieure* Variations de T°C intérieure quasi nulles	Inertie thermique quasi nulle *Quand il y a de grandes variations de T°C extérieure* Variations de T°C intérieure très importantes

Mais aussi… La cave et la serre

La cave	La serre
Inertie thermique très grande *Quand il y a de grandes variations de T°C extérieure* Variations de T°C intérieure quasi nulles	Inertie thermique quasi nulle *Quand il y a de grandes variations de T°C extérieure* Variations de T°C intérieure très importantes

2. Deux principes d’inertie thermique

L'inertie thermique (par absorption) est la capacité d'un matériau à accumuler puis à restituer un flux thermique

- C'est la capacité thermique d'un matériau qui détermine son inertie. Plus la capacité thermique est élevée, plus le matériau est capable de stocker et de restituer des quantités de chaleur.

- Une pierre, un mur (maçonnerie) ensoleillé reste chaud longtemps après le coucher du soleil et pour les mêmes raisons, une cave reste fraîche même en plein été. C'est la forte inertie thermique du mur qui permet ce phénomène. La capacité thermique dépend de trois paramètres propre à chaque matériau :

  - La conductivité thermique
  - la chaleur spécifique
  - la densité (masse volumique)

2. Deux principes d'inertie thermique

Diffusivité : $a = \lambda / \rho C$ [en m^2/s] Effusivité : $b = (\rho \lambda C)^{1/2}$ [en $J/m^2.°C.S^{1/2}$]

PROPRIÉTÉS THERMIQUES DE QUELQUES MATÉRIAUX

Matière	Densité ou masse vol. ρ en kg/m³	Conductivité λ en W/m.°C	Chaleur spécifique c en J/kg.°C	Capacité thermique S=ρ.c enkJ/m³.°C	Effusivité Ef=$\sqrt{\rho.c.\lambda}$ en J/$\sqrt{s}$.m².°C
Air	1,29	0,024	1005	1,256	5,6
Polystyrène	15	0,04	1380	21	29
Laine de verre	120	0,04	828	99	63
Liège	215-220	0,04-0,05	1750	376-385	122-139
Bois	400-800	0,13-0,2	2400-2700	960-2160	353-657
Béton cellulaire	400-800	0,14-0,23	1000	400-800	237-429
Isolant fibreux	500	0,05	600	300	120
Béton léger	600-2000	0,22-102	1000-1100	600-2200	360-1600
Linoléum naturel	700	0,081	1900	1330	330
Maçonnerie en briques	700-2000	0,30-0,96	900	630-1800	480-1300
Terre sèche	1500	0,75	900	1350	1000
Pierres naturelles (poreuses)	1600	0,55	700	1120	785
Béton ordinaire	2200-2400	1,6-2,1	1100	2400-2640	1960-2350
Aluminium	2700	200	900	2430	22000
Pierres naturelles (non poreuses)	2800-3100	3,5	900	2520-2790	2970-3120
Fer	7250	56	540	3915	14800
Acier	7800	60	500	3900	15300
Cuivre	9000	348	385	3465	34700
Eau	1000	0,58	4200	4200	1560

Tableau in « L'habitat écologique » de Friedrich Kur

2. Deux principes d'inertie thermique

Diffusivité : $a = \lambda / \rho C$ [en m^2/s]

Béton ordinaire	5,5 à 8.10^{-7}
Mortier	4.10^{-7}
Béton cellulaire	4.10^{-7}
Brique pleine	5 à 6.10^{-7}
Polystyrène expansé	4 à 8.10^{-7}
Laine minérale	2 à 20.10^{-7}
Bois	1,5 à $2,5.10^{-7}$
Fibre de bois	1,3 à $1,9.10^{-7}$

Effusivité : $b = (\rho \lambda C)^{1/2}$ [en $J/m^2.°C.S^{1/2}$]

Maçonnerie	2 000	[Effusivité courante]
Bois	350	[Effusivité médiocre]
Laine minérale	60	[Effusivité très faible]
Plastique aléolaire	30	[Effusivité très faible]

On remarque que des matériaux aussi différents que du mortier et du polystyrène expansé ont pratiquement la même diffusivité. L'un conduit mieux la chaleur que l'autre mais sa capacité volumique étant bien plus grande, sa température ne s'élève pas plus.

S'ils transmettent pratiquement de la même façon une variation de température, ils n'absorbent pas du tout la même puissance thermique (rapport de 50 !). Le polystyrène conduit mal la chaleur et, sa chaleur volumique étant faible, il absorbe peu de chaleur)

2. Deux principes d’inertie thermique

Une inertie ?… Deux inerties !

- On parle souvent d'inertie thermique au singulier concernant une paroi. Mais, plus précisément, nous pouvons distinguer deux types d'inertie de nature différente :

  l’inertie de transmission et l’inertie par absorption.

- L'inertie de transmission

- Agit en résistant à la transmission de la température et de la chaleur. Elle ne concerne que les parois opaques de l'enveloppe d'un bâtiment.

- Concrètement, l'inertie de transmission augmente quand, pour les matériaux de paroi :

  – La diffusivité diminue (a)
  – La conductivité diminue (λ)
  – L'épaisseur augmente (e)

- L’inertie par transmission fait plutôt appel à des matériaux légers que sont les isolants.

2. Deux principes d'inertie thermique

Une inertie ?… Deux inerties !

- L'inertie par absorption
- Réduit les variations de température en absorbant (ou restituant) la chaleur (la puissance thermique).
- Concrètement, l'inertie par absorption augmente quand, pour les surfaces opaques d'enveloppes :
  - L'effusivité augmente (b)
- Concrètement, l'inertie par absorption augmente quand, pour les structures-cloisonnements intérieures d'épaisseur suffisante et de surface I :
  - L'effusivité augmente (b)
  - La surface augmente (I)
- Concrètement, l'inertie par absorption augmente quand, pour les couches intérieures d'épaisseur suffisante de l'enveloppe de surface S :
  - L'effusivité augmente (b)
  - La surface augmente (S)
    - En cas de bi-couche, mettre la plus effusive à l'intérieur.
- L'inertie par absorption fait appel à des matériaux effusif, qui, minéraux se trouve être lourds, mais dont l'action est due à leur surface d'échange et peu à leur épaisseur (10cm suffisent), donc peu à leur masse. Cette dernière intervient que dans les évolutions de T°C de plusieurs jours.

2. Deux principes d’inertie thermique

Quelques remarques valables pour l'habitat en climat tempéré.

- La capacité thermique d'une paroi est surtout utile que si elle est placée du côté intérieur du bâtiment et isolée des conditions climatiques extérieures.

- Construire en "forte inertie", c'est donc utiliser des matériaux lourds à l'intérieur de l'habitat afin de stocker la chaleur solaire et d'atténuer les variations de température interne.

- À l'inverse, une maison à "faible inertie" montera vite en température au moindre rayon de soleil sans possibilité de stocker la chaleur solaire. Les écarts de température internes seront importants. Les risques de surchauffe élevés.

- Une forte inertie est surtout utile en cas d'occupation permanente. Une faible inertie peut être intéressante pour des locaux à usage intermittent.

- La prise en compte pour l'habitat d'une forte inertie thermique dans la conception offre de nombreux avantages tant au point de vue du confort de l'usager que de celui de l'économie d'énergie et d'une logique de développement durable. Mais attention, il n'y a pas de systématisme à son utilisation !