

Connaissance du bâti ancien  
de ses techniques et de ses matériaux  
en vue de  
l'amélioration de son confort  
hivernal et estival.

## Plan de l'exposé:

### Les modes constructifs

- Murs et fondations

- Liants du hourdage

### Le choix de l'implantation du bâti ancien

### Le bâti ancien face aux attentes de confort

- Les éléments du confort

- Gérer l'humidité

- Eliminer les parois froides

- Gérer les courants d'air

- les performances naturelles du bâti ancien

### Rappels de thermique pour le froid

### Rappels de thermique pour le chaud

### La notion d'énergie grise

### La mise en œuvre des améliorations thermiques

- la toiture

- Les sols

- Les murs

- Les fenêtres

- La ventilation

### Conclusions

## Les modes constructifs

Pour intervenir sur le bâti ancien sans risquer d'y créer des désordres  
et pour bénéficier de ses qualités intrinsèques  
Il est nécessaire de bien comprendre ses modes constructifs

Par bâti ancien on entendra ici le bâti construit en matériau non industriel  
avant 1948 environ.

A noter qu'un bâti contemporain construit en matériau non industriel aura à  
peu près les mêmes caractéristiques.

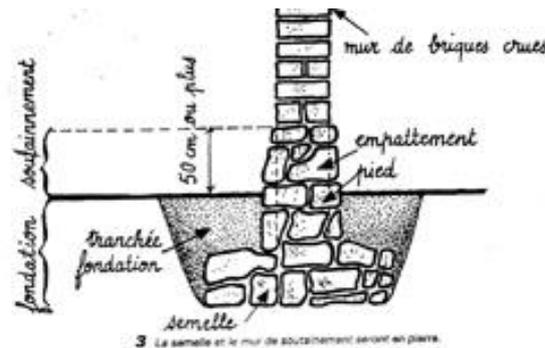
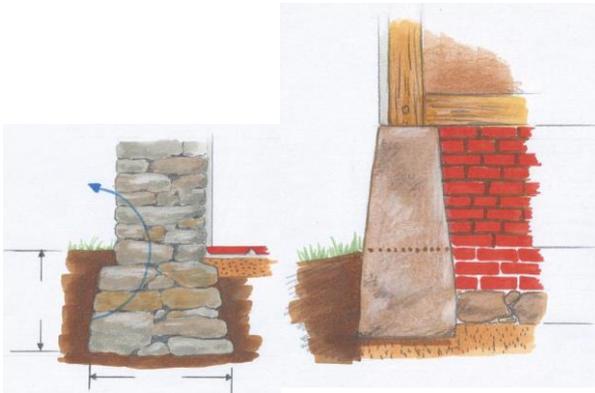
## Les modes constructifs

### Les murs et leurs « fondations »

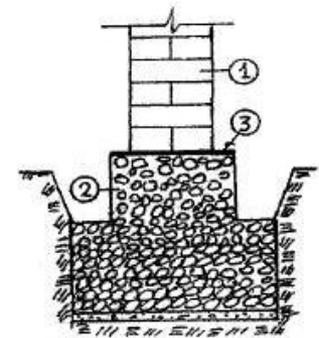
# Les fondations

Le bâti ancien n'a pas de fondation au sens contemporain du terme car les éléments qui lui servent de base ne sont pas solidarisés entre eux.

Cette base est généralement sommaire, peu profonde, faite de grosses pierres, ou de « béton cyclopéen », environ 1,5 à 2 fois plus large que l'épaisseur du mur soutenu.



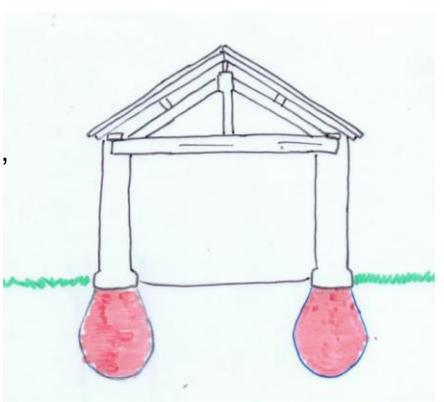
3 La semelle et le mur de soulèvement servent en pierre.



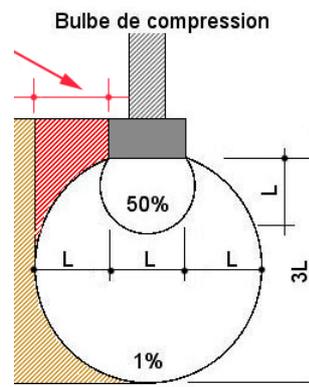
① blocs d'adobe ② béton cyclopéen ③ étanchéité

# Les fondations

Le « bulbe de compression » forme l'assise des fondations, c'est une zone sensible.



Il porte la construction. C'est une zone à ne pas toucher



Pas de décaissement vertical plus bas que la première assise

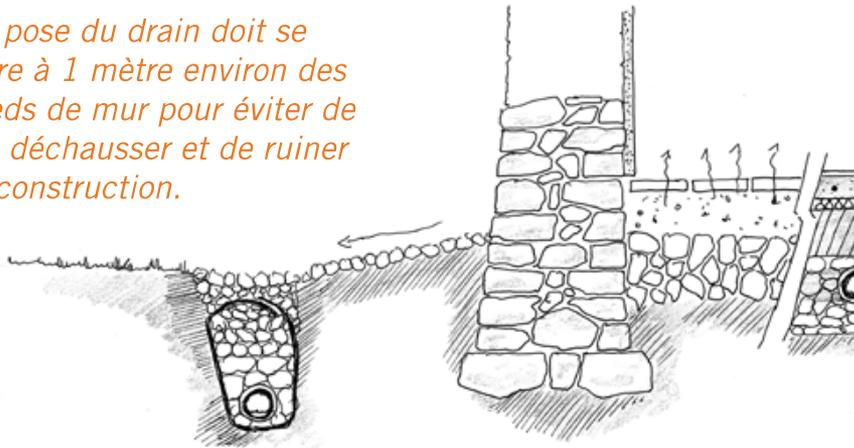
Pas de drain en pied de mur

Le tassement du sol provoque une augmentation de la capillarité. Les remontées capillaires sont courantes et normales.

## Les fondations

Elles étaient généralement protégées par un drain pour limiter les remontées capillaires, malheureusement souvent non entretenu et détérioré par le temps et les travaux,

*La pose du drain doit se faire à 1 mètre environ des pieds de mur pour éviter de les déchausser et de ruiner la construction.*



En ville les caves assuraient la ventilation des parties enterrées;

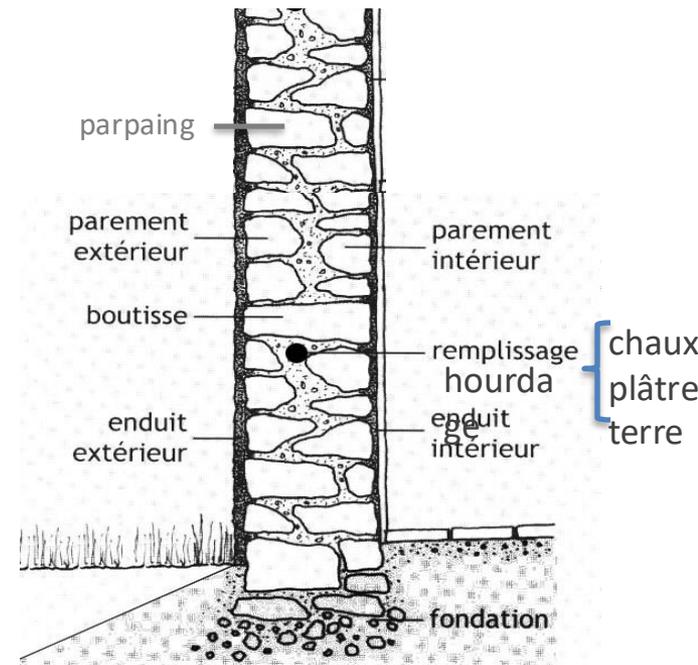
Source : « *Connaissance du bâti ancien, de ses techniques et de ses matériaux* »

## Les murs en pierre tout venant

Les pierres sont telles qu'elles ont été ramassées dans les champs, ou extraites brutes d'une carrière.

Le mur est fait de deux parements, leur solidarité est obtenue par des « parpaings » et des « boutisses » qui relient, en principe, ces deux parements, comme pour les murs en pierre sèche.

La liaison et l'étanchéité à l'air est réalisée par le hourdage.

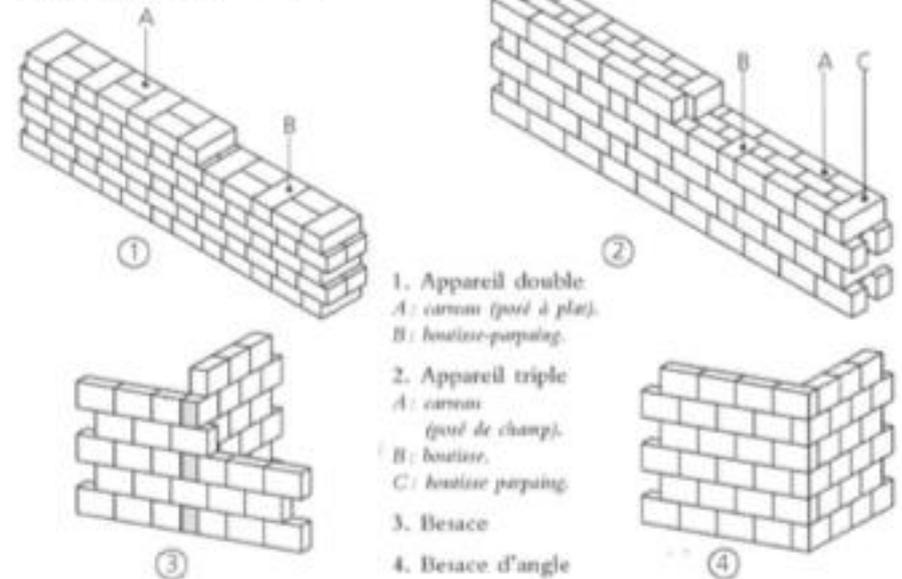


## Les murs en pierre de taille

Les pierres sont taillées, parfois sommairement, pour s'organiser avec des joints très réduits de chaux ou d'un autre liant.

La quantité de liant étant faible c'est la caractéristique de la pierre elle même qui va déterminer la possibilité de remontées capillaires dans le mur.

Appareils des pierres de taille

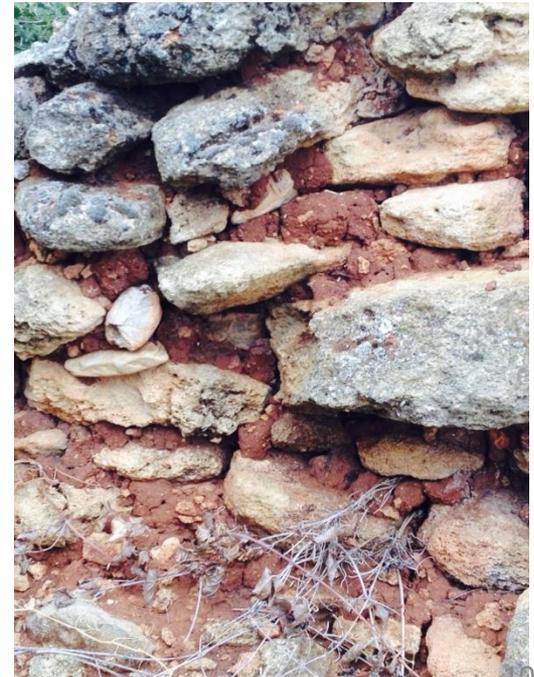
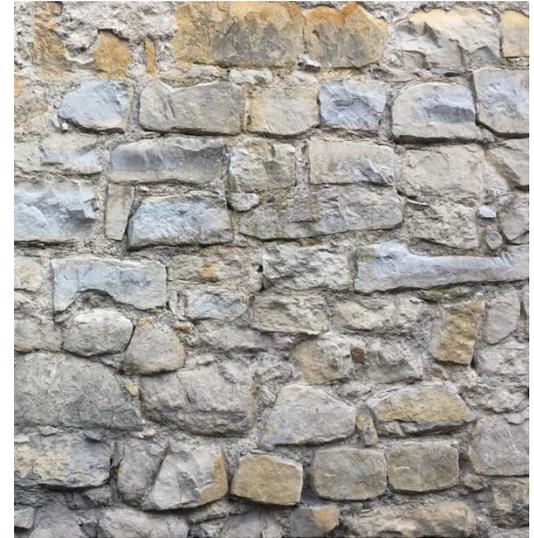


## Le rôle du hourdage

Il est également trouvé localement:

- chaux si l'on a du calcaire à proximité,
- Plâtre gros près des ressources en gypse
- terre argileuse dans les autres cas.

Qu'il soit fait de chaux, de plâtre ou de terre, il n'a qu'un faible effet de colle, il reste souple aux déformations, il protège du vent.

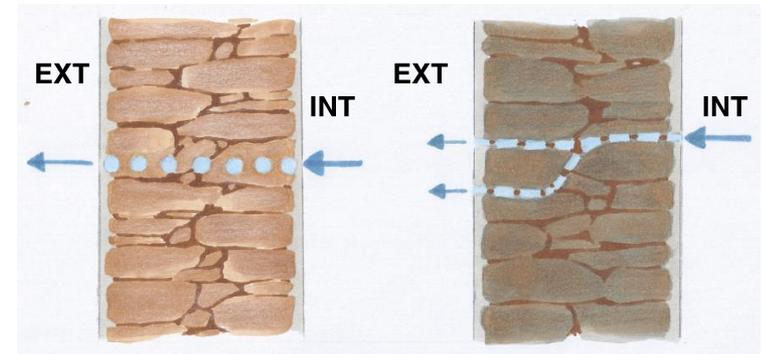
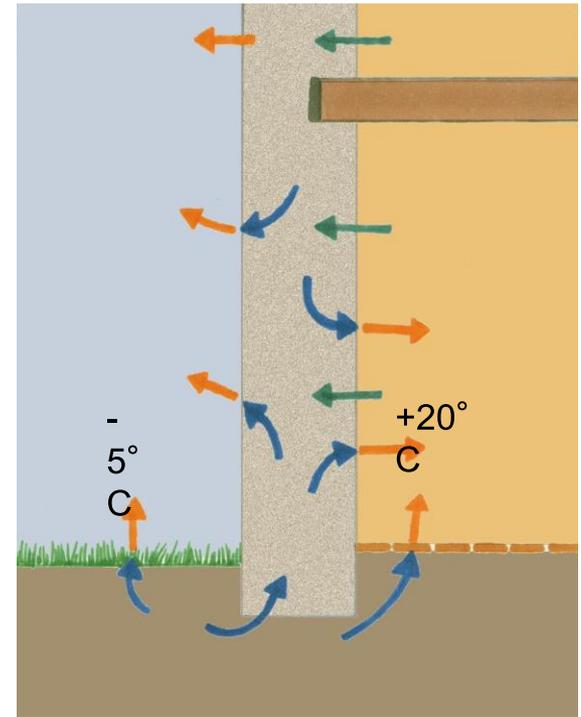


## Le rôle du hourdage

Sa « porosité » et sa « capillarité »  
Favorisent les remontées capillaires  
de l'humidité du sol depuis  
les fondations.

Mais il réduit la conduction thermique et  
favorise les transferts de vapeur d'eau vers  
les surfaces.

On verra plus loin comment résoudre  
ces problèmes de remontées capillaires.



PIERRE TENDRE  
POREUSE, ISOLANTE  
LA VAPEUR D'EAU TRAVERSE  
LE MUR FACILEMENT

PIERRE DURENEN POREUSE,  
PEU ISOLANTE  
SEUL LE MORTIER  
EST RESPIRANT

maisons  
paysannes  
auvergne  
rhône-alpes



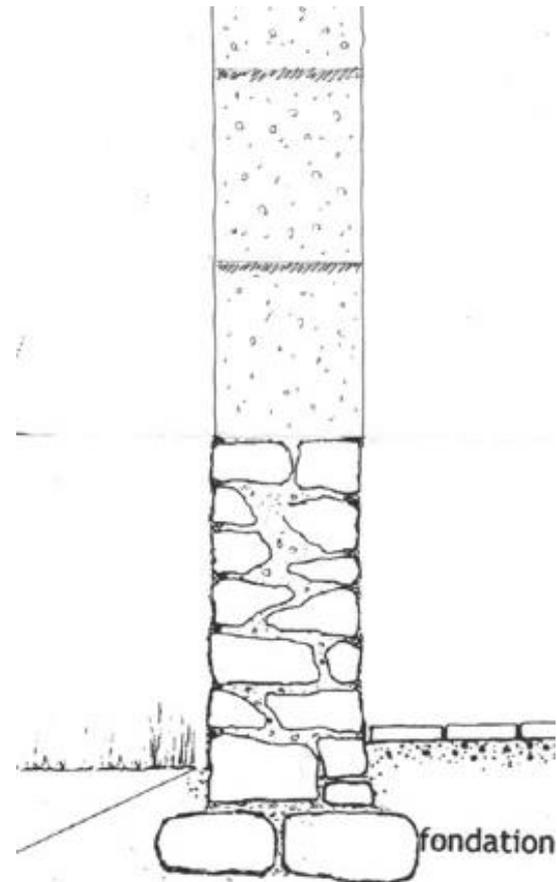
## Les murs en Pisé

Ils apparaissent dans les zones où le sol est composé d'argile et où la pierre est plus rare.

Ils sont constitués d'une base en matériau peu capillaire et plus résistants au ressaut de l'eau de pluie en bas de mur, la hauteur de cette base varie de 1 m à toute la hauteur du rez-de-chaussée.

Le pisé est banché par hauteurs de quelques dizaines de centimètres.

**Il a été interdit à Grenoble vers 1880!**



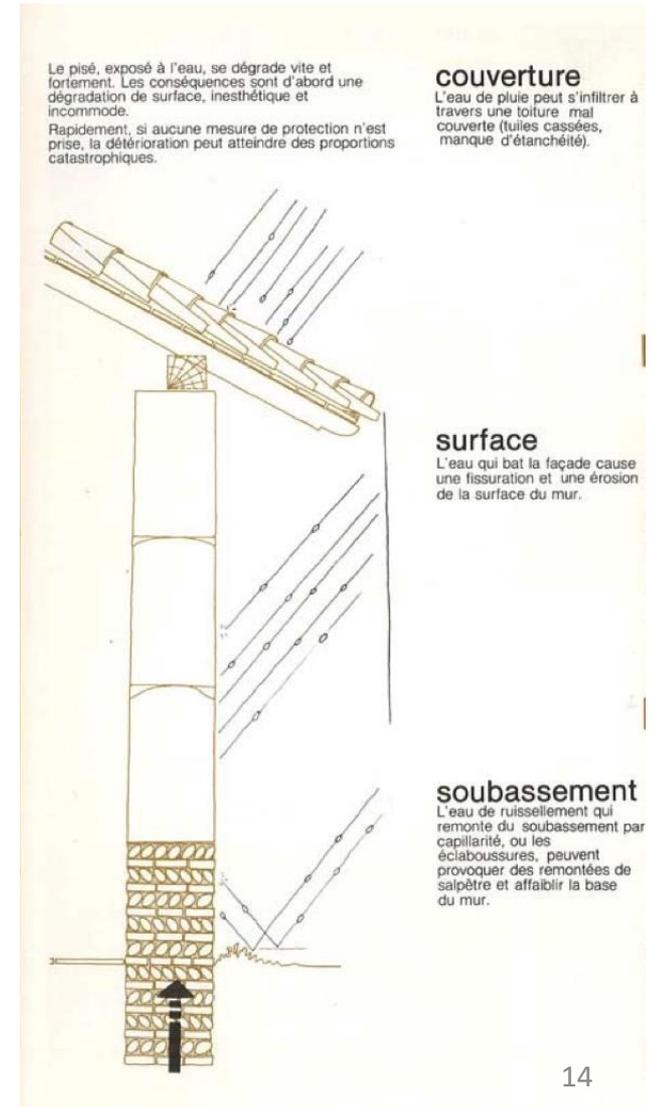
Pisé

## Les murs en pisé

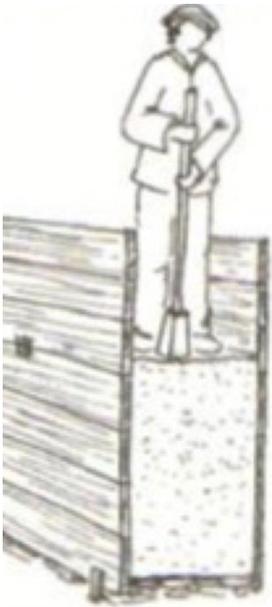
Le pisé est fragile, il lui faut « de bonnes bottes et un bon chapeau »:

Un bas de mur en pierre, en galets,...  
pour limiter les remontées capillaires  
et protéger de l'érosion par les  
Rejaillissements de l'eau de pluie

Un toit débordant pour éloigner l'eau  
de pluie.



Une technique qui reprend de l'intérêt du fait de son faible contenu énergétique...



## Caractéristiques des murs

En fonction de la géologie locale les matériaux utilisés seront plus ou moins résistants à la compression et plus ou moins sensibles à l'humidité.

Granite	100 à 300 MPa	$\mu$ : 10000
Basalte	100 à 350 MPa	$\mu$ : 10000
Schistes	5 à 180 Mpa	$\mu$ : 800 à 1000
Calcaires	30 à 250 MPa	$\mu$ : 20 à 250
Grès	20 à 170 Mpa	$\mu$ : 20 à 40
Pisé	5 à 20 MPa	$\mu$ : 30 à 200
Hourdage	5 à 10 Mpa	$\mu$ : 10 à 12

$\mu$  : coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau

$\mu = 1$  pour l'air

Les modes constructifs

Les liants du hourdage

## La chaux

La chaux c'est de la pierre calcaire cuite à 1000° .

**Si le calcaire est pur** : Il donne une **chaux aérienne** qui fera prise par réaction avec le gaz carbonique de l'air.

Appellation normée: CL90s

Elle ne sert qu'aux enduits décoratifs ou aux badigeons.

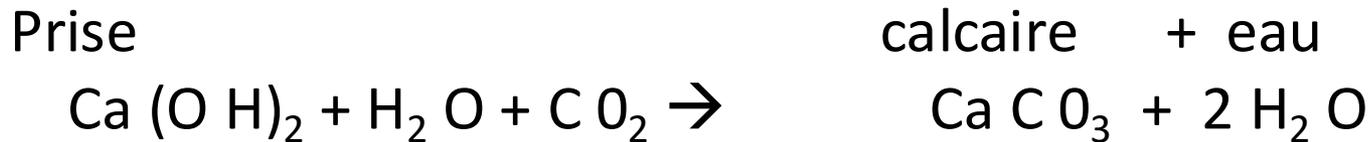
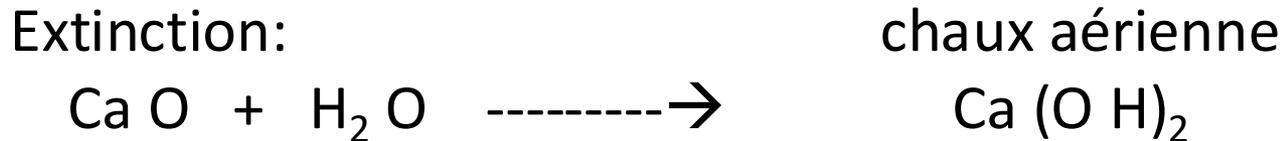
**Si le calcaire est argileux** (Lafarge) **ou avec des silex** (Saint Astier): sa cuisson donne une **chaux hydraulique** qui fait prise par réaction à l'eau, même en l'absence d'air.

La chaux sera plus hydraulique et plus résistante si le pourcentage d'argile ou de silex est plus élevé.

Appellation normée: NHL 2 – 3,5 ou 5

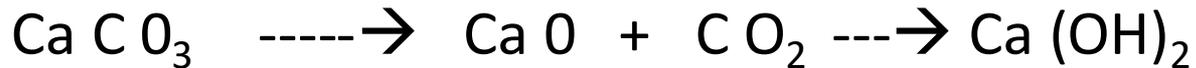
C'est elle que l'on utilise pour le hourdage.

## La chaux aérienne, la réaction chimique

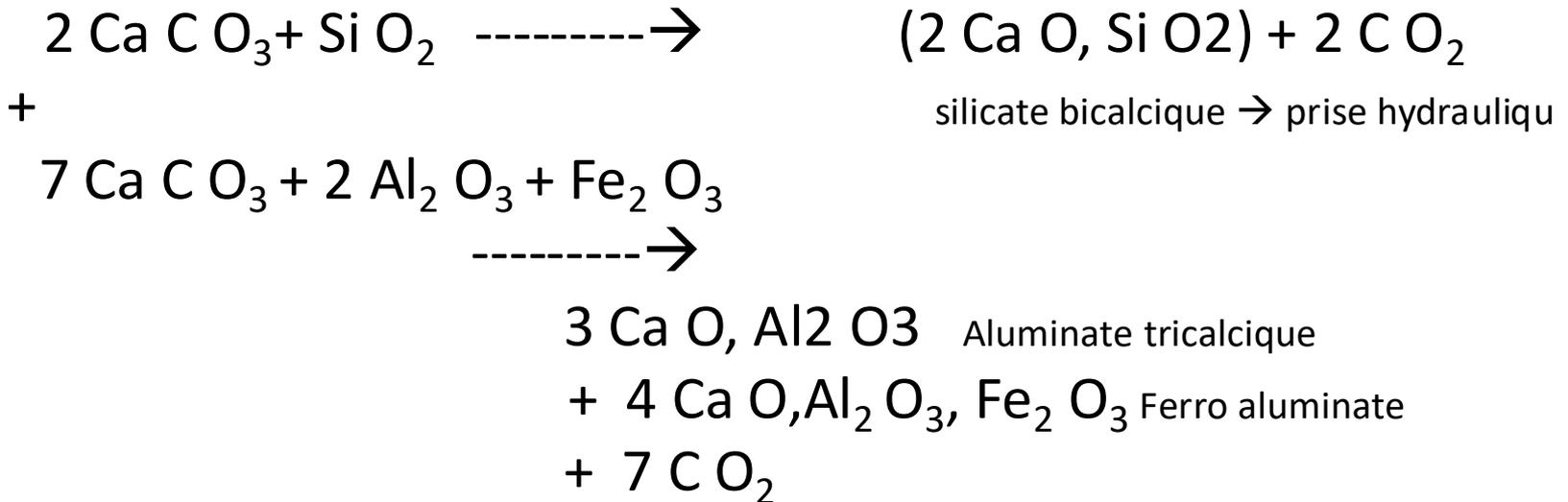


## La chaux hydraulique, la réaction chimique

Partie « pure » cuisson chaux vive chaux éteinte



Partie « impure » (SiO<sub>2</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Mg ...)



## Tableau des résistances mécaniques à 28 jours\*:

Ciment à maçonner MC 12,5 MPa soit 12,5 T au dm<sup>2</sup>

Ciment prompt naturel NF P15-314 12,5 MPa soit 12,5 T au dm<sup>2</sup>

Chaux à maçonner FL 5 à 15 MPa soit 5 à 15 T au dm<sup>2</sup>  
(mélange de chaux NHL et de ciment 52,5)

Chaux hydraulique naturelle NHL5 5 MPa soit 5 T au dm<sup>2</sup>

Chaux hydraulique naturelle NHL3,5 3,5 MPa soit 3,5 T au dm<sup>2</sup>

Chaux hydraulique naturelle NHL2 2 MPa soit 2 T au dm<sup>2</sup>

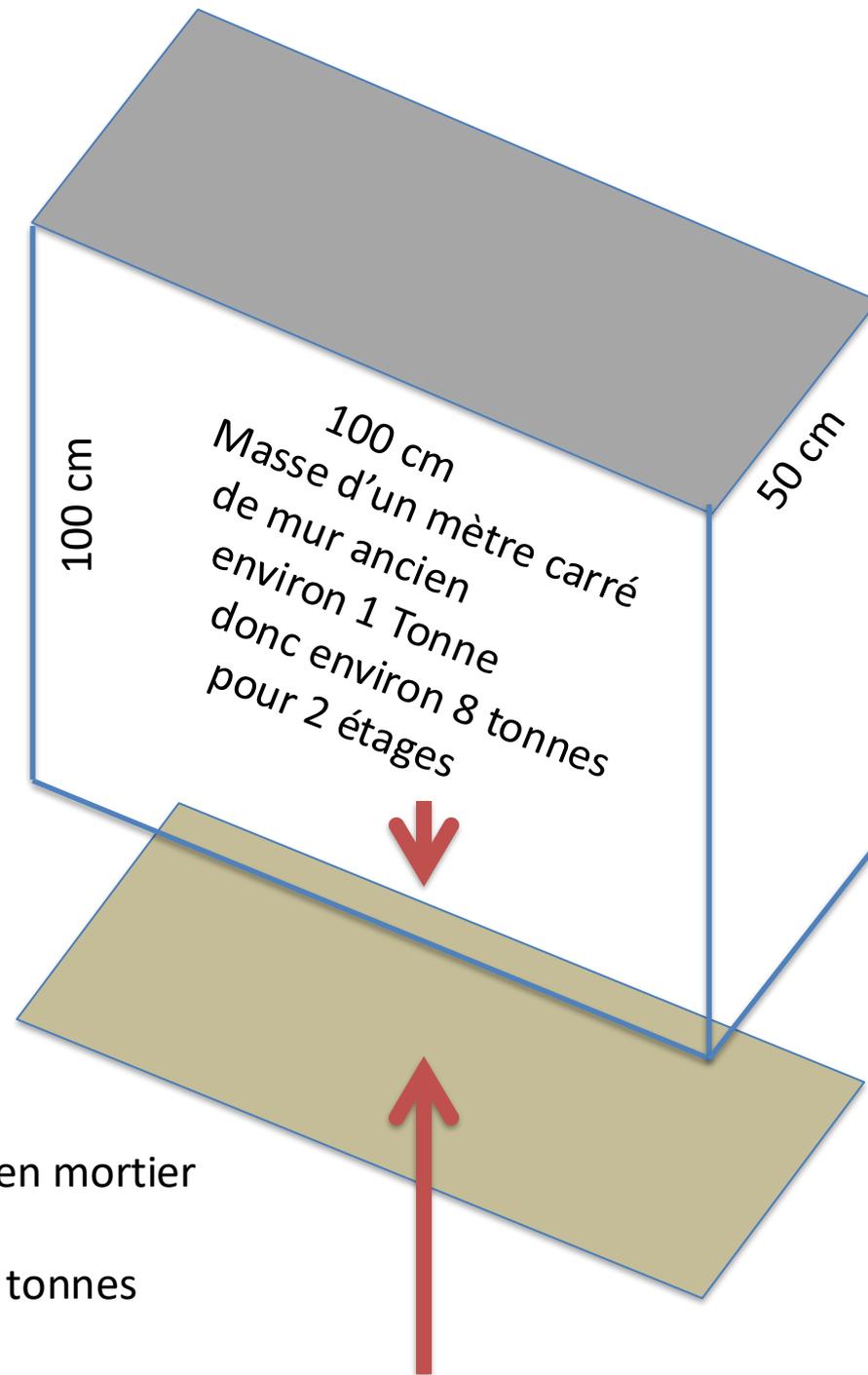
Chaux aérienne CL90-S <2 MPa soit <2 T au dm<sup>2</sup>

- 28 jours parce que c'est le moment où le ciment a atteint sa résistance maximale,
- la résistance de la chaux double à 6 mois, quadruple à 12 mois et croît sans limite de temps jusqu'à redevenir pierre calcaire

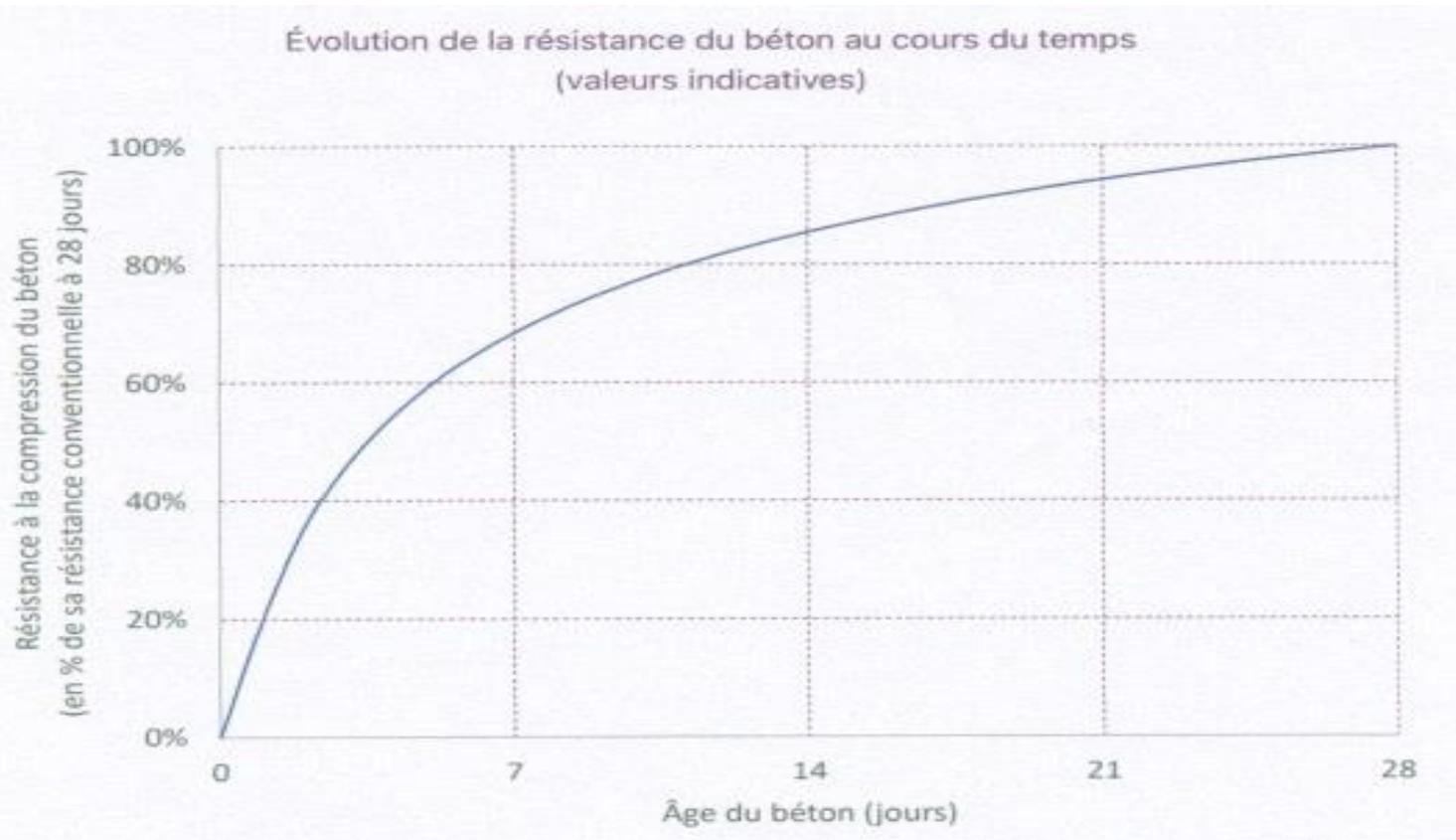
La chaux est-elle  
assez résistante  
pour construire?

1 Mpa = 102 T/m<sup>2</sup>

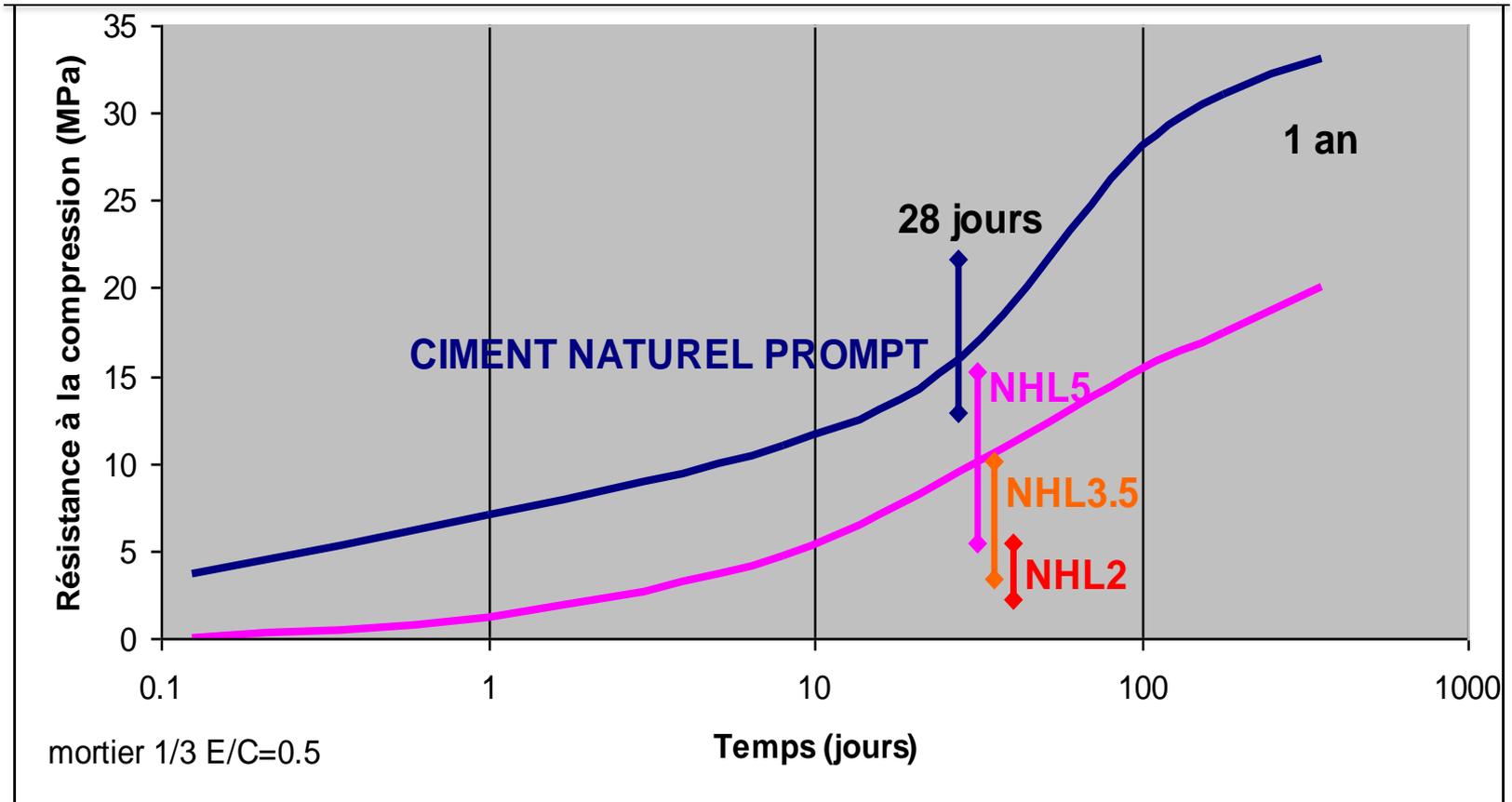
Résistance à la compression  
de la section de mur hourdé en mortier  
de chaux NHL 3,5:  
 $3,5 \times 102 \times 0,5 / \text{dm}^2 = 178,5 \text{ tonnes}$



# Courbe de la prise du ciment jusqu'à 28 jours

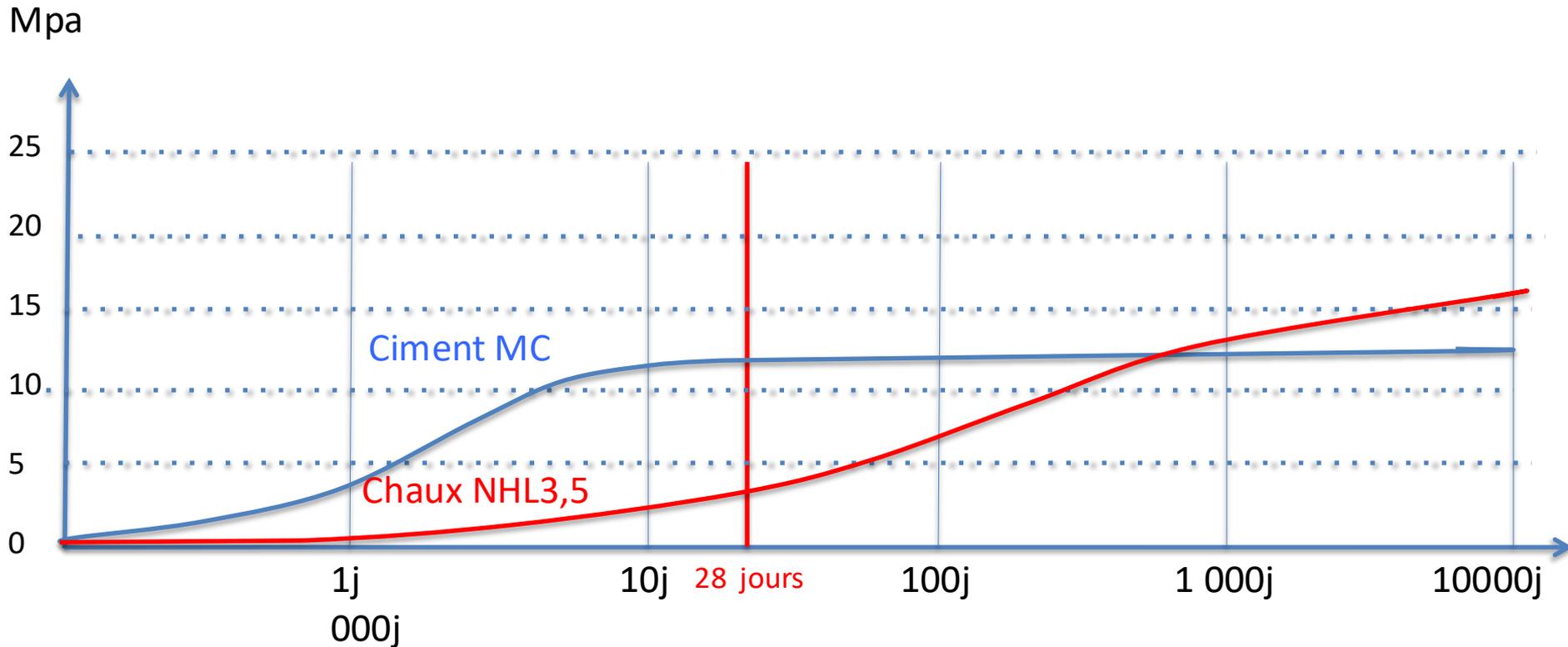


# Courbe de la prise de la chaux



Doublement du 28<sup>ème</sup> jour à 6 mois pour les chaux, contrairement au ciment qui ne durcit plus<sup>24</sup>

# Courbes comparées de la chaux et du ciment



Doublement du 28<sup>ème</sup> jour à 6 mois pour les chaux, contrairement au ciment qui ne durcit plus<sup>25</sup>

## L'argile.

**C'est elle qui joue le rôle de liant dans les régions où l'on n'a pas de calcaire, donc pas de chaux.**

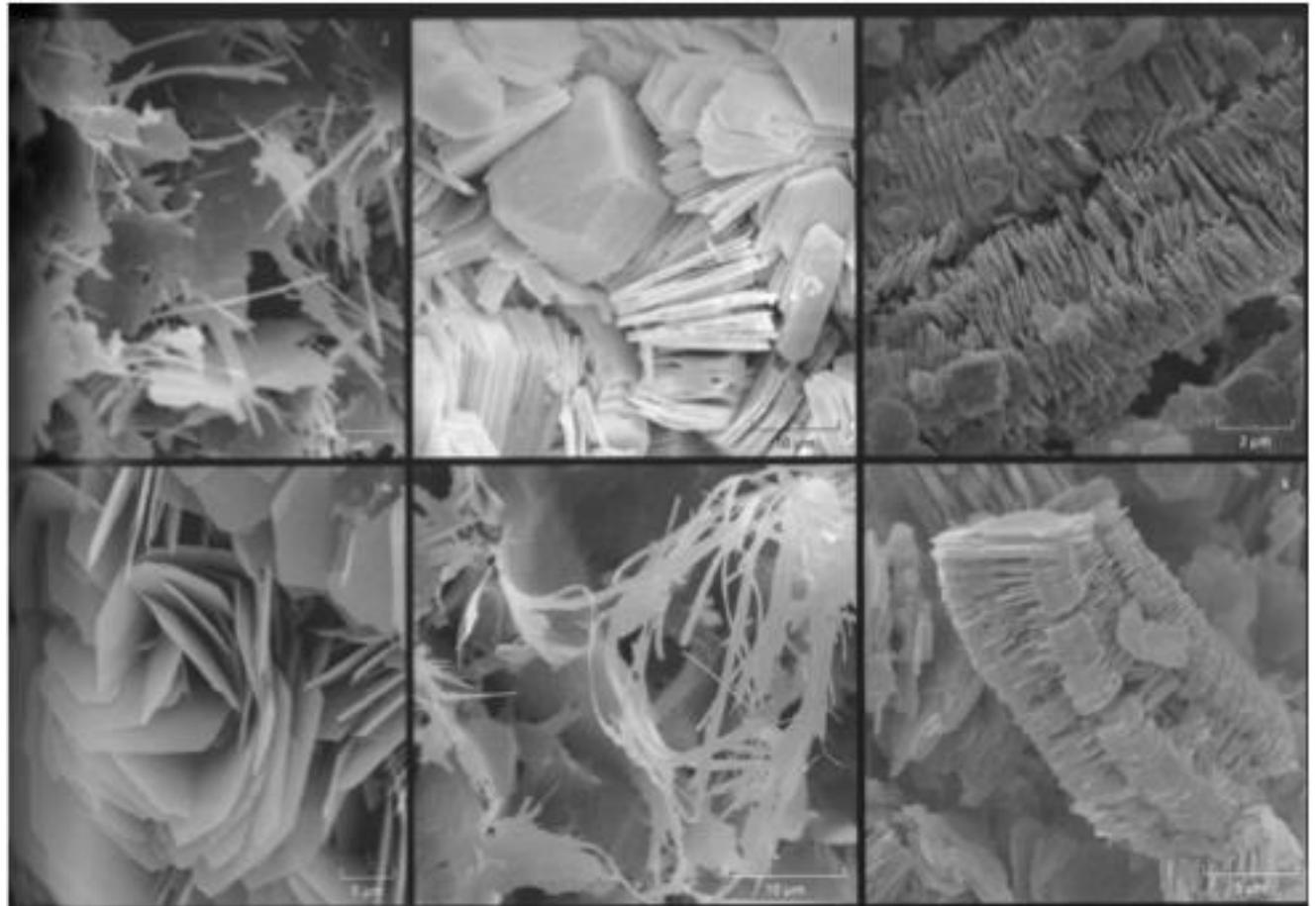
Elle est constituée de feuillets dont l'épaisseur est de quelques atomes d'oxygène entre lesquels viennent se glisser les atomes plus petits de silice et d'alumine.

Ces feuillets s'assemblent en plaquettes(  $1\mu$ ) qui s'organisent à leur tour de différentes façons et leur cohésion mécanique vient à la fois de forces électriques entre atomes et de tension de surface de l'eau entre feuillets.

On comprend pourquoi trop d'eau la liquéfie et pas assez la transforme en poussière. C'est ce qui rend les joints si vulnérables.

Il y a deux sortes d'argiles, les **smectites** qui gonflent au contact de l'eau et la **kaolinite** qui ne gonfle pas, seule cette dernière est propre à la construction.

# L'argile.



## Murs hourdés à la terre



Hourdage en terre disparu avec le temps

## Le « plâtre gros » ou « plâtre paysan »

Il est fabriqué par cuisson du gypse aux environs de 150°.

Le plâtre « gros » est le plâtre le plus naturel sans adjuvants, c'était celui des plâtriers à l'ancienne.

Il est utilisé pour le hourdage et les enduits dans les régions qui en produisent.

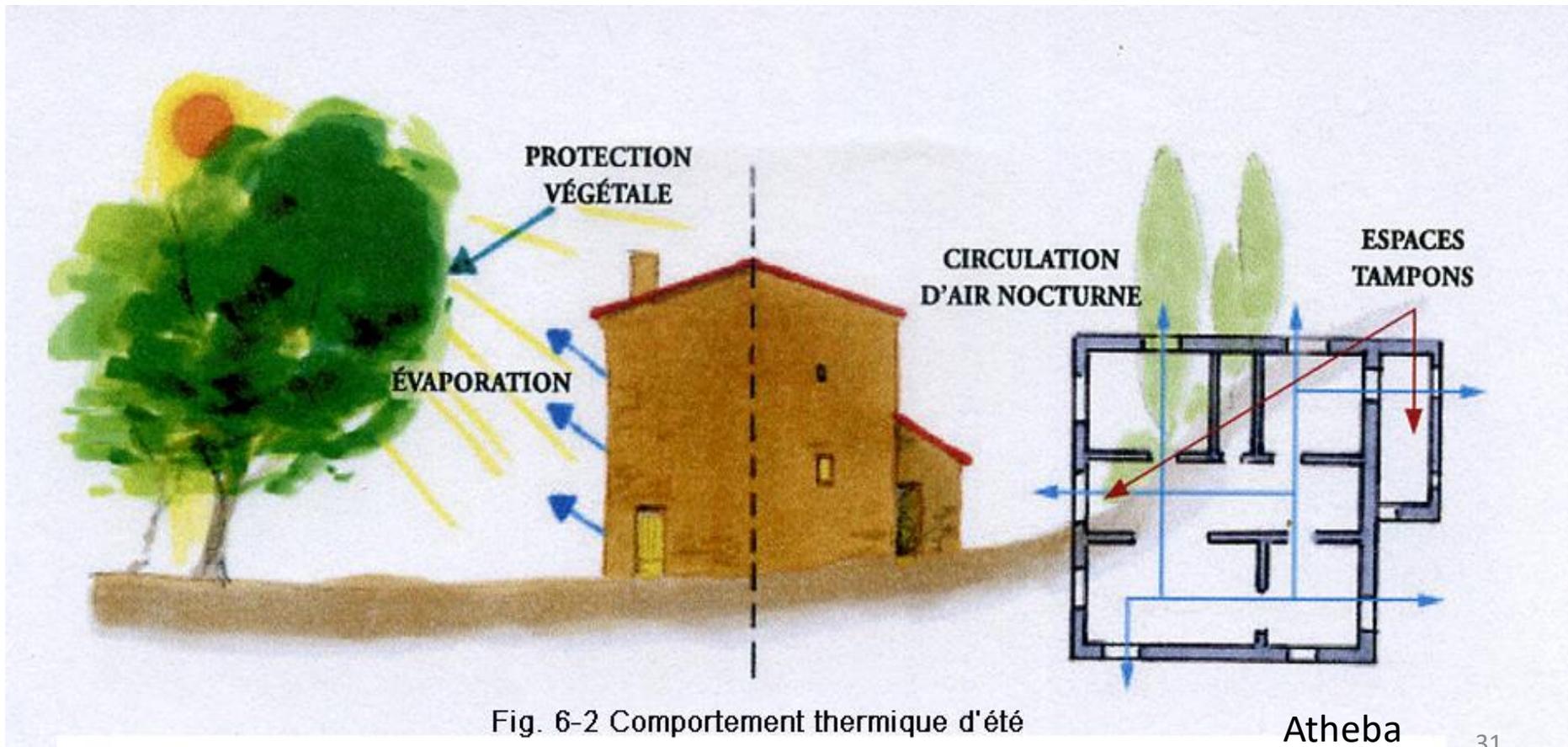
Il est aussi utilisé avec la chaux aérienne dans la proportion 1 vol. de chaux aérienne + 2 vol. de sable + 3 volumes de plâtre gros pour réaliser des enduits.

# Le choix de l'implantation du bâti ancien

Un choix bio-climatique...

# Son implantation traditionnelle

-> un atout estival



# Son implantation traditionnelle

-> un atout hivernal

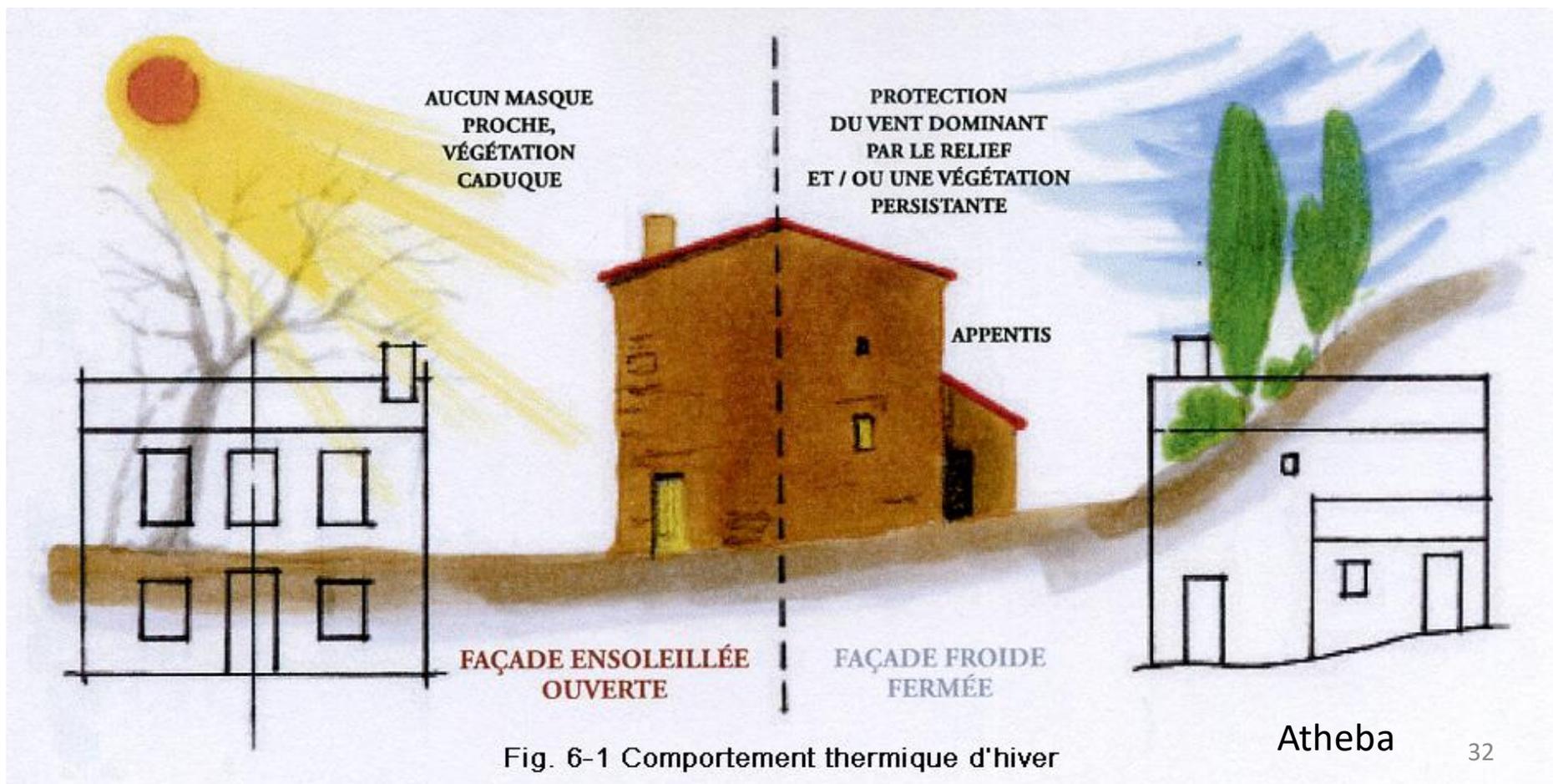


Fig. 6-1 Comportement thermique d'hiver

## Son implantation traditionnelle

➔ En ville c'est l'implantation du groupe de maisons qui prévaut

Elle privilégie les côteaux sud.

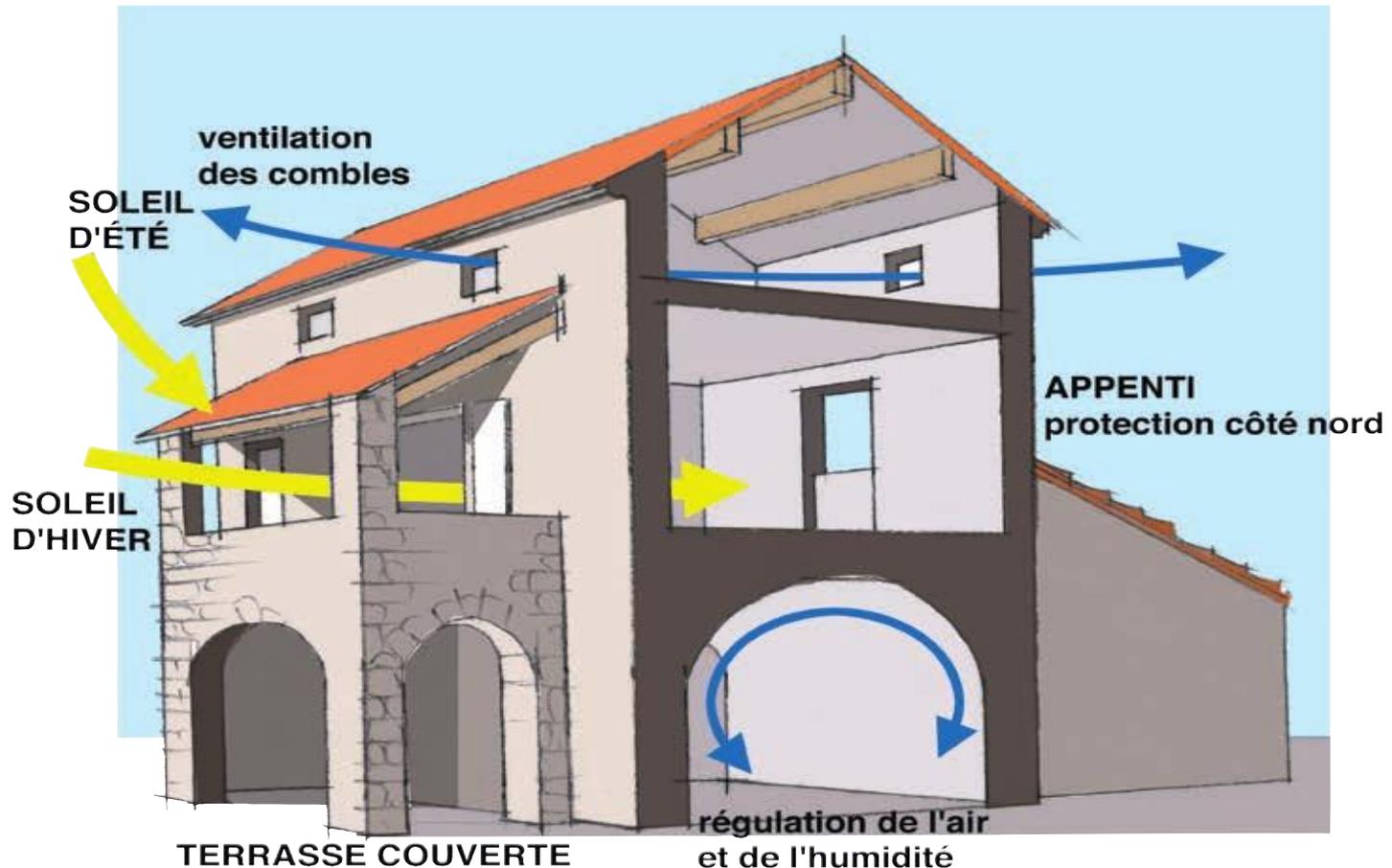
Elle organise les rues pour casser les vents dominants.

Elle privilégie la mitoyenneté qui protège.

Elle essaie de préserver les ouvertures traversantes...

## Son organisation traditionnelle

-> un étage habité entre des volumes tampons



## Son interaction avec son environnement

Le bâti ancien est en interaction totale avec son environnement dont il tire parti ou dont il se protège.

Au contraire pour le bâti contemporain on a fait le choix de le couper artificiellement de son environnement par tous les moyens techniques possibles.

Cette différence de philosophie est à prendre en compte pour des interventions pertinentes sur ce bâti ancien.

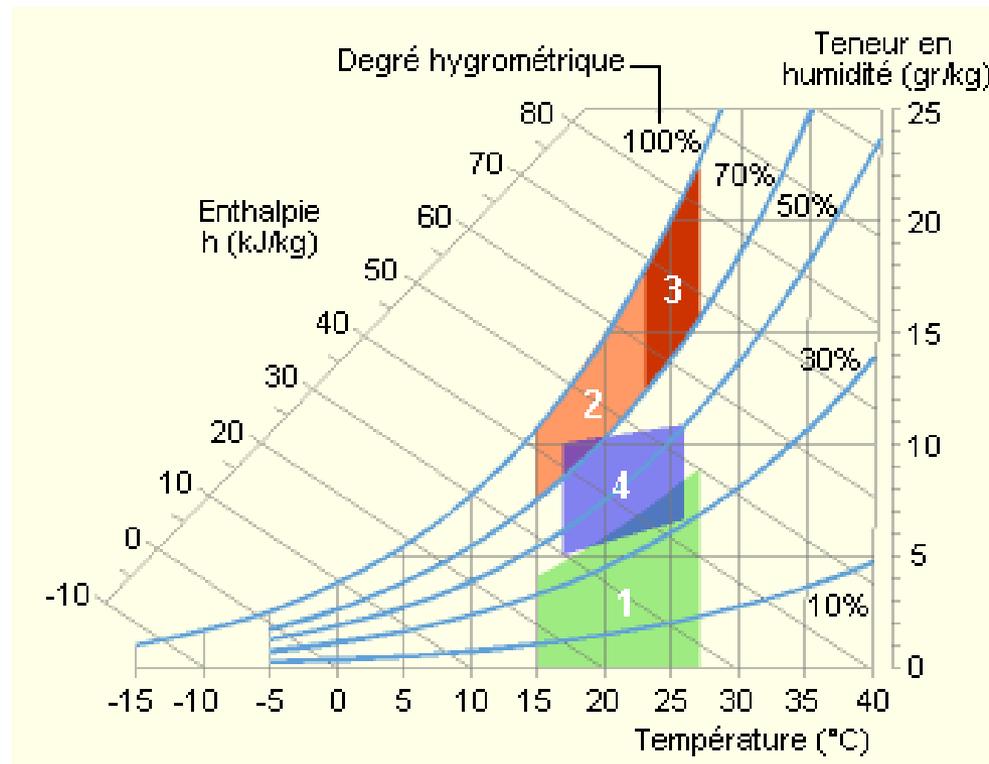
# Le bâti ancien face aux attentes de confort

Qu'est ce que le « confort »

# L'Homme dans son environnement



## Confort thermique, une combinaison de paramètres:



- 1) *Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.*
- 2 et 3) *Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons*
- 3) *Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.*
- 4) *Polygone de confort hygrothermique.*

## Trois handicaps au confort d'hiver dans le bâti ancien ...

- l'humidité qui remonte par capillarité
- Le froid des parois
- les courants d'air

Ce sont les points à corriger avant tout pour préparer le confort dans ce bâti.

## ....mais un atout majeur pour le confort d'été:

- La forte inertie thermique de ses murs qui lui permet de résister aux fortes chaleurs
- L'absorption et l'évaporation de l'humidité sont génératrice de chaleur et de froid.

# Le bâti ancien face aux attentes de confort

## Gérer l'humidité

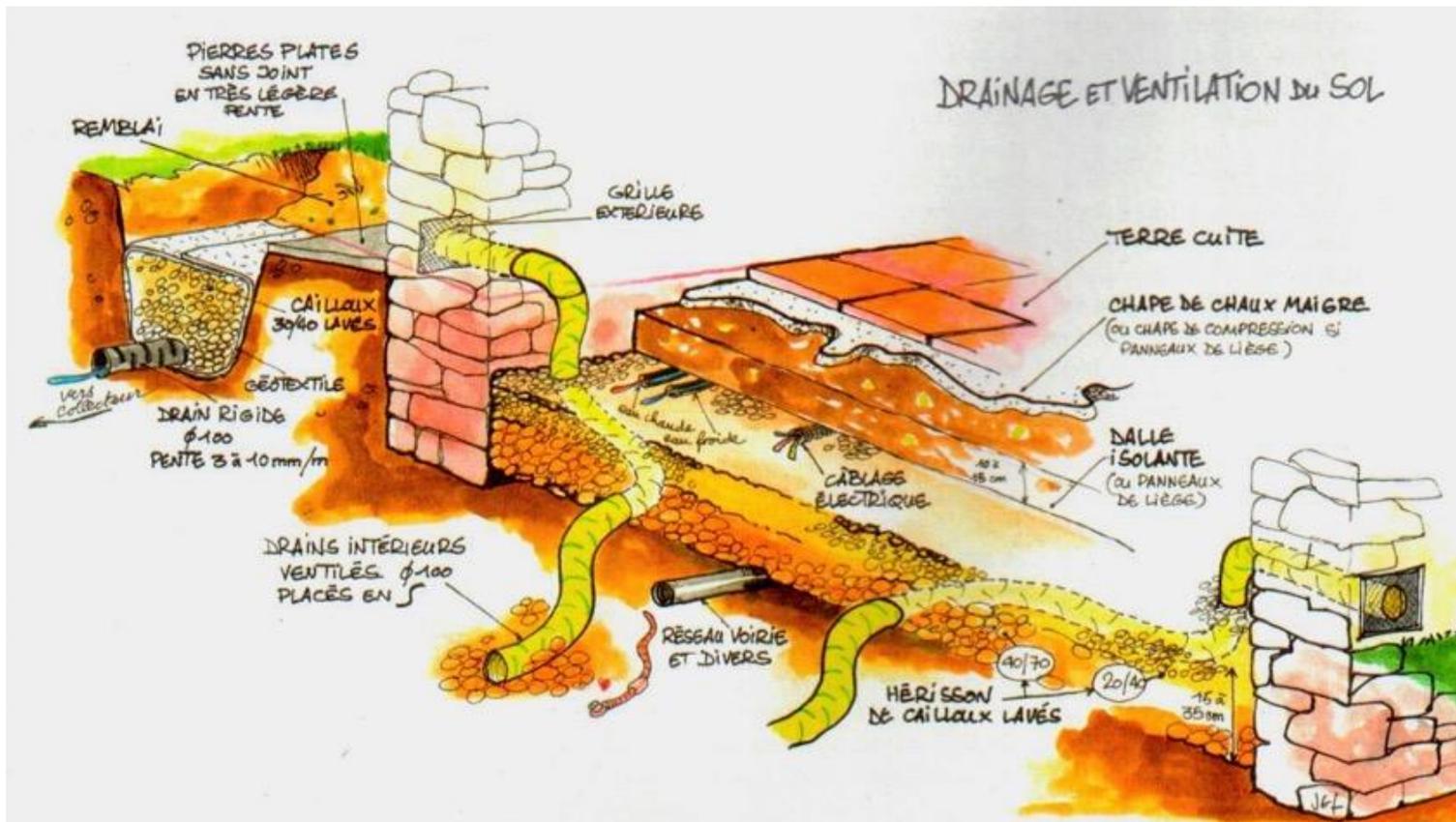
-> éloigner l'humidité:

Faire en sorte que l'eau de pluie ne s'écoule pas à proximité du bâti où elle s'infiltrerait dans le sol.

- Dans la pente arrêter l'écoulement de la pluie par un caniveau avant qu'elle n'atteigne la proximité de la maison.
- Prévoir des chéneaux pour contrôler l'eau de pluie
- Veiller à ce que les descentes d'eau des gouttières ne s'écoulent pas au pied des murs, veiller à ce que les « boîtes à eau », quand elles existent, ne fuient pas.

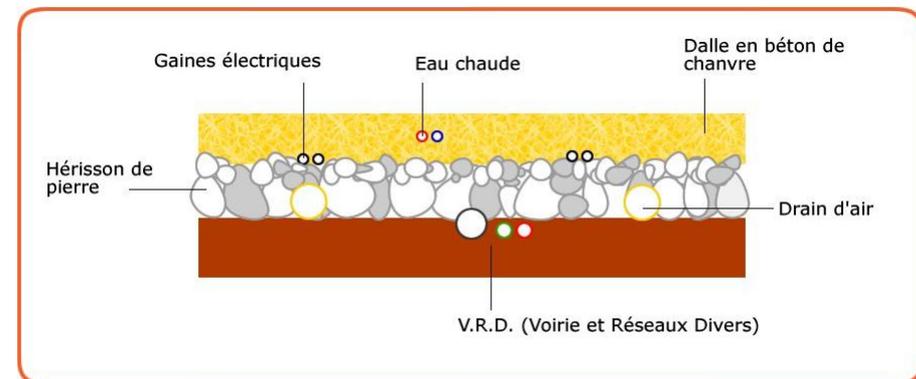
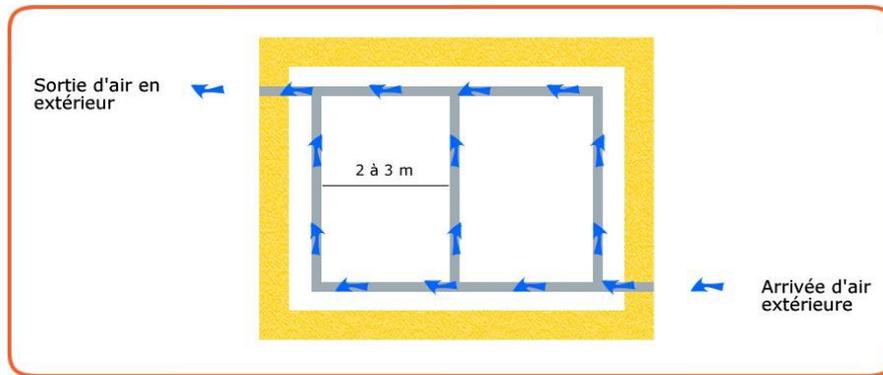


-> assécher l'humidité: drain et hérisson ventilé



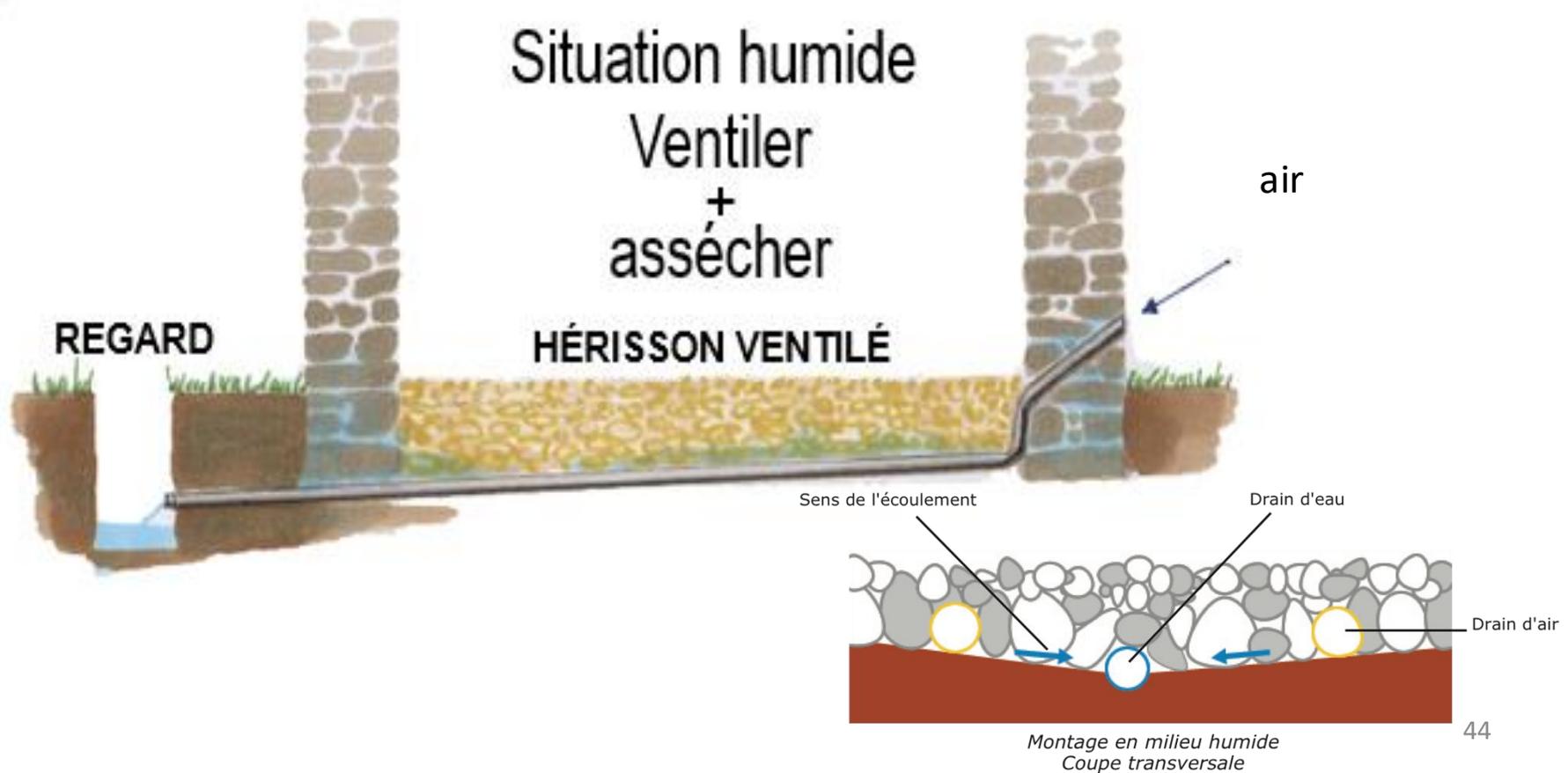
-> assécher l'humidité, hérisson ventilé

Le drain du hérisson ventilé est là pour assécher le sol sous la dalle



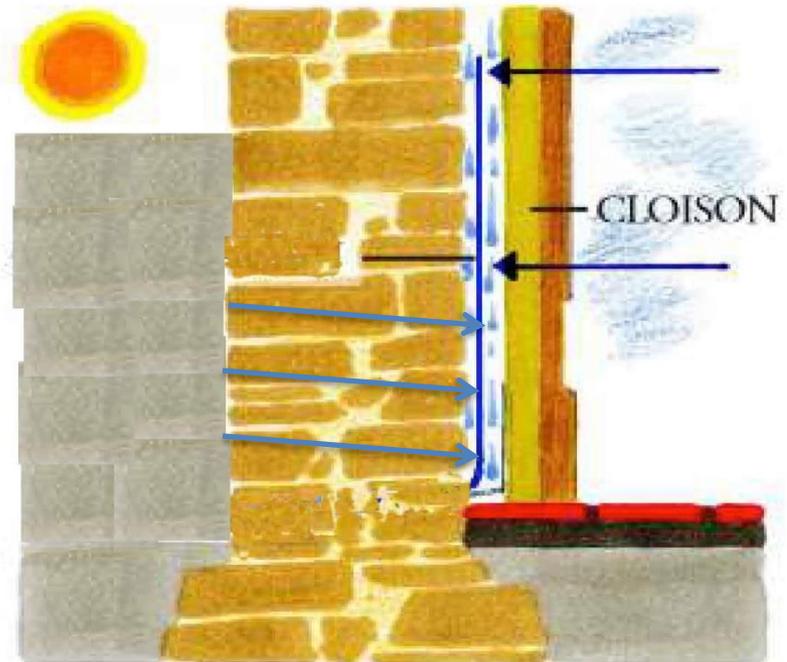
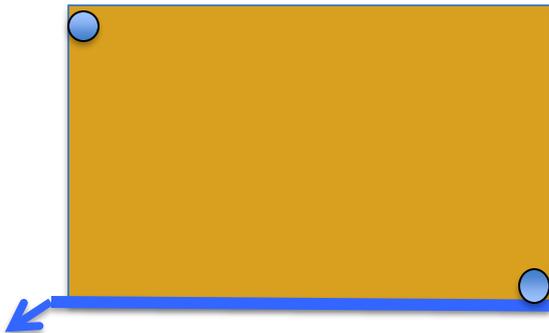
Le drain doit déboucher à l'air libre sur deux façades opposées car on a toujours une différence de pression entre deux façades opposées.

-> éloigner l'humidité,  
si il y a des écoulements les gérer par un drain distinct de celui du  
hérisson ventilé



-> éloigner l'humidité,  
En cas d'écoulement sur les parois enterrées prévoir un double mur ventilé.

Doubler le mur en organisant l'écoulement de l'eau et en ventilant abondamment l'entre deux murs avec deux aérations extérieures haute et basse.



-> éloigner l'humidité, prévoir un drain quand on le peut

- Eloigner le drain des fondations et donc ne pas utiliser de Delta MS qui empêche les échanges entre le mur enterré et la terre

Le faire déboucher vers l'écoulement à un bout, et à l'air à l'autre bout  
Ne pas y faire couler les descentes d'eau des gouttières



Fig. 17 Drainage "radical"

Une véritable lame d'air  
est créée entre le mur et le sol.

Trop déstabilisant pour  
le bâti ancien

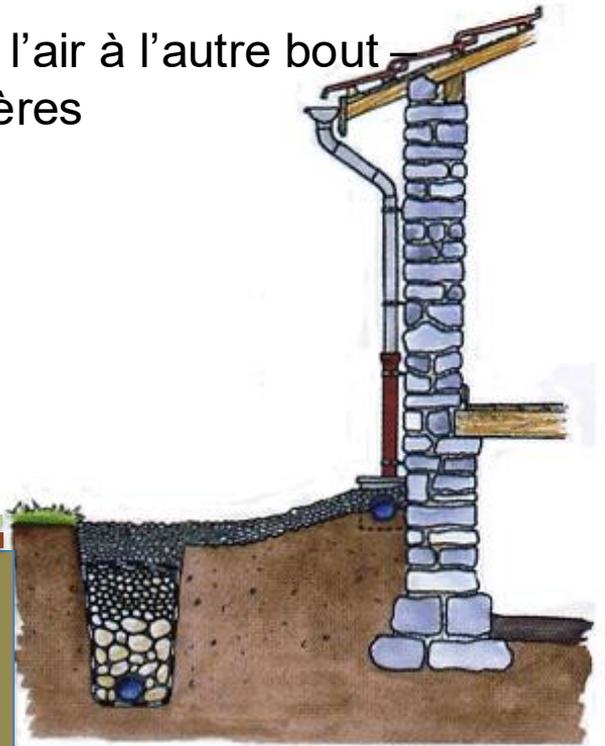
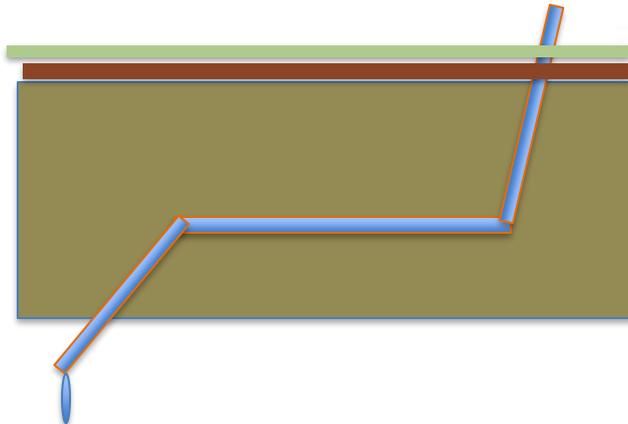


Fig. 18 Drainage "doux"  
Atheba

## -> Autres façons d'aider l'humidité à s'évaporer

Quand on ne peut réaliser ni drain ni hérisson, en ville par exemple

Réaliser une tranchée de 30cm de large sur 25 à 30 cm de profondeur pleine de gros gravier pour que l'évaporation se fasse au plus près de la source d'humidité



En extérieur



En intérieur

➔ éloigner l'humidité: éviter les surfaces étanches allant jusque contre les murs extérieurs

En ville il faudrait éviter de bétonner ou de goudronner jusque contre les murs, une bande respirante d'une trentaine de centimètres entre le revêtement étanche et le mur permettrait à celui-ci de s'assécher en période sèche alors que le revêtement étanche, s'il évite à la pluie de pénétrer massivement le sol, empêche ce sol de s'assécher de l'eau qui y a pénétré par les fissures entre le mur et le revêtement.

On ne voit malheureusement cet aménagement que rarement, il nécessite quelques précautions pour ne pas être envahi par les écoulements.



-> éloigner l'humidité: supprimer les enduits étanches pour laisser s'évaporer l'humidité

Aucun enduit étanche, ni à l'extérieur ni à l'intérieur!!!!

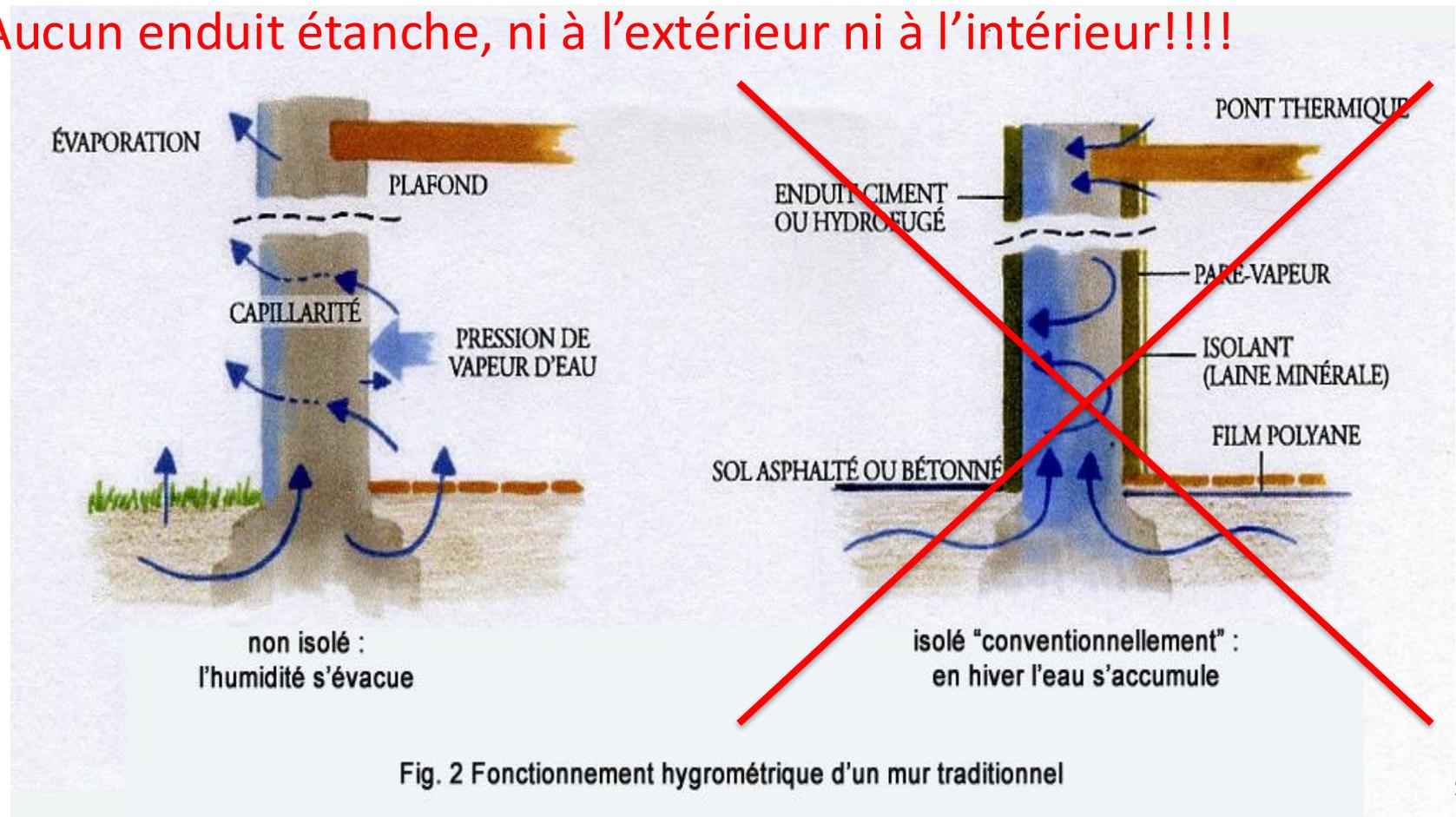
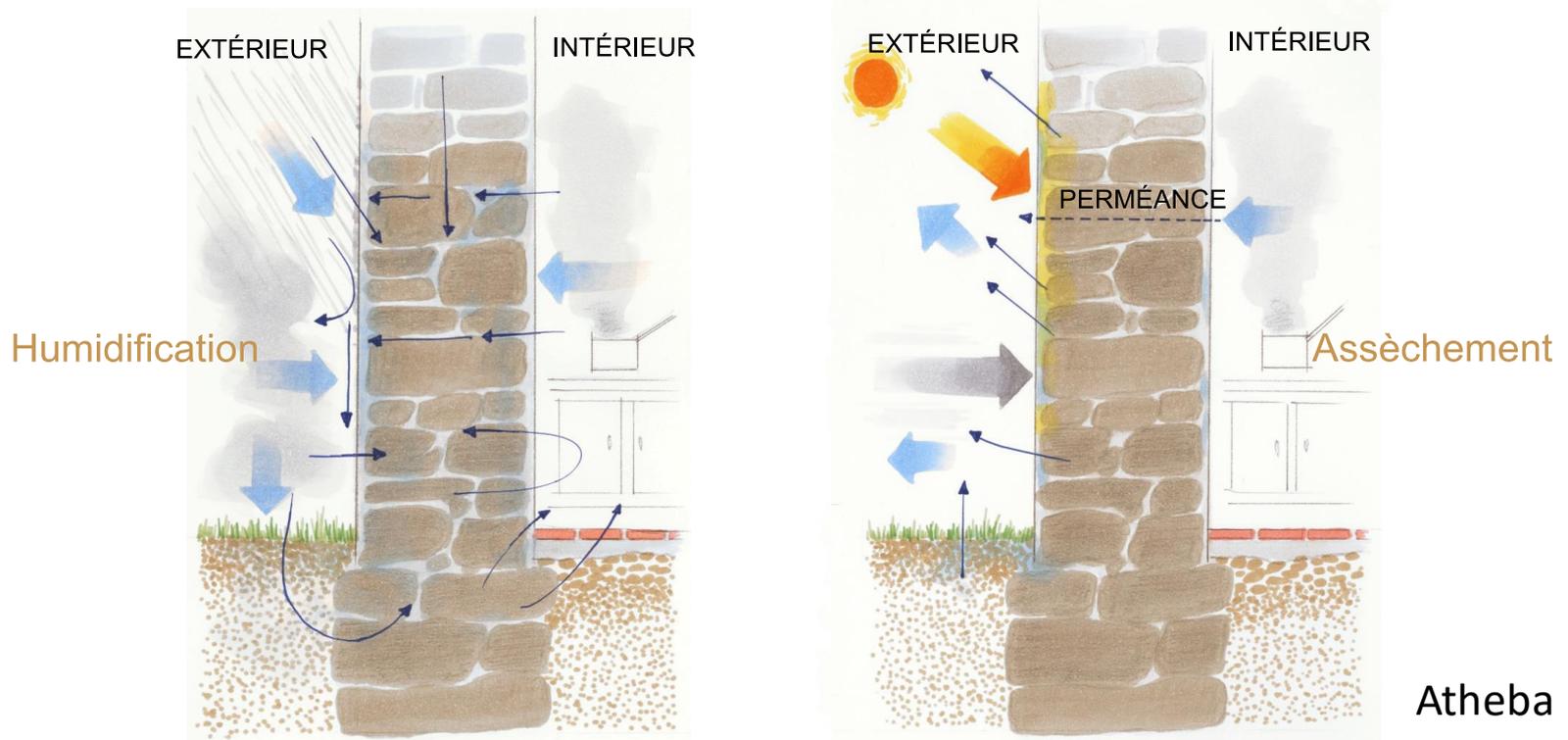


Fig. 2 Fonctionnement hygrométrique d'un mur traditionnel

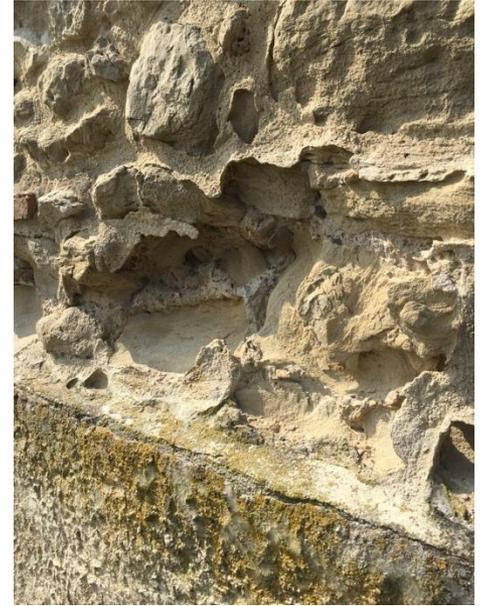
L'évaporation se fait dans le premier mètre au dessus du sol.

C'est au moins ce premier mètre qu'il faut décroûter si un enduit étanche a été posé.

Les enduits de chaux, de plâtre ou de terre ont un rôle régulateur par leur perméance.

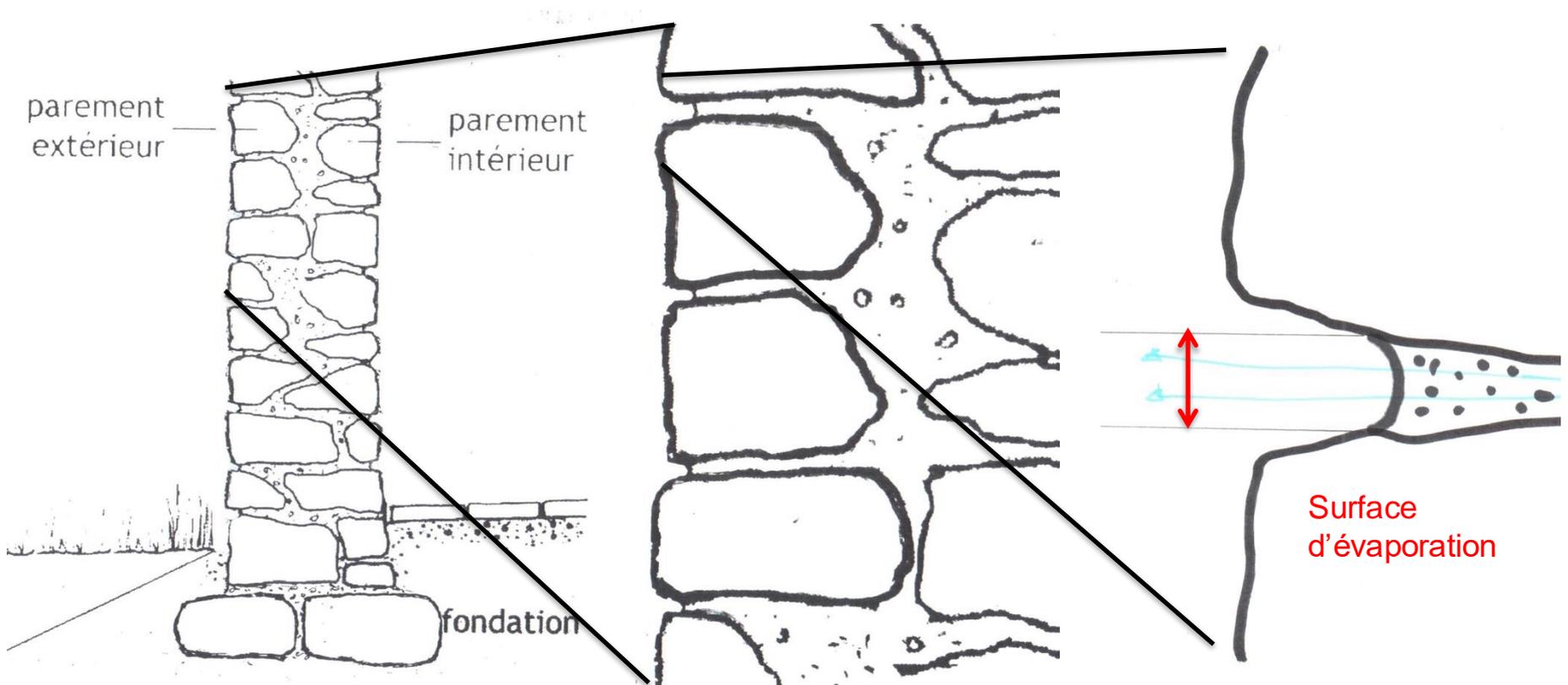


-> laisser s'évaporer l'humidité,  
sinon.....



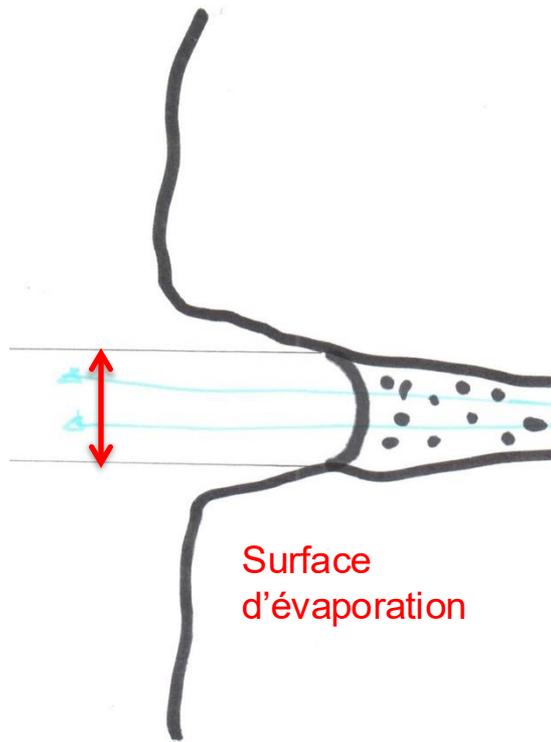
Quelle finition choisir?

Les joints creux: très faible surface d'évaporation

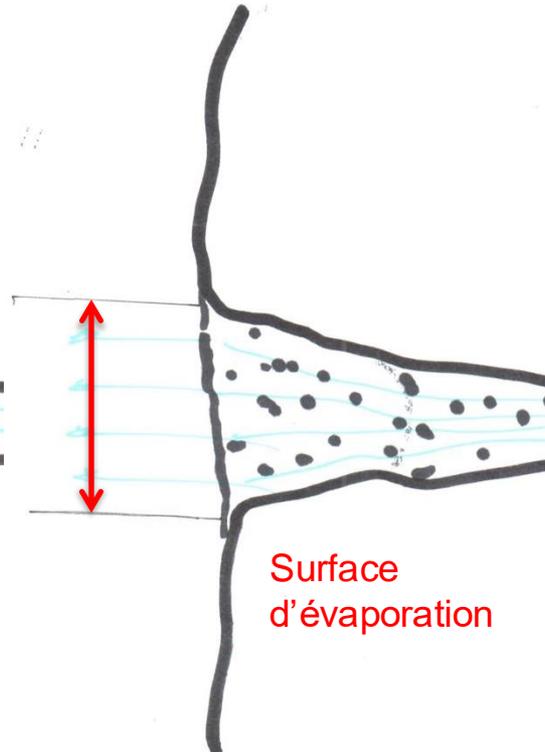


Quelle finition choisir?

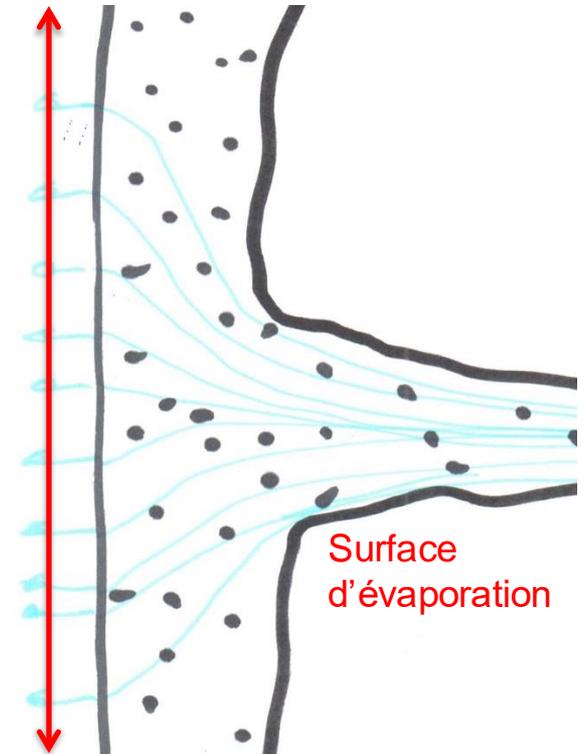
Joint creux



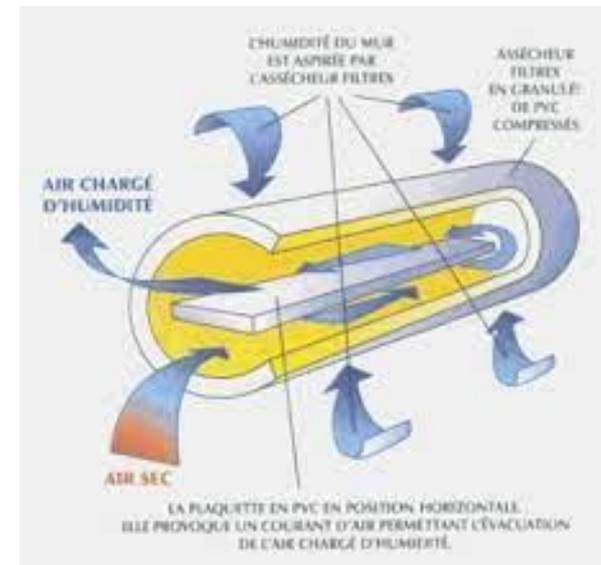
joint « beurré »



enduit complet



- > Des solutions plus hasardeuses pour gérer l'humidité..
- Les syphons atmosphériques pour ventiler le bas des murs, certains avec une ventilation forcée: il faudrait qu'ils soient implantés dans les parties les plus capillaires c'est à dire le hourdage



-> Des solutions plus hasardeuses pour gérer l'humidité..

- Les inverseurs de polarité: partent du principe que les remontées capillaires sont dues à une polarité électrique alors qu'ils sont dus au phénomène de tension superficielle qui fait remonter l'eau d'autant plus haut que le capillaire est plus fin.



- > Des solutions plus hasardeuses pour gérer l'humidité..
- L'injection de résine en bas de mur: dans les murs par définition hétérogènes la résine coule dans les points faibles et ne constitue pas une barrière continue.



## -> choisir les matériaux perméables à la vapeur

**Perméabilité** » caractérisée par le «  $\mu$  » (mu) **coefficient de résistance à la diffusion de vapeur, ou perspiration** d'un matériau par comparaison à celle de l'air.

Il rend compte de la capacité du matériau à diffuser la vapeur d'eau sans l'enfermer.

Air	1	Pierre calcaire tendre	30
Enduit terre	8	Enduits industriels	35
Plaque de plâtre	8	Mortier de ciment	40
Béton cellulaire	8	Polystyrene expansé	60
Enduits chaux/plâtre	10	Pierre dure	150
Enduit chaux chanvre	12	Polystyrene extrudé	150
Plaque de Fermacell	13	OSB	170
Panneau de liège expansé	13	Béton	180
Brique	15	Granit	10 000
		Bitume	60 000

-> choisir les matériaux perméables à la vapeur

Pour une bonne gestion de l'humidité le « $\mu$  » **des matériaux choisis doit être décroissant du cœur du mur vers les parois.**

C'est essentiel pour les enduits intérieurs ou extérieurs qui ne doivent en aucun cas être étanches à la vapeur d'eau.

# Le bâti ancien face aux attentes de confort

## Gérer les parois froides

## -> Traiter les parois froides sources d'inconfort

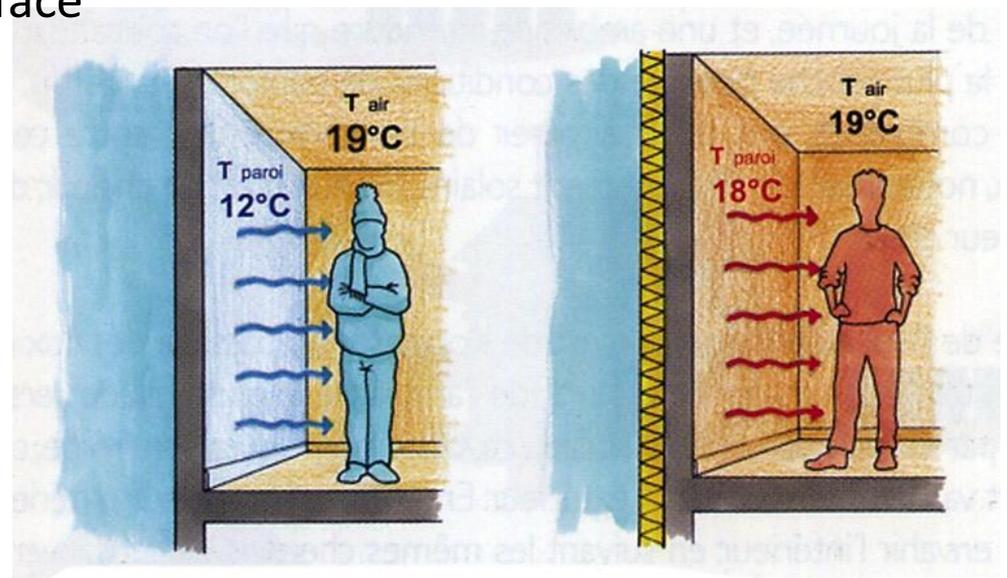
La chaleur perçue dans une pièce est la moyenne de la température de l'air et de la température des parois.

Les murs en pierre des bâtis traditionnels sont des parois froides.

Un correcteur thermique de surface est au minimum nécessaire.

L'enduit chaux-chanvre remplit parfaitement ce rôle.

Notion d'effusivité ->



L'effet paroi froide -> correcteur thermique



-> traiter les parois froides, l'effusivité

**L'effusivité thermique** « b » caractérise la capacité d'un matériau à échanger de la chaleur avec son environnement, donc sa rapidité à stocker et déstocker de la chaleur.

L'effusivité rend compte de la quantité de calories qu'absorbe un matériau pour se réchauffer.

Plus l'effusivité est élevée plus la chaleur pénètre rapidement la masse du matériau qui agit comme une « éponge thermique », la chaleur ne reste pas en surface.

A l'inverse plus elle est faible plus la chaleur reste en surface, surface qui s'échauffe donc plus rapidement.

C'est une caractéristique que l'on va apprécier pour éviter l'effet paroi froide.

## -> traiter les parois froides, l'effusivité

Les différents matériaux ne donnent pas la même impression de chaleur quand ils sont à la même température.

Béton cellulaire	200	Métal	14 000
Enduit chaux chanvre	200	Pierre dure	2 500
Fibre de bois	110	Maçonnerie	2 000
Liège	100	Bois massif	500
Laine minérale	70	Carreau de plâtre	450
Polystyrène	40	Sapin	346
Laine de mouton	< 1		

Un revêtement de mur à faible effusivité, plus rapidement à la température de la pièce, accroît le confort.

On comprend pourquoi les châtelains ornaient les murs de leurs châteaux de tapisseries...

## -> traiter les parois froides, l'effusivité

L'illustration concrète de l'effusivité est la différence de perception de température entre un morceau de tissu de laine et un morceau de métal à température ambiante : la main ne perçoit pas de froid en touchant la laine alors que le métal lui paraît froid longtemps.

C'est que le tissu de laine (effusivité 1) absorbe peu de chaleur pour élever sa température à celle de la main (effusivité 1400). C'est pareil avec un morceau de bois (effusivité 400) alors que le métal (effusivité 14000) va « pomper » un grand nombre de calories de la main pour élever sa température, il paraît donc froid.

# Le bâti ancien face aux attentes de confort

## Gérer les courants d'air

-> Eliminer, ou au moins réduire, les courants d'air

Le renouvellement d'air contribue au confort, mais...

- Les portes extérieures et intérieures souvent sans huisseries fermant sur la pierre, - les cheminées à feu ouvert,
- les circulations vers les étages ou vers les caves ou les anciens lieux d'exploitation

sont autant de sources de courants d'air inconfortables.

Il faut en prendre le contrôle sans pour autant rendre le bâtiment totalement étanche car il a besoin de continuer à interagir avec son environnement.

## -> Profiter de l'inertie thermique pour le confort d'été

On verra plus loin que cette inertie thermique retarde et amortit la pénétration de la chaleur au travers des parois et de leurs isolants.

Par la nature des murs de ce bâti et par un choix réfléchi des matériaux d'isolation et de leur épaisseur on peut retarder jusqu'à la nuit la pénétration de la chaleur et également en amortir l'amplitude.

-> Profiter des flux caloriques que génèrent les échanges d'humidité

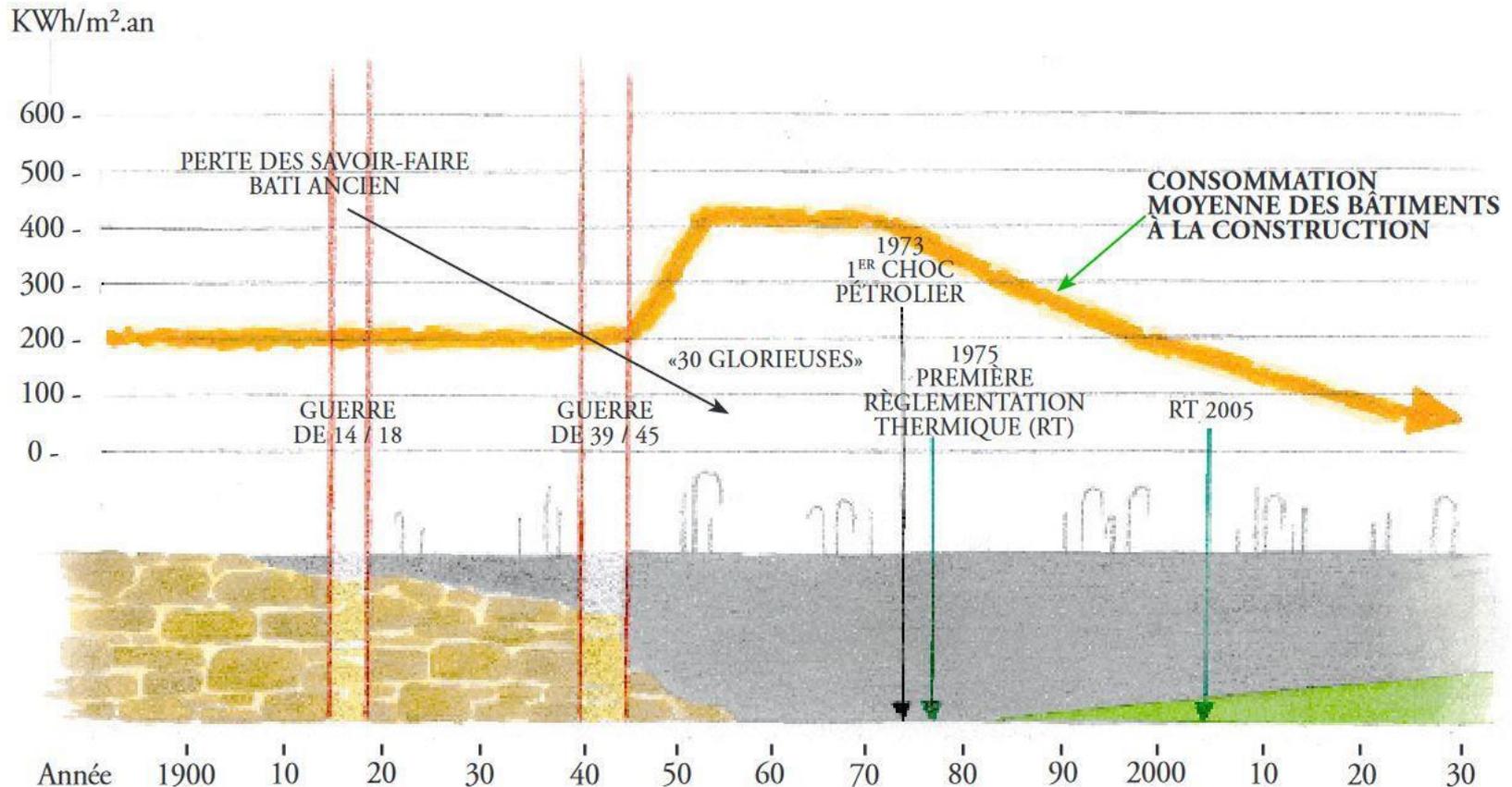
En été lorsque l'humidité contenue dans le mur ancien passe de l'état liquide à l'état vapeur, en absorbant de l'énergie pour sa vaporisation, elle abaisse la température du mur ce qui contribue gratuitement au confort. (c'est le mode de fonctionnement des réfrigérateurs et des climatiseurs...)

Inversement en hiver, lorsque l'humidité de la pièce passe de l'état vapeur à l'état liquide en condensant dans le mur elle restitue une énergie qui augmente gratuitement la température du mur.

Ces qualités inexistantes dans le bâti contemporain ne sont pas prises en compte dans les performances attribuées au bâti ancien.

# Le bâti ancien face aux attentes de confort son niveau de performance naturelle

Le bâti ancien offrait une performance intrinsèque de niveau D qui a été perdue dans le bâti des « 30 glorieuses »!



ATHEBA – Comprendre le bâti ancien

**DE LA VALEUR DU SAVOIR-FAIRE DANS LE BÂTI ANCIEN**

Mais ce n'est plus suffisant aujourd'hui

- Au niveau du confort attendu,
- Au niveau des consommations d'énergie et des émissions de CO<sup>2</sup> consécutives

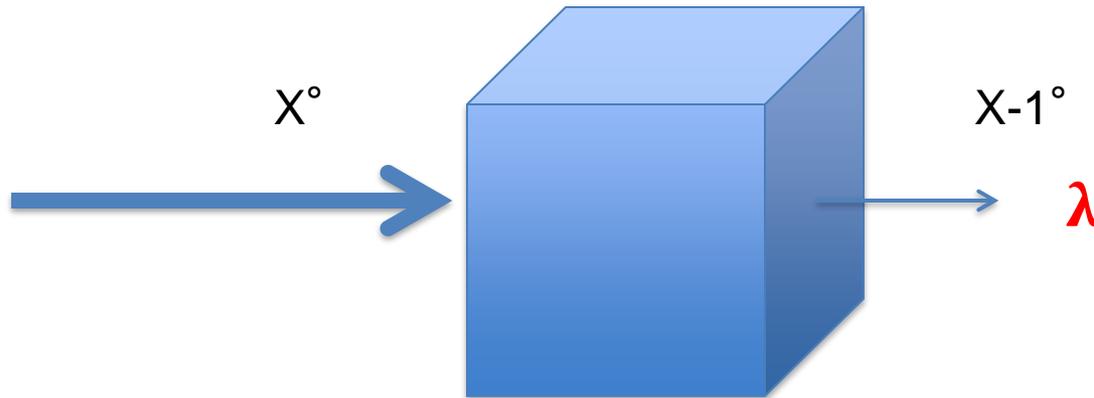
Des solutions cohérentes avec la nature de chacun de ces bâtis doivent être mises en oeuvre pour faire mieux.

# Quelques rappels de thermique pour la protection contre le froid

## Les Isolants

-> la conductivité thermique des matériaux «  $\lambda$  » (lambda)

«  $\lambda$  » quantité de chaleur en  $W/m.K^\circ$  qui se propage en 1 seconde, à travers  $1m^2$  du matériau, épais d' 1 mètre, lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 degré.



Cette caractéristique n'a de sens que pour les matériaux un minimum homogènes, sinon la chaleur suit une multitude de canaux à «  $\lambda$  » très différents, ce qui est le cas des murs en pierre hourdés.

## Les Isolants

-> la conductivité thermique des matériaux «  $\lambda$  » (lambda)

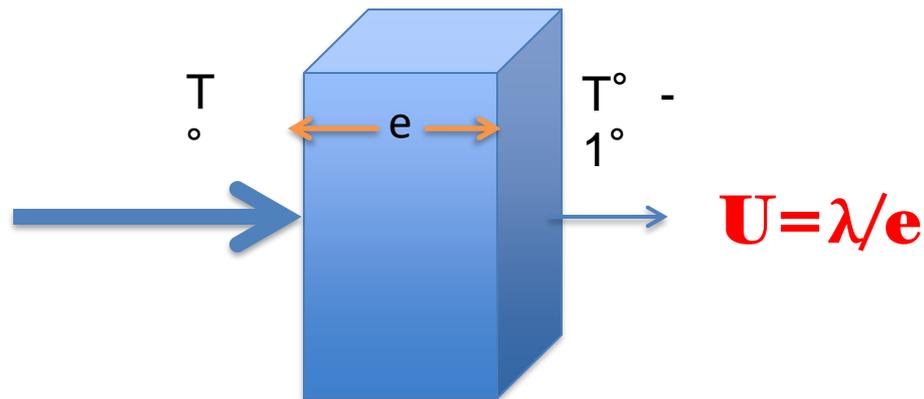
<b>Matériau</b>	<b><math>\lambda</math></b>
Siporex, béton cellulaire	0,13
Sapin	1,12
Vermiculite (panneaux)	0.090
Verre cellulaire (CG)	0.055
Liège (ICB)	0.050
Polystyrène expansé	0.045
Laine minérale	0.045
Multipor	0,043
Polystyrène extrudé	0.040
Fibre de bois	0,038 à 0,045
Air sec immobile	0,024

<b>Matériau</b>	<b><math>\lambda</math></b>
Cuivre	380,00
Acier doux	52,00
granites	3.50
pierres calcaires	2.91
Marbres	2.91
Calcaires moyens	1.74
Bétons	1,50
Calcaires tendres	1.40
Verres	1,15
Eau	0,60

## le coefficient «U» de transmission surfacique d'une paroi

« U » s'exprime par la formule  $U = \lambda / e$  avec « e » épaisseur de la paroi,  
Il exprime la quantité de chaleur qui « fuit » au travers de la paroi en  $W / m^2.K$  par unité de temps

C'est la vraie grandeur qui permet de qualifier la performance d'isolation.  
On l'appelle aussi coefficient de déperdition.



## La résistance thermique « R » d'une paroi

«R » s'exprime par la formule  $R = e / \lambda$  avec « e » épaisseur de la paroi.  
Donc  $R = 1 / U$

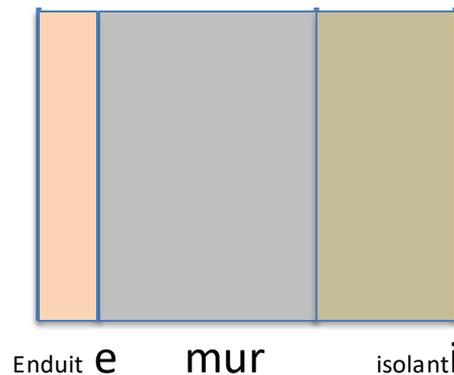
Le « R » n'a pas de réalité physique, il s'exprime en  $m^2K/W$

C'est pourtant la grandeur communément utilisée par les normes du fait que l'on peut additionner les « R » lorsque l'on a différentes couches de matériaux de «  $\lambda$  » différents.

$$R_t = R_e + R_m + R_i$$

Et on a alors

$$U_t = 1/(R_e + R_m + R_i)$$

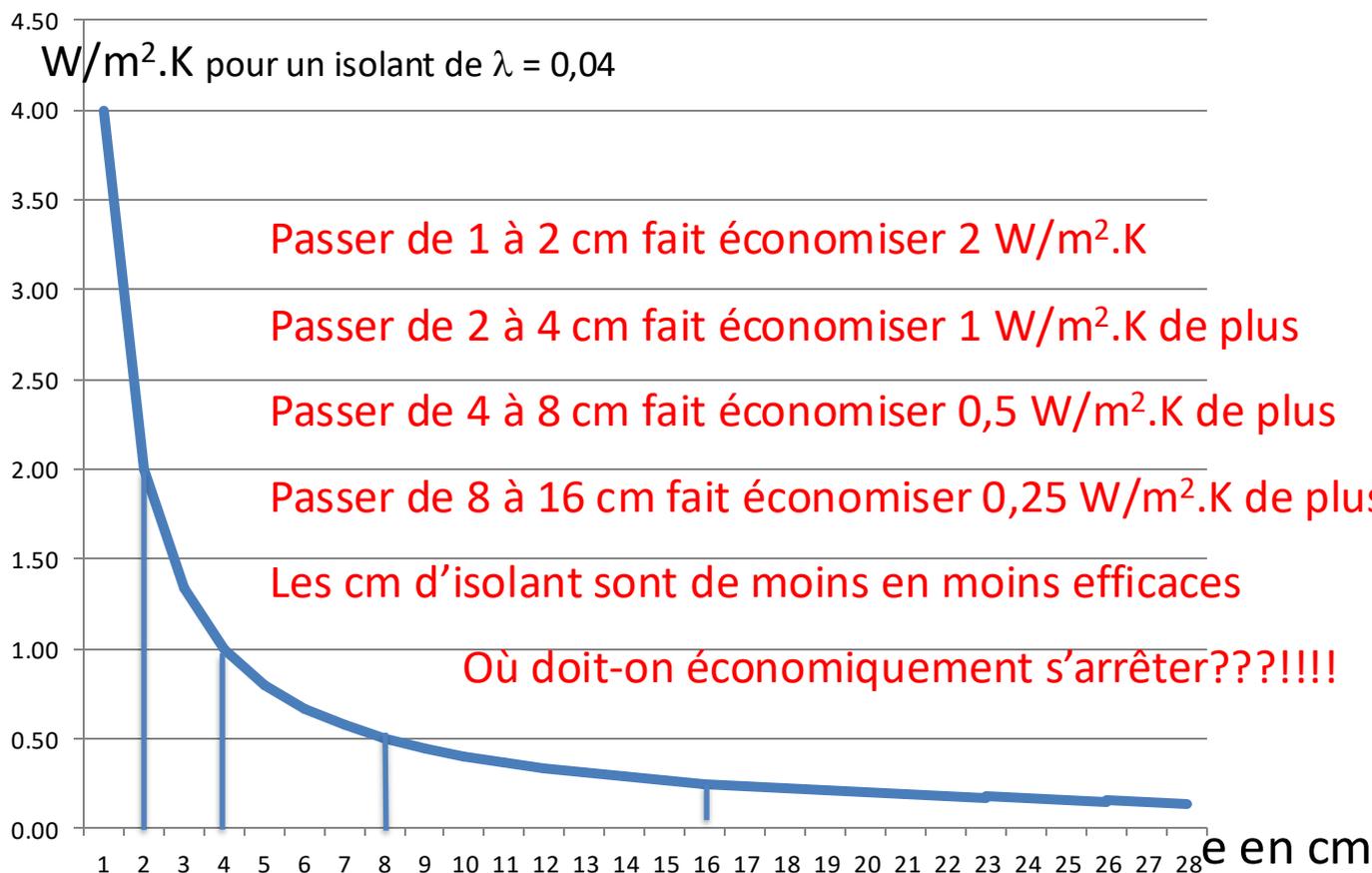


# Efficacité d'une épaisseur d'isolant

-> le coefficient «U» de transmission surfacique d'une paroi

Le véritable indicateur d'efficacité de la « fuite » de chaleur

$$U = \lambda / e = 1/R$$



e	U
Cm	W/m <sup>2</sup> .K
0,1	40
1	4
2	2
4	1
8	0,5
16	0,25
32	0,125

## Variation du « R » et du « U » en fonction de l'épaisseur

$$U = \lambda / e = 1/R$$

4.50  
W/m<sup>2</sup>.K°

R  
m<sup>2</sup>K/W

Mi mur sur volume non chauffé

Pb plancher bas

Me mur sur l'extérieur

Tt toiture terrasse

Ca comble aménagé

Cp comble perdu

e

U

Cm

W/m<sup>2</sup>.K

0,1 40

1 4

2 2

4 1

8 0,5

16 0,25

32 0,125

RT 2020

Mi Pb Me Tt Cp Ca  
2 2,7 2,9 3,3 4,3 4,8

0.00

cm

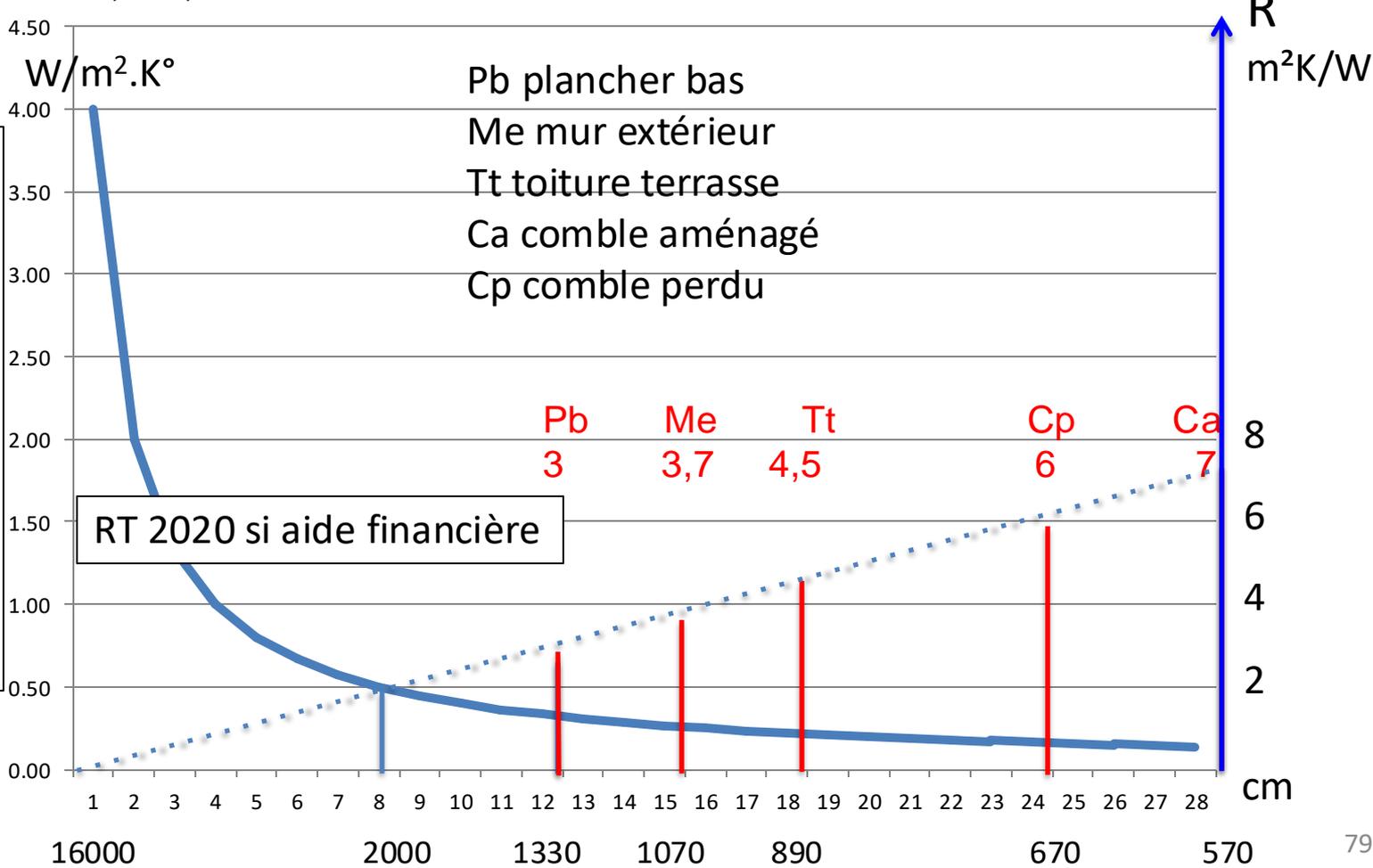
Watt perdus

40 4,0

0,5 0,37 0,34 0,3 0,23 0,21

## Variation du « R » et du « U » en fonction de l'épaisseur

$$U = \lambda / e = 1/R$$



e Cm	U W/m <sup>2</sup> .K
0,1	40
1	4
2	2
4	1
8	0,5
16	0,25
32	0,125

## -> le coefficient « R » et la norme

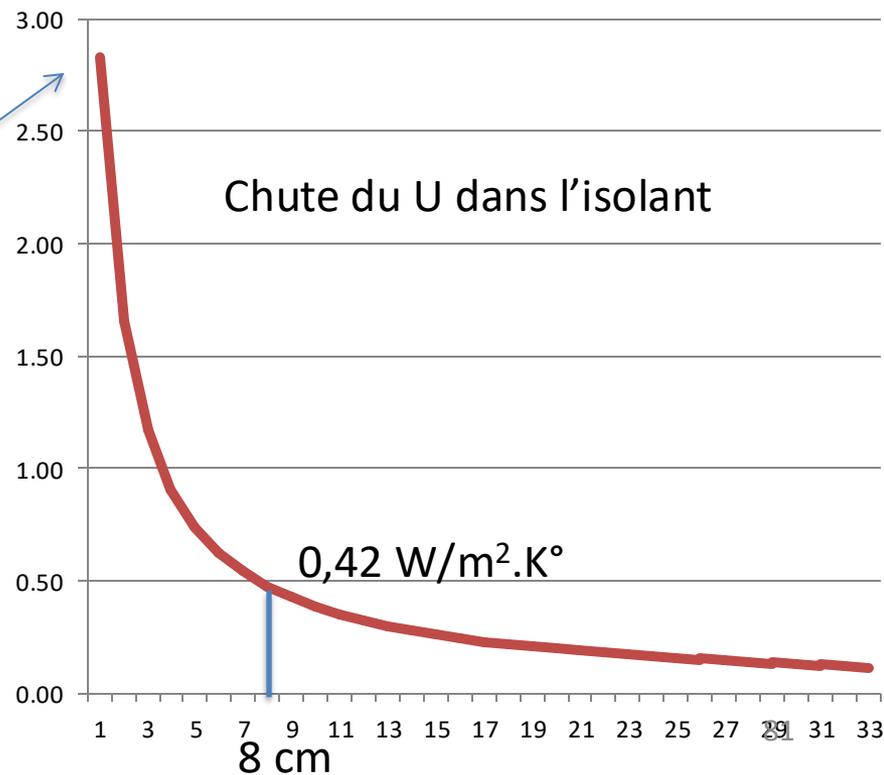
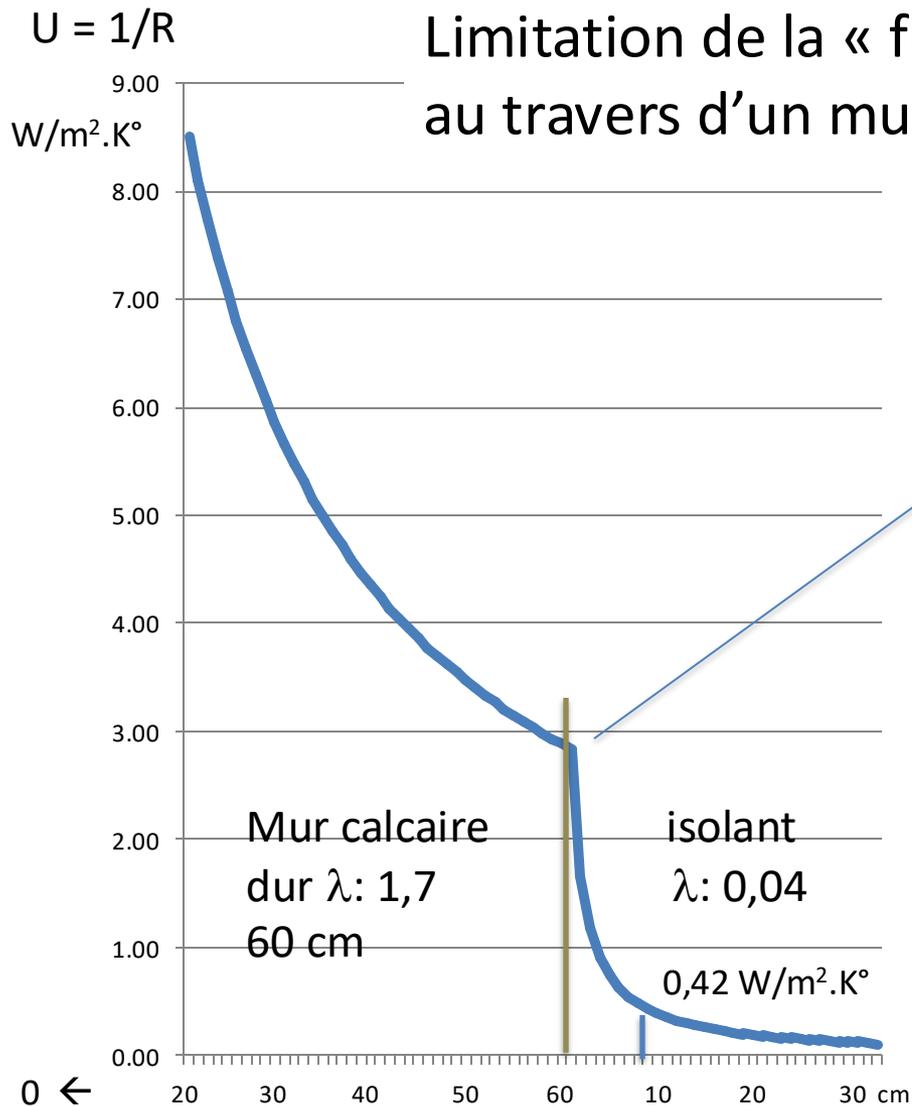
*La norme d'isolation RT2020 Ex définit un R de référence pour chaque paroi du bâti existant (mur + isolant) donc une épaisseur d'isolant*

	RT2018	TR2020	si aides $\phi$
Planchers bas	R = 2,7	2,7	2,7
Murs extérieurs	R = 2,9	2,9	3,7
Murs sur espace non chauffé	R = 2	2	3
Toitures terrasse	R = 3,3	3,3	
Combles aménagés	R = 4,3	4,3	6
Planchers de combles perdus	R = 4,8	4,8	7

Cela pose la question de la pertinence des aides et du vrai bénéficiaire...:

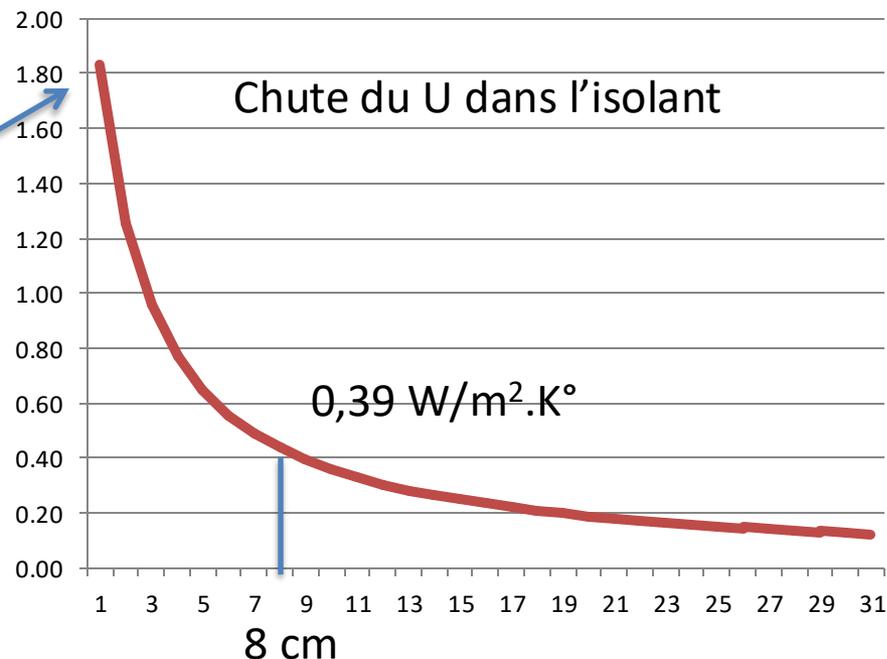
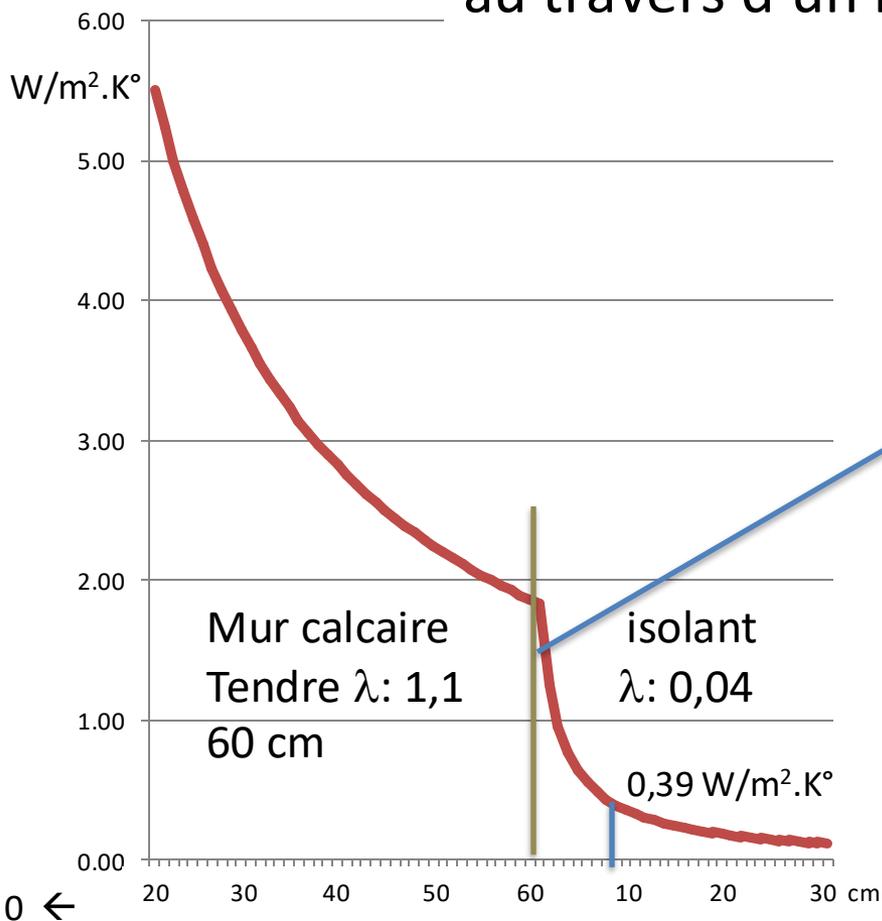
- Financer le surplus d'isolant, au profit de qui?
- L'énergie grise de ce surplus est-elle effacée par l'économie qu'il procure?

# Ne pas oublier la contribution des murs: Limitation de la « fuite » thermique au travers d'un mur calcaire dur isolé



Ne pas oublier la contribution des murs:  
Limitation de la « fuite » thermique  
au travers d'un mur calcaire tendre isolé

$$U = 1/R$$



## Passoire thermique:

Dans le langage courant « *bâtiment qui n'a pas pris en compte la nécessité de limiter les pertes caloriques du fait de la disponibilité et du bas prix de l'énergie lors de sa construction* ».

Ce bâti est essentiellement celui des « 30 glorieuses », 1948 à 1979.

1948 début de la période de la reconstruction

1973 et 1979 premier et second « choc pétrolier »

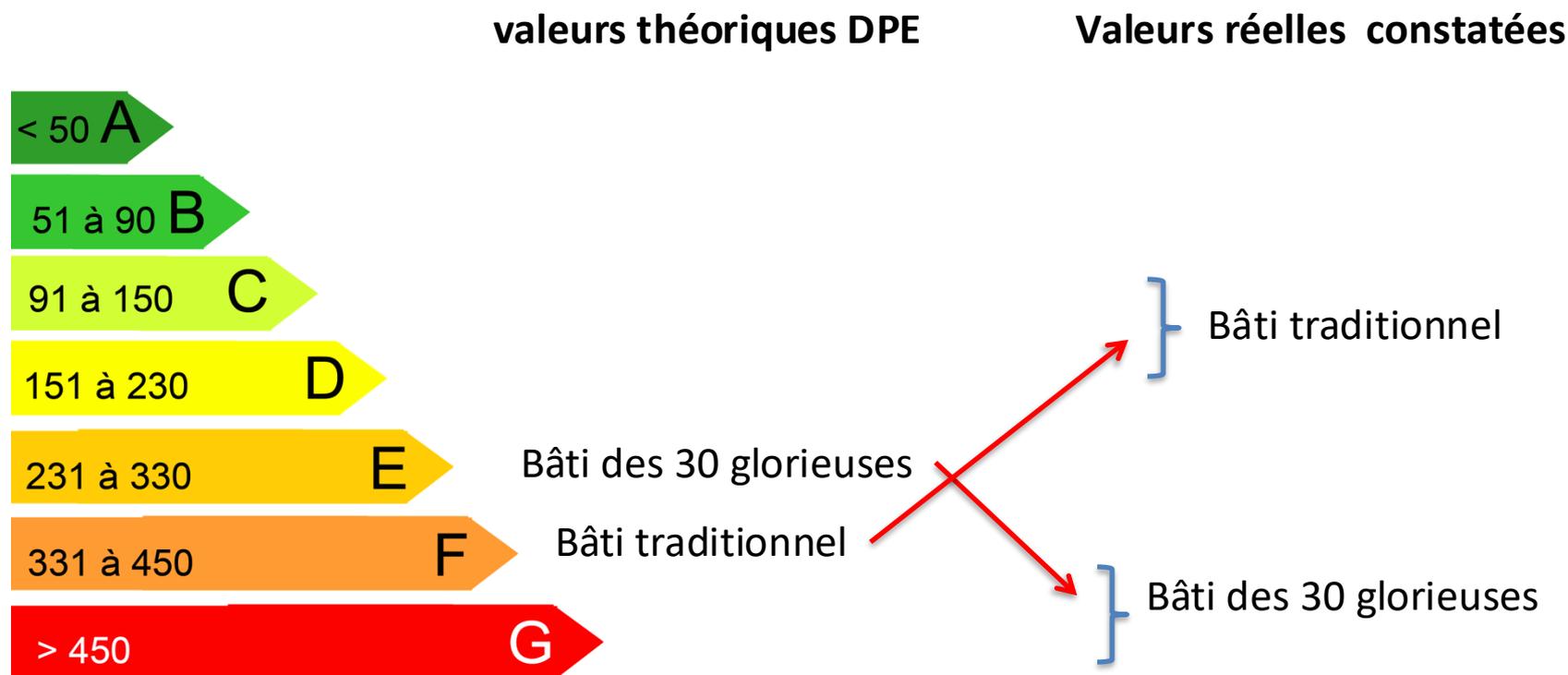
1973 le prix du baril est multiplié par 4

1979 le prix du baril est à nouveau multiplié par 2

La première norme d'isolation sort en 1974 avec un objectif de 25% de réduction de la consommation. « on n'a pas de pétrole mais on a des idées »... “on chasse le gaspi”...

-> rappel sur les « passoires thermiques »

La réalité ne rejoint pas la théorie.....



# Quelques rappels de thermique pour la protection contre la chaleur

Si pour l'hiver la protection **contre le froid** dépend de la conductivité de l'isolant et de son épaisseur pour réduire les pertes de la chaleur apportée par le chauffage,

la protection **contre la chaleur** dépend d'autres caractéristiques physiques du matériau liées à son inertie thermique.

Comment cela fonctionne-t-il?

Comment peut-on éviter de recourir à des climatiseurs?

## L'inertie thermique, ou capacité thermique, d'un matériau:

Elle représente « la capacité d'un matériau à conserver sa température lorsque qu'il est soumis à une variation extérieure de température, grâce à la chaleur qu'il a emmagasinée ».

Pendant que le matériau emmagasine de la chaleur celle-ci n'est pas transmise de l'autre côté de la paroi qu'il forme.

## L'inertie thermique, ou capacité thermique, d'un matériau:

A chaque matériau correspond une chaleur massique ou volumique qui rend compte de sa capacité à emmagasiner de la chaleur.

Elle se mesure en  $\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{K}^\circ$  ou en  $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}^\circ$

Les catalogues donnent en général les  $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}^\circ$  il faut donc prendre en compte la différence de densité des matériaux que l'on compare, la meilleure comparaison se fait sur les  $\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{K}^\circ$  car ce sont des épaisseurs que l'on choisit, pas des masses.

On va préférer les matériaux qui emmagasinent la chaleur plutôt que ceux qui la transmettent trop vite.

## capacité thermique des matériaux:

Matériau	Capacité thermique volumique kJ/m <sup>3</sup> K°	capacité thermique massique J/kgK°	densité kg/m <sup>3</sup>
laine de verre	21	850	25
laine de roche	40	1000	40
ouate cellulose	88 à 115	1600 à 2100	55
chenevotte	175 à 224	1950	90 à 115
polystyrène exp.	14 à 44	1450	10 à 30
polystyrène ext.	36 à 58	1450	25 à 40
verre cellulaire	96 à 192	800 à 1100	120 à 175
laine de bois 50 kg/m <sup>3</sup>	105	2100	50
fibre de bois 140 kg/m <sup>3</sup>	294	2100	140
fibre de bois 260 kg/m <sup>3</sup>	546	2100	260

## La transmission de chaleur: le déphasage

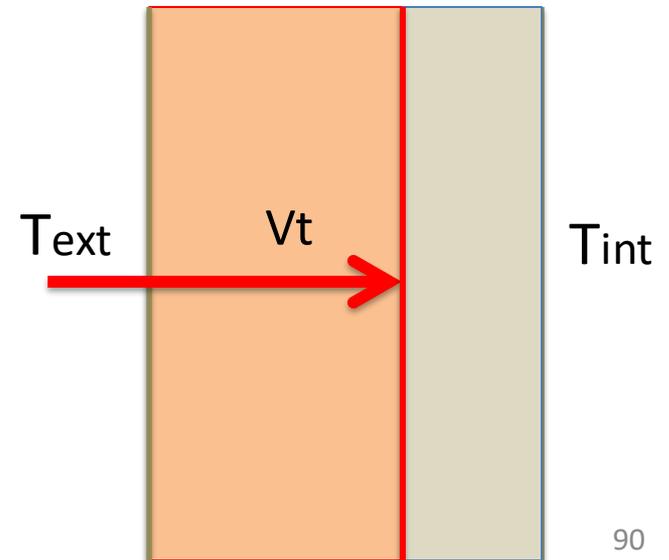
**La diffusivité thermique** «  $a$  » caractérise la capacité d'un matériau à transmettre plus ou moins rapidement une variation de température appliquée sur sa paroi.

Plus elle est faible plus le front de chaleur mettra de temps à traverser la paroi.

$$a = \lambda / \rho \cdot C \text{ en m}^2/\text{h}$$

- > **La vitesse de transfert** «  $v_t$  » caractérise la vitesse avec laquelle le front de chaleur traverse un matériau.

$$v_t = 72,5 \cdot a^{1/2} \text{ en cm/h}$$



## La vitesse de transfert « vt »

L'intérêt de cette caractéristique est le déphasage ou le retardement de la pénétration de la chaleur qui en résulte.

En effet selon la nature du matériau le temps mis par la vague de chaleur est de plusieurs heures.

Plus la vitesse de transfert sera faible plus le déphasage sera grand, si bien qu'en choisissant bien le matériau on peut retarder d'un grand nombre d'heures la pénétration de la chaleur, et donc la décaler au moment où la fraîcheur de la nuit va permettre de compenser cet échauffement.

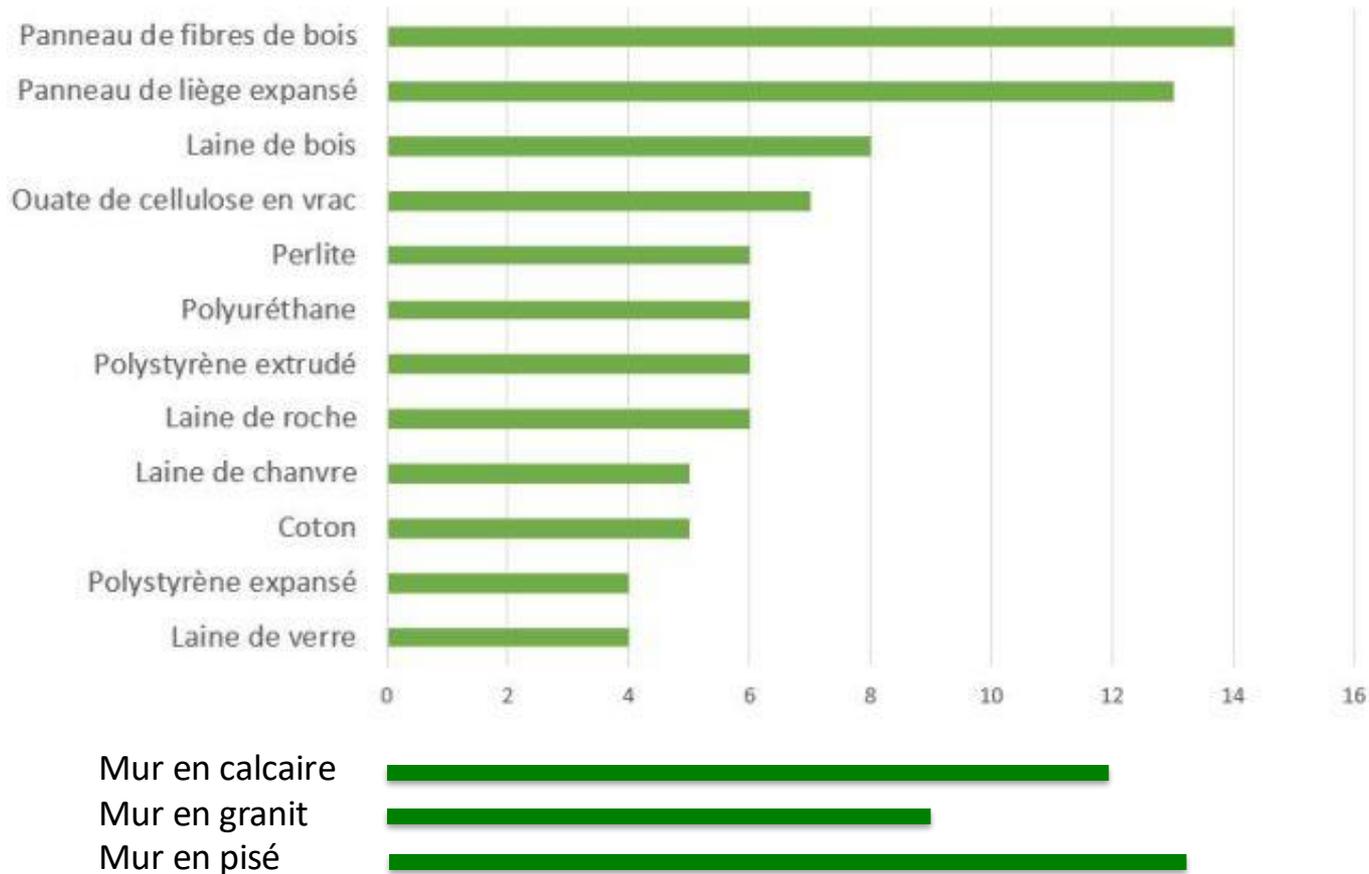
## Vitesse de transfert thermique

	a diffusivité m <sup>2</sup> /h	Vt vitesse de transfert cm/h
<b>Matériau</b>		
laine de verre	0,0149	8
laine de roche	0,0063	5,8
line de mouton	0,0061	5,6
polystyrène exp.	0,0041	6
laine de chanvre	0,0040	4,6
polystyrène ext.	0,0025	4
ouate de cellulose	0,0021	3,3
laine de bois 50 kg/m <sup>3</sup>	0,0005	3,4
fibre de bois 140 kg/m <sup>3</sup>	0,0003	2,4
fibre de bois 260 kg/m <sup>3</sup>	0,0002	1,7

Matériau	$\lambda$ W/mK°	VT cm/h
Granite	3,00	5,6
calcaire dur	2,20	4,7
calcaire tendre	1,05	3,8
grès	1,01	4,0
pisé	1,10	3,7
agglomération béton de 20	1,15	4,8
béton coulé	1,51	4,1
béton cellulaire	0,22	2,8
béton de chanvre	0,13	3,1

## Déphasage du front de chaleur en fonction du matériau et de son épaisseur

Temps de déphasage thermique (en heure)



Pour 25 cm d'épaisseur d'isolant ou 50 cm de mur

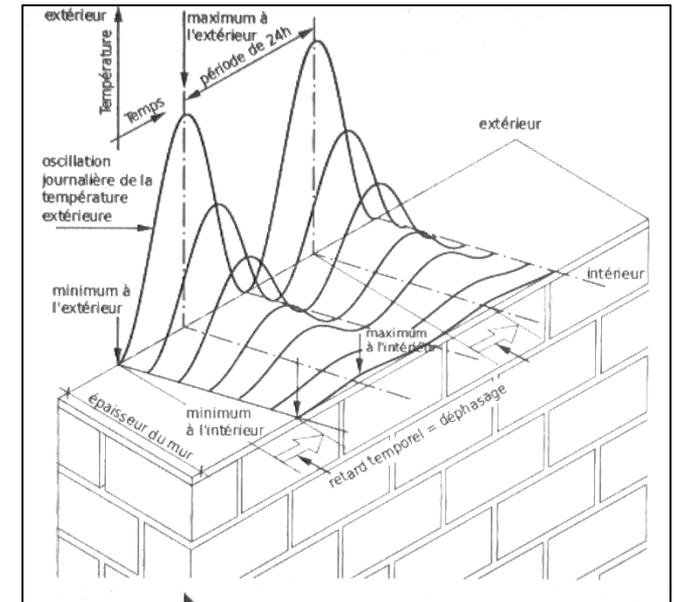
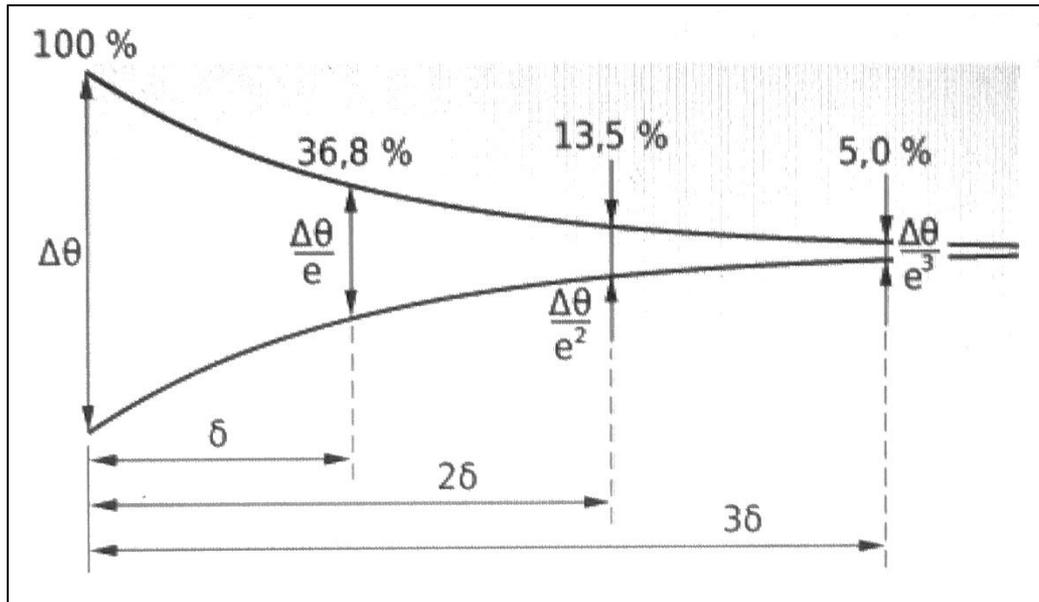
## L'amortissement thermique

Un amortissement de l'amplitude de la plage de température journalière est lié à la notion de « profondeur de peau thermique »

**La « profondeur de peau thermique » «  $\delta$  » (delta) est, par convention, la profondeur du matériau à laquelle l'amplitude de la variation de température à laquelle est soumise une face est divisée par  $e = 2,7$  (constante d'Euler) en arrivant sur l'autre face.**

$d = (a.P/p)^{1/2}$  en mètre, P étant la période en heures

## Atténuation de la variation thermique en fonction de l'épaisseur



Physique du bâtiment 1. édition, 2014 ISBN:978-3-7281-3445-5

## La « profondeur de peau thermique » « $\delta$ » (delta)

Matériau	profondeur de peau thermique cm
laine de verre	33
laine de roche	22
ouate cellulaire	13
chenevotte	7
polystyrène exp.	14
polystyrène ext.	18
verre cellulaire	11
laine de bois	8
fibres de bois	5
enduit chx chvre proj.	9

Matériau	$\delta$ cm
Granit	22
calcaire dur	18
calcaire tendre	15
grès	15
pisé	14
agglomérat béton de 20	18
béton	16
béton cellulaire	11
béton de chanvre	12

## La profondeur de peau thermique « $\delta$ » (delta)

L'intérêt de cette caractéristique est l'amortissement des extrêmes de température entre le jour et la nuit, **les maxima de température diurne ne traversent jamais la paroi.**

Plus la profondeur de peau est faible plus l'amortissement sera grand pour la même épaisseur de paroi.

Amplitude thermique résiduelle en % en fonction de l'épaisseur

Fibre de bois:	5cm : 36,8%	10 cm: 13,5%	15 cm: 5% divisé par 20!!!
Ouate de cellulose	12,7cm: 36,8%		
Laine de roche	22 cm: 36,8 %		
Laine de verre	33 cm: 36,8%		

Matériau	amortissement mur de 50 cm coefficient
Granit	> 8
calcaire dur	> 18
calcaire tendre	> 20
grès	> 20
pisé	> 20
agglo beton de 20	> 2,5
béton	> 2,5
beton cellulaire	> 7

Matériau	amortissement pour 24cm coefficient
laine de verre	< 1,5
laine de roche	< 2
ouate cellulaire	> 2,5
chenevotte	> 12
polystyrène exp.	< 2
polystyrène ext.	> 2
verre cellulaire	> 2,5
laine de bois 50 kg/m <sup>3</sup>	> 3
fibres de bois 140 kg/m <sup>3</sup>	> 7
fibres de bois 260 kg/m <sup>3</sup>	> 12
enduit chaux chanvre proj.	> 7

Les fabricants d'isolants qui bénéficient de ces qualités commencent à le faire savoir:

Exemple d'amortissement et de déphasage du catalogue Steico

140 mm de laine de bois souple et épaisseur supplémentaire de « Steico special » rigide

Épaisseur	amortissement	déphasage
140 + 60	5	9,7 heures
140 + 80	7	11,2 heures
140 + 100	10	12,7 heures
140 + 120	14	14,1 heures

Les autres (laine de verre ou de roche) essaient de gagner du temps ...

## **En résumé pour se protéger de la chaleur estivale :**

Les murs du bâti ancien ont toutes les caractéristiques nécessaires à un bon confort d'été sans nécessiter d'intervention.

On veillera malgré tout à protéger les façades sud et ouest du rayonnement solaire direct. Traditionnellement au sud était planté un grand arbre protecteur de la façade.

Le point faible du bâti ancien l'été c'est son toit car son inertie thermique est faible.

## En résumé pour se protéger de la chaleur estivale

### il faut isoler le toit avec un matériau qui procure:

- le déphasage maximal pour retarder la pénétration de la chaleur à une heure où la fraîcheur de la nuit va compenser cette chaleur, donc une vitesse de transfert «  $V$  » la plus faible possible, donc une **diffusivité «  $a$  » minimale**
- l'amortissement maximal pour affaiblir au maximum la température qui traverse la paroi, donc une « profondeur de peau » «  $d$  » minimale, donc une **diffusivité «  $a$  » minimale.**
- le maximum d'inertie thermique pour piéger dans la paroi un maximum de chaleur qui ne traversera pas, donc une **effusivité «  $b$  » maximale.**

Ne pas oublier que cette isolation retarde et amortit la pénétration de la chaleur mais elle ne l'empêche pas, c'est donc la bonne gestion de la fraîcheur nocturne au moment de la pénétration de la chaleur qui apporte le confort.

La bonne nouvelle c'est que l'isolant qui aura été choisi pour se protéger de l'excès de chaleur estival sera surabondant pour se protéger du froid hivernal!

**→ C'est l'efficacité estivale qui va être déterminante dans nos choix d'isolation**

En résumé pour le bâti ancien

**Pour les murs** isolation nécessaire pour l'hiver, mais bonne adaptation au confort d'été surtout si on les protège du rayonnement direct du soleil, on que l'on élève leur albedo.

**Pour le toit** nécessité absolue d'isoler pour l'été, ce qui réglera automatiquement le problème d'isolation hivernale.

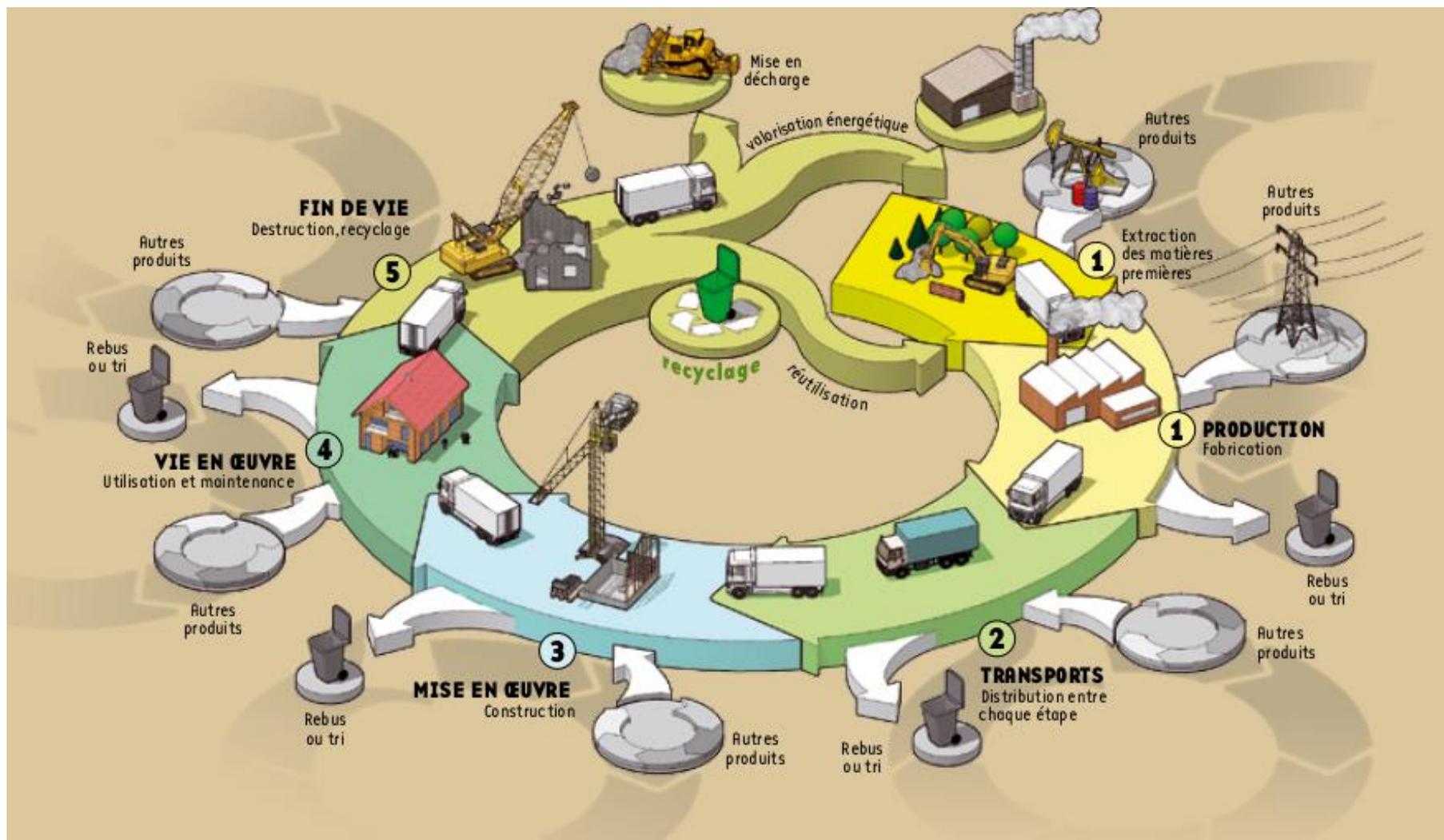
On verra que les autres composantes du bâti jouent un rôle très variable, souvent secondaire.

# Quelques rappels sur la notion d'énergie grise

## L'énergie grise

Elle regroupe toutes les énergies dépensées et consommées pour  
Concevoir et créer le produit,  
l'emballer,  
le transporter vers les sites de distribution,  
le stocker,  
le distribuer,  
le vendre,  
l'utiliser,  
l'entretenir,  
puis le recycler lorsqu'il est en fin de vie.

Toutes ces étapes utilisent une part d'énergie invisible



**Le bâti traditionnel des XVIII<sup>ème</sup>, XIX<sup>ème</sup> et début du XX<sup>ème</sup> siècle contient très peu d'énergie grise contrairement aux constructions en matériaux industriels des périodes suivantes:**

- Les matériaux sont des matériaux de proximité,
- Très peu de machines ont été utilisées, la force était humaine ou animale
- La durée de vie des bâtiments est très longue, le plus souvent en siècles
- L'entretien n'utilise pas de machines
- Les matériaux sont perpétuellement recyclés
- La vie y est économe en énergie, essentiellement naturelle...

## CUMULS D'ÉNERGIE POUR DIFFÉRENTS TYPES DE CONSTRUCTION

(durée de vie identique pour  
tous les modèles)

Construction traditionnelle  
antérieure au XX<sup>e</sup>s.

Construction conventionnelle  
milieu XX<sup>e</sup>s.

Construction performante thermiquement  
techniques conventionnelles  
début XXI<sup>e</sup>s.

Construction performante thermiquement  
technique écologique / début XXI<sup>e</sup>s.  
matériaux écologiques produits localement



ÉNERGIE GRISE  
(hors vie en œuvre)



ÉNERGIE D'USAGE (vie en œuvre). Les modes de vie ont considérablement évolué en 100 ans. Les 3 générations sous le même toit et une source de chaleur unique ont laissé la place à une famille réduite dans de vastes espaces confortables.

## **La même philosophie devrait présider à l'aménagement et à l'usage contemporain de ce bâti:**

- Capitaliser sur ses qualités naturelles sans repartir de zéro,
- Ne pas artificialiser son fonctionnement avec des artefacts énergivores,
- Privilégier les matériaux de proximité, bio sourcés, recyclables,
- Construire le confort et réduire la dépense énergétique par les aménagements,
- Choisir les énergies « propres » et « renouvelables »

C'est ce que se propose la suite de la présentation.

## Energie grise des matériaux fabriqués aujourd'hui

Laine de chanvre 26 cm	12,5 kW/m <sup>2</sup>	48 kW/m <sup>3</sup>
Laine de mouton 10 cm	5,6 kW/m <sup>2</sup>	56 kW/m <sup>3</sup>
Laine de bois 10cm 50 kg/m <sup>3</sup>	5,7 kW/m <sup>2</sup>	57 kW/m <sup>3</sup>
Béton chaux-chanvre 20 cm	18 kW/m <sup>2</sup>	90 kW/M <sup>3</sup>
Laine de roche 20 cm 20kg/M <sup>3</sup>	24,6 kW/m <sup>2</sup>	123 kW/m <sup>3</sup>
Ouate de cellulose 12 cm	18,2 kW/m <sup>2</sup>	153 kW/m <sup>3</sup>
Laine de roche 20 cm 70 kg/m <sup>3</sup>	86,4 kW/m <sup>2</sup>	432 kW/m <sup>3</sup>
Polystyrène expansé 10 cm	50 kW/m <sup>2</sup>	500 kW/m <sup>3</sup>
Polystyrène extrudé 10 cm	79,5 kW/m <sup>2</sup>	795 kW/m <sup>3</sup>
Placoplatre + armatures	19 kW/m <sup>2</sup>	

## Energie grise des matériaux fabriqués aujourd'hui

Enduit de chaux intérieur 1 cm	10 kW/m <sup>2</sup>
Enduit terre 2 cm	2 kW/m <sup>2</sup>
Enduit plâtre 1cm	5,5 kW/m <sup>2</sup>
Enduit de chaux extérieur 3 cm	31 kW/m <sup>2</sup>
Enduit ciment 3 cm	37 kW/m <sup>2</sup>
Béton terre-paille 20 cm	3,6 kW/m <sup>2</sup>
Parpaings creux de béton 20cm	55 kW/m <sup>2</sup>
Béton plein 20 cm	86 kW/m <sup>2</sup>
Brique creuse	139 kW/m <sup>3</sup>
Béton armé 20 cm	370 kW/m <sup>2</sup>

# La mise en œuvre des améliorations thermiques dans le bâti traditionnel

# Historique des normes

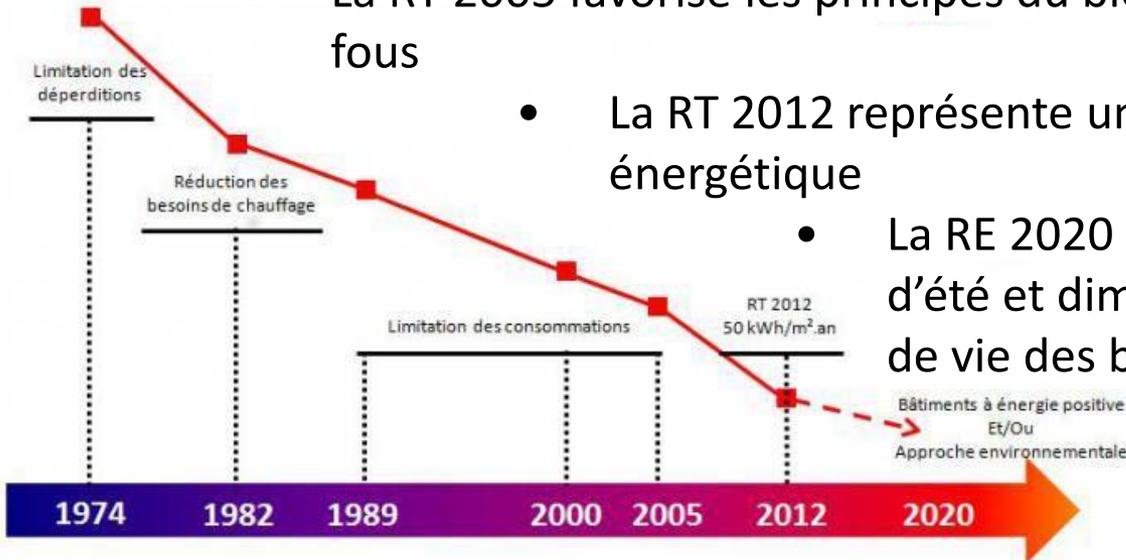
Qui ont progressivement impacté aussi le bâti ancien

## Des premières règles pour la construction neuve uniquement

- La première RT apparaît en 1974 (réaction au premier choc pétrolier).
- La seconde arrive en 1982, trois ans après le second.
- La RT 1988 s'étend aux bâtiments non résidentiels
  - La RT 2000 intègre le confort d'été
  - La RT 2005 favorise les principes du bio-climatisme et impose des garde-fous

- La RT 2012 représente un vrai saut qualitatif sur le plan énergétique

- La RE 2020 renforce les exigences de confort d'été et diminue l'impact carbone sur le cycle de vie des bâtiments

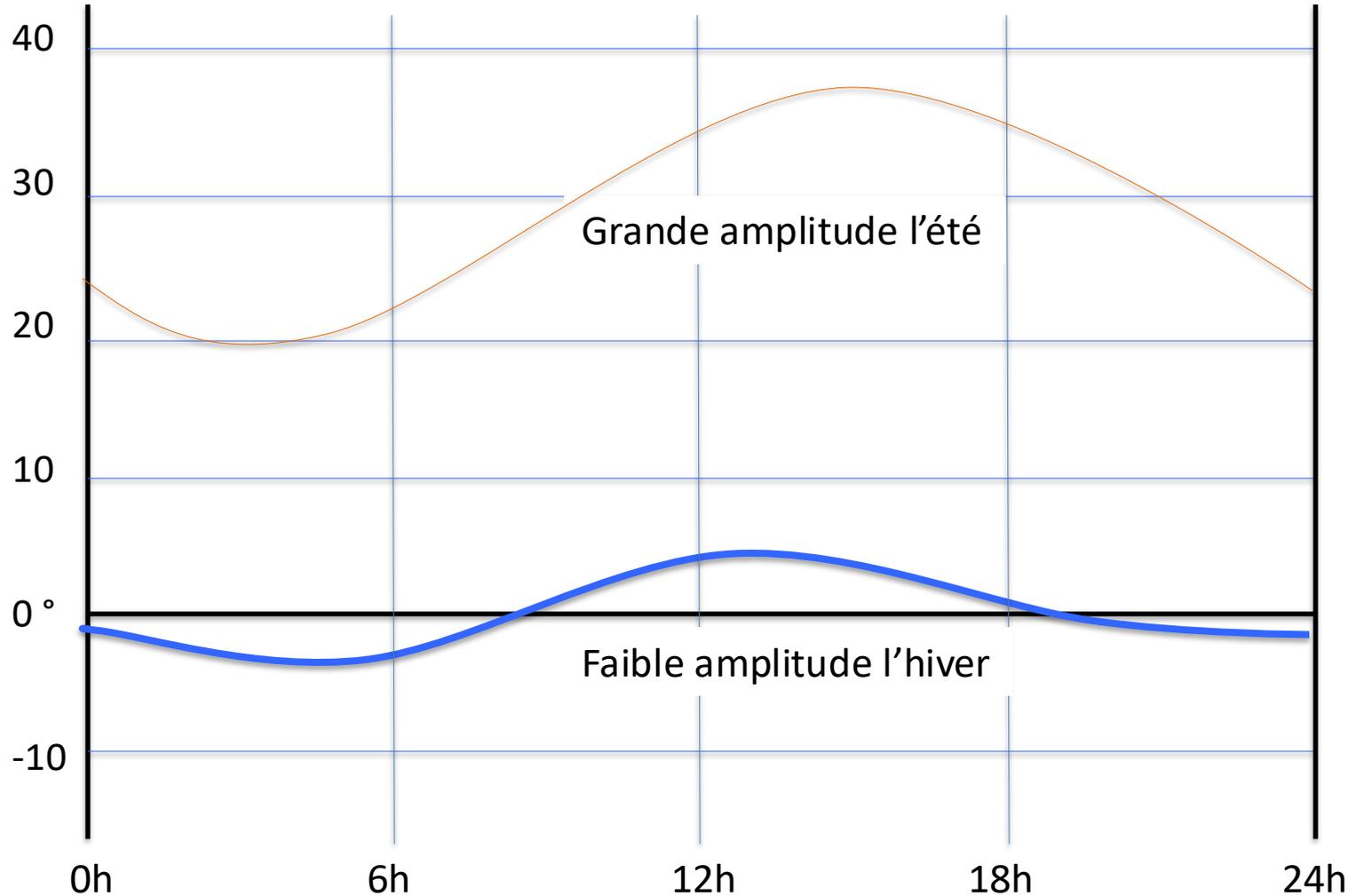


On a vu que le bâti ancien est en interaction permanente avec son environnement.

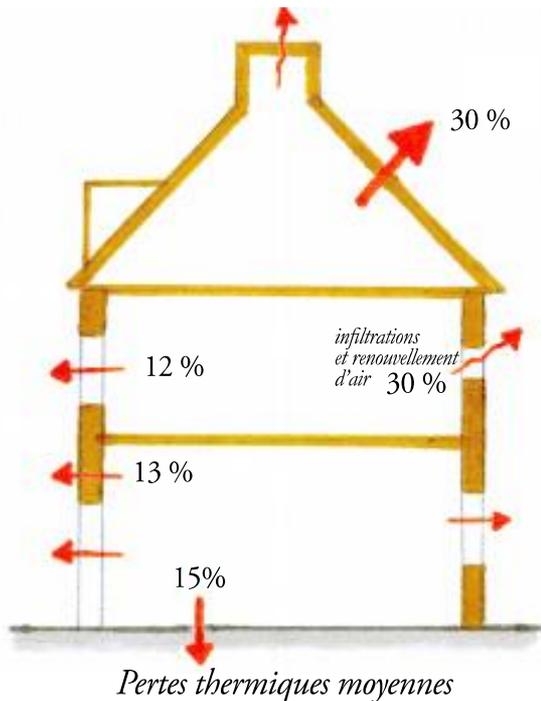
Cet environnement est très différent entre l'été et l'hiver

## Variation de température journalière l'hiver

Faible amplitude l'hiver, mais aucune période à température de confort



## Le confort l'hiver nécessite un apport calorique -> Limiter les pertes caloriques, où agir



Bâti traditionnel (Atheba)

La toiture 30% des pertes

Le sol bas 15%

Les murs 13%

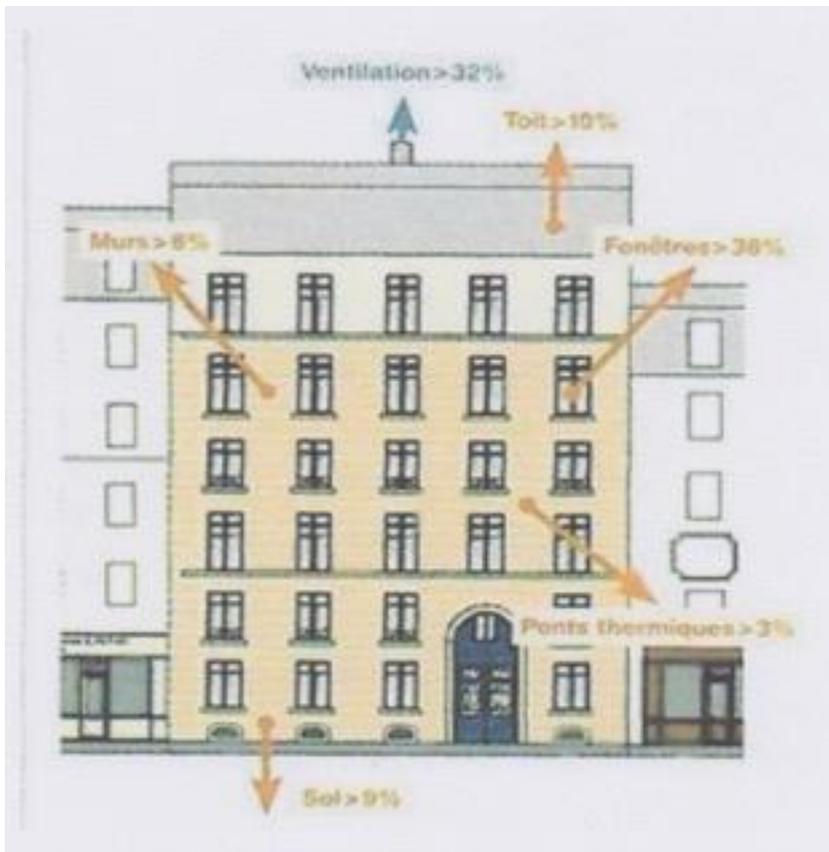
Les fenêtres 12%

Ponts thermiques négligeables

Et aussi les infiltrations et le renouvellement d'air 30%

La perte de chaleur au travers des parois est caractérisée par le coefficient de transmission surfacique  $U$ . Il est l'inverse de la résistance thermique  $R$ .  $U=1/R$

## Le confort l'hiver nécessite un apport calorique -> Limiter les pertes caloriques, où agir



Immeuble type haussmanien mitoyen

La toiture 10 % des pertes

Le sol bas 9 %

Les murs 8 %

Les fenêtres 38 %

Ponts thermique 3%

Et aussi les infiltrations et le renouvellement d'air 32%

# Le confort l'hiver nécessite un apport calorique

-> Limiter les pertes caloriques, où agir face à la diversité



Immeuble 10, rue Chenoise      Immeuble 8, rue de Sault 1675      Immeuble 4, rue Hector Berlioz      , rue Bayard      Immeuble 6, place Notre Dame      Immeuble 2, place d'April

Renaissance

XVIIème

XVIIIème

fin XVIIIème

XIXème

début XXème

Surface vitrée entre 20 et 40%

## Limiter les pertes caloriques, où agir

Maison individuelle  
Avant 1948

La toiture	30%
Le sol bas	15%
Les murs	13%
Les fenêtres	12%
Ponts therm.	0
Aération	30%

Immeuble haussmanien

La toiture	10 %
Le sol bas	9 %
Les murs	8 %
Les fenêtres	38 %
Ponts thermique	3%
Aération	32%

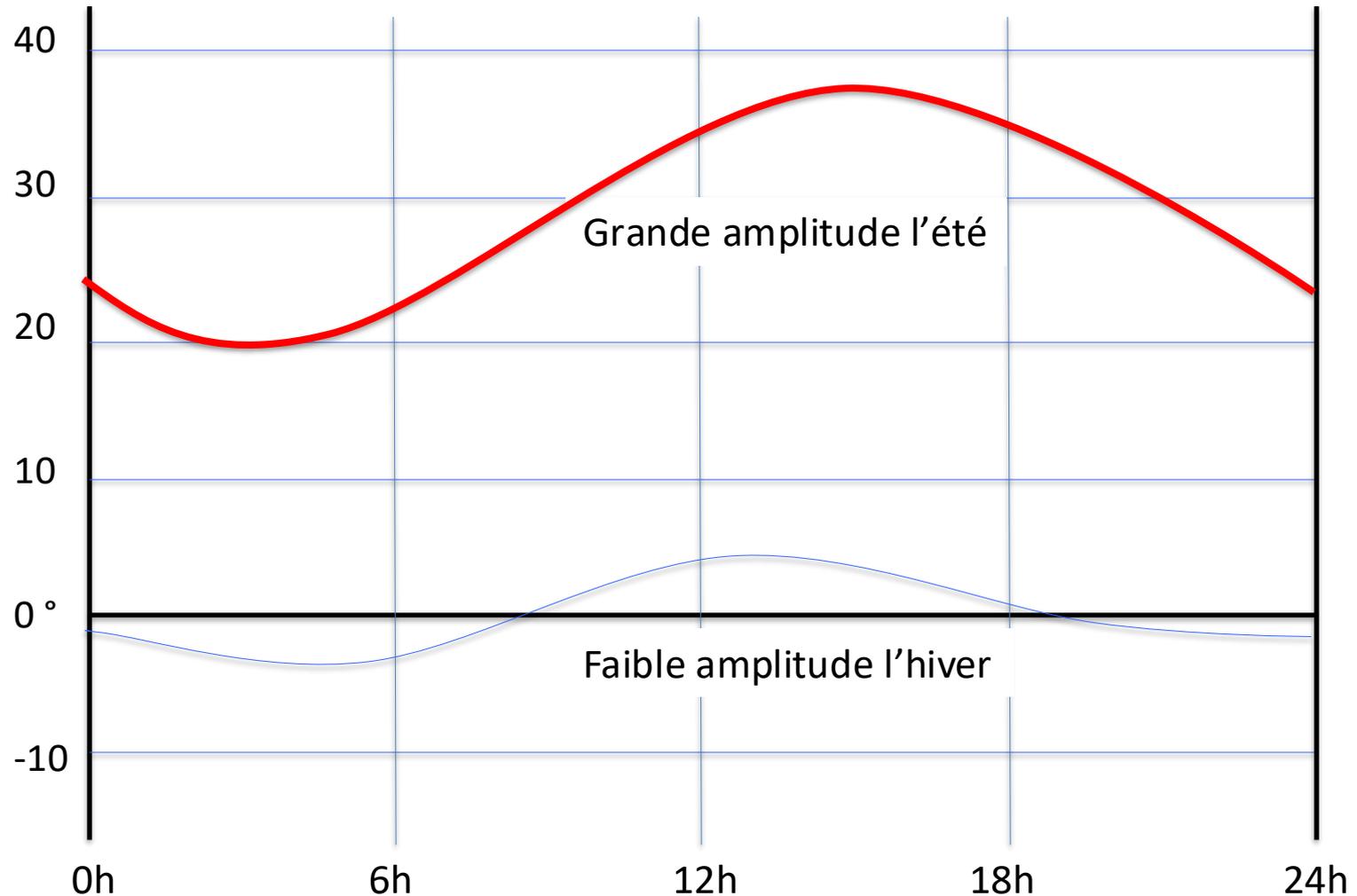
Immeuble béton

La toiture	13 %
Le sol bas	10 %
Les murs	26 %
Les fenêtres	20 %
Ponts therm.	9%
Aération	22 %

Les problèmes sont spécifiques à chaque type d'habitat,  
les solutions doivent donc être adaptées à chaque type d'habitat.

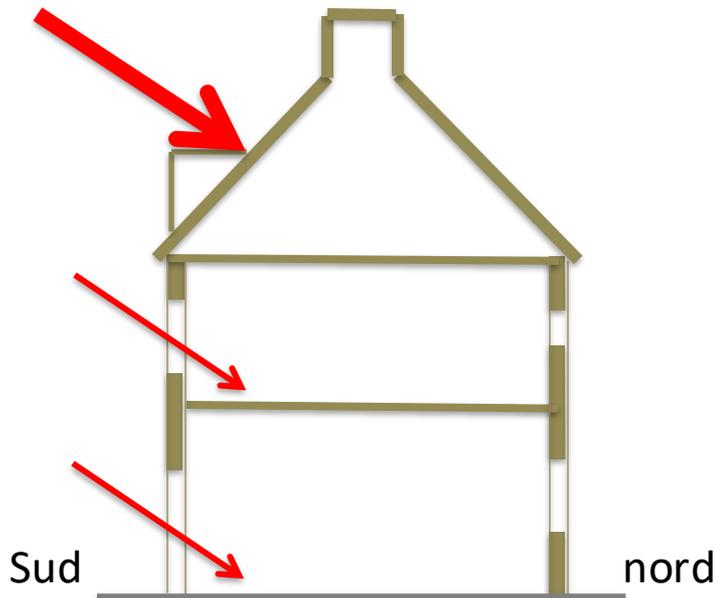
## Variation de température journalière l'été

Forte amplitude l'Été, mais période à température de confort



## Le confort l'été nécessite de se protéger contre la chaleur

-> Limiter l'apport de chaleur estival, où agir



- La toiture est la zone d'entrée maximale du fait de son exposition et de sa faible inertie thermique, c'est elle qu'il faudra aménager en priorité.
- Les baies vitrées sont la seconde source de pénétration de la chaleur, on verra comment s'en protéger.
- Les murs par contre, du fait de leur inertie thermique, apportent le déphasage et l'amortissement qui contribuent au confort.
- Les couleurs sont plus ou moins absorbantes de la chaleur (albedo!!)

## -> Choisir les couleurs qui n'absorbent pas la chaleur (Albédo)

L'albédo est le pouvoir réfléchissant d'une surface, c'est-à-dire le rapport de l'énergie lumineuse réfléchie à l'énergie lumineuse incidente.

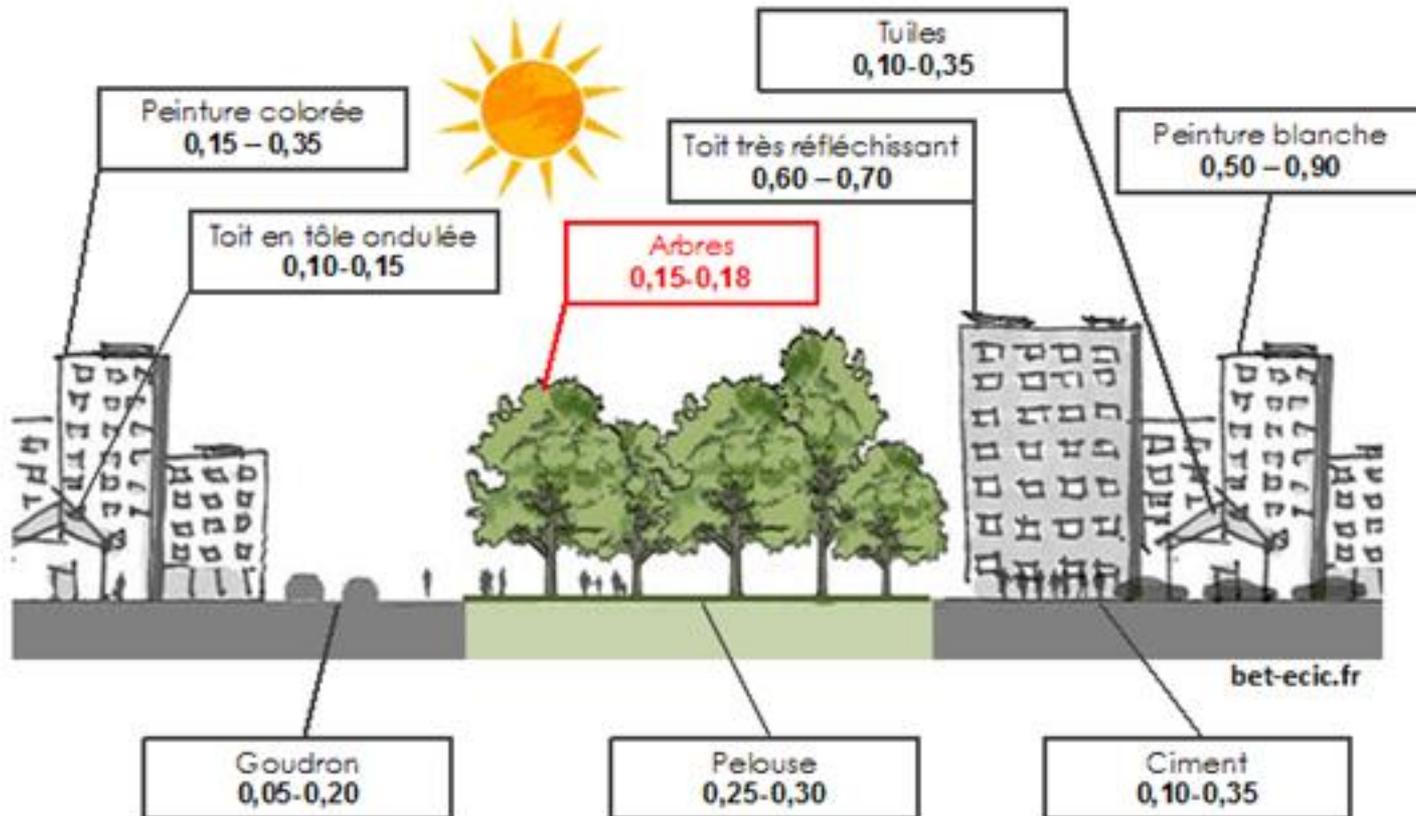
C'est une grandeur sans dimension , et une valeur comprise entre 0 et 1 :

- un corps noir parfait, qui absorberait toutes les longueurs d'onde sans en réfléchir aucune, aurait un albédo nul, (bien l'hiver, nul l'été)

- un miroir parfait, qui réfléchirait toutes les longueurs d'onde, sans en absorber une seule, aurait un albédo égal à 1. (nul l'hiver, bien l'été....)

C'est l'été que les conséquences sont les plus difficiles à gérer, donc prioritaire!

-> Choisir les couleurs: pour l'été, Albédo le plus proche de 1  
Alors que pour l'hiver il faudrait un albédo le plus petit possible...



## -> isoler la toiture

La toiture est quasi transparente à l'apport de chaleur l'été et à la perte de chaleur l'hiver.

**Pour l'hiver** la norme 2020 attend un R de 4,8, donc une épaisseur de

$$e = R \times L = 4,8 \times 0,04 = 19,2 \text{ cm d'un bon isolant } (\lambda = 0,04)$$

-> isoler la toiture

**Pour l'été** il faut l'équiper d'une importante épaisseur d'isolant à forte inertie pour apporter déphasage (12 à 14h) et amortissement (15 à 20).

Les isolants à privilégier sont

25 à 30 cm de fibre de bois dense (120 kg/m<sup>3</sup>)

40 à 45 cm de laine de bois ou de ouate de cellulose (50 kg/m<sup>3</sup>)

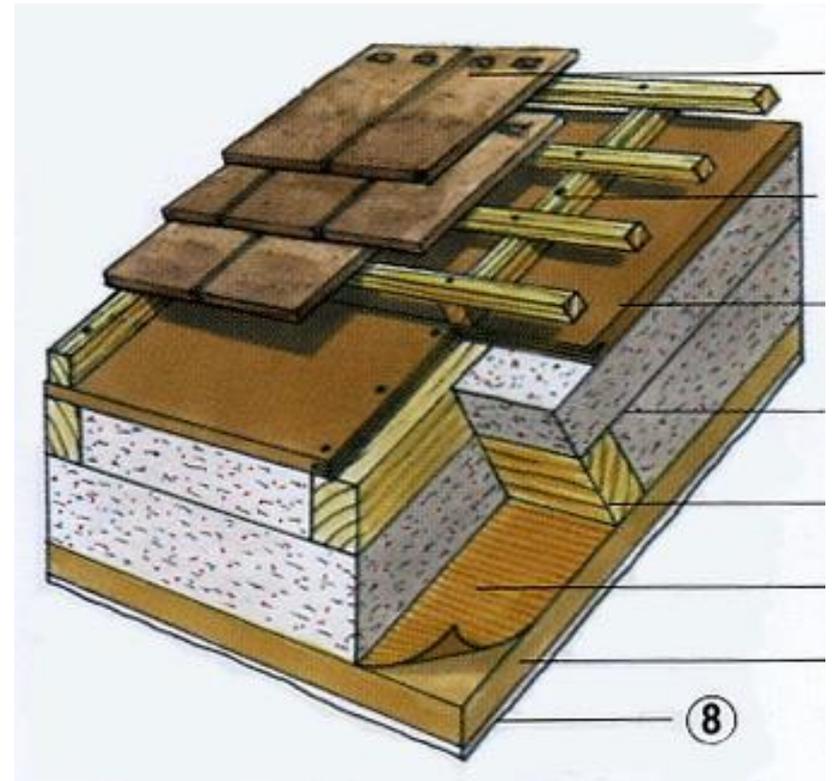
25 à 30 cm de béton de chanvre en caissons,  
certains ajouteront la paille.

La bonne nouvelle est que ces épaisseurs et ces natures d'isolant sont surabondants pour l'isolation hivernale.

## -> isoler la toiture

Selon la configuration et l'usage prévu des combles:

- Isolation du rampant par le dessous
- C'est l'isolation classique mais elle abaisse la hauteur disponible dans les combles.



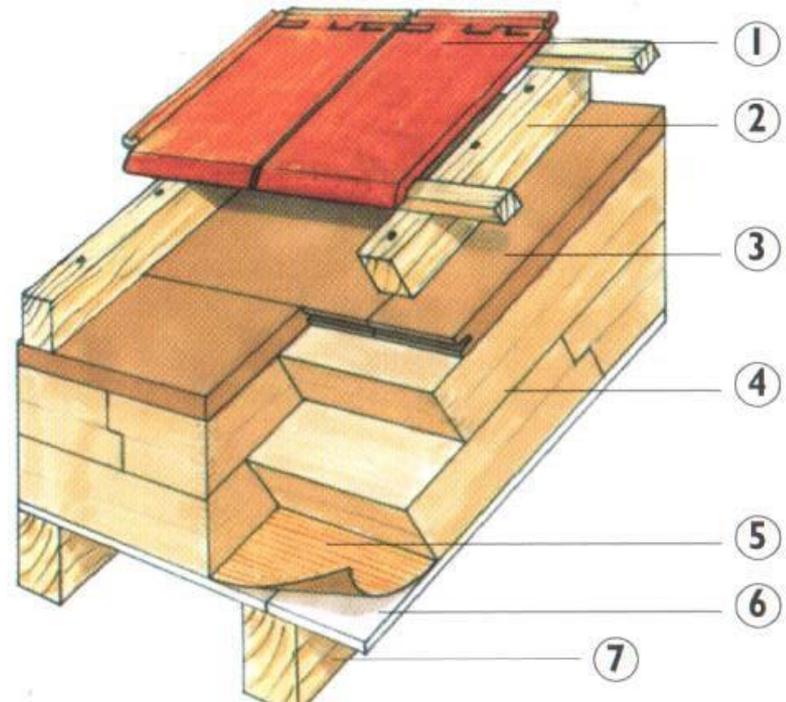
## -> isoler la toiture

Selon la configuration et l'usage prévu des combles:

- Isolation par le dessus  
Aussi appelée « sarking »

Elle a le même avantage que l'ITE mais est difficilement compatible des génoises et des corniches.

Elle est réalisée en fibres de bois mais aussi en béton chaux-chanvre peu dosé, et même en paille



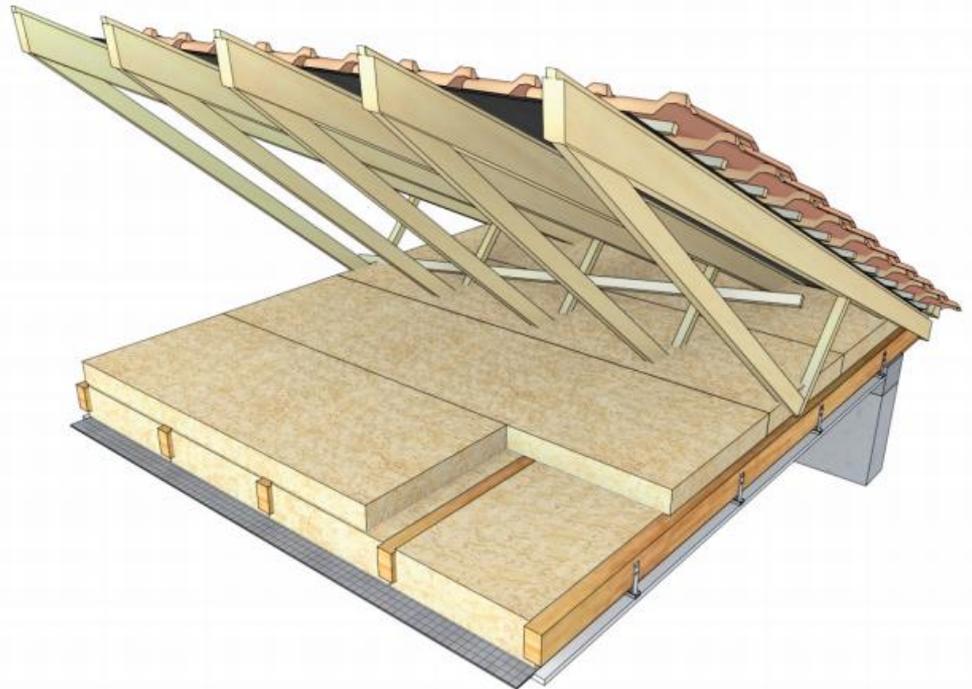
## -> isoler la toiture

Selon la configuration et l'usage prévu des combles:

- Isolation au sol des combles perdus

Elle condamne l'utilisation des combles mais est simple à réaliser mais son raccordement avec l'isolation des murs est délicate.

Attention à l'isolation à 1€ !!!



## -> isoler le sol

Le sol est un point froid l'hiver, mais sa fraîcheur et son inertie sont appréciables l'été.

**Pour l'hiver** la norme 2020 attend un R de 2,7 donc une épaisseur d'isolant de

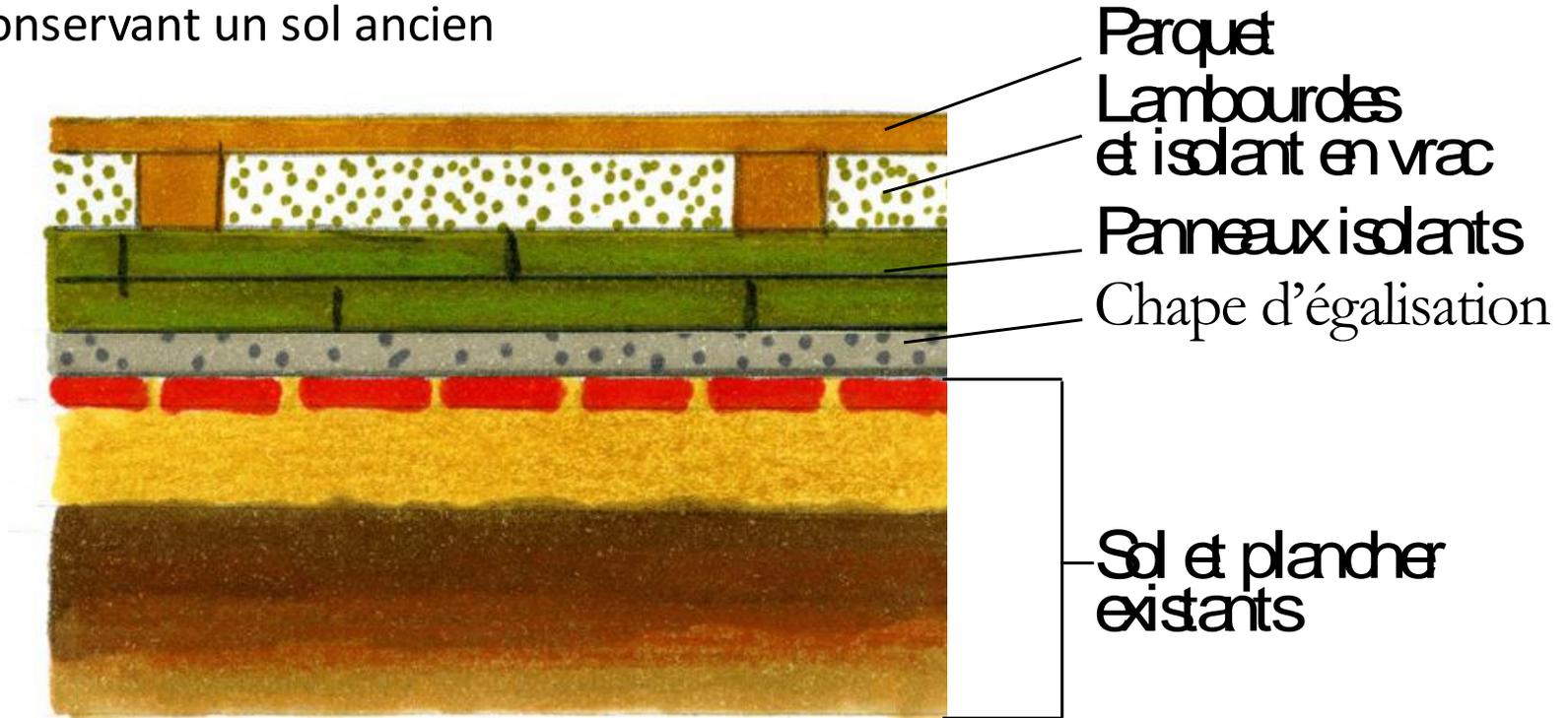
$$e = R \times \lambda = 2,7 \times 0,04 = 10,8 \text{ cm d'un bon isolant } (\lambda = 0,04)$$

Adapter l'isolation au revêtement choisi, mais ne pas bloquer les remontées capillaires qui ressortiraient dans les murs:

Dalle de chaux et revêtement perspirant, ou mieux hérisson ventilé indispensables.

Penser au Misapor, verre recyclé expansé.

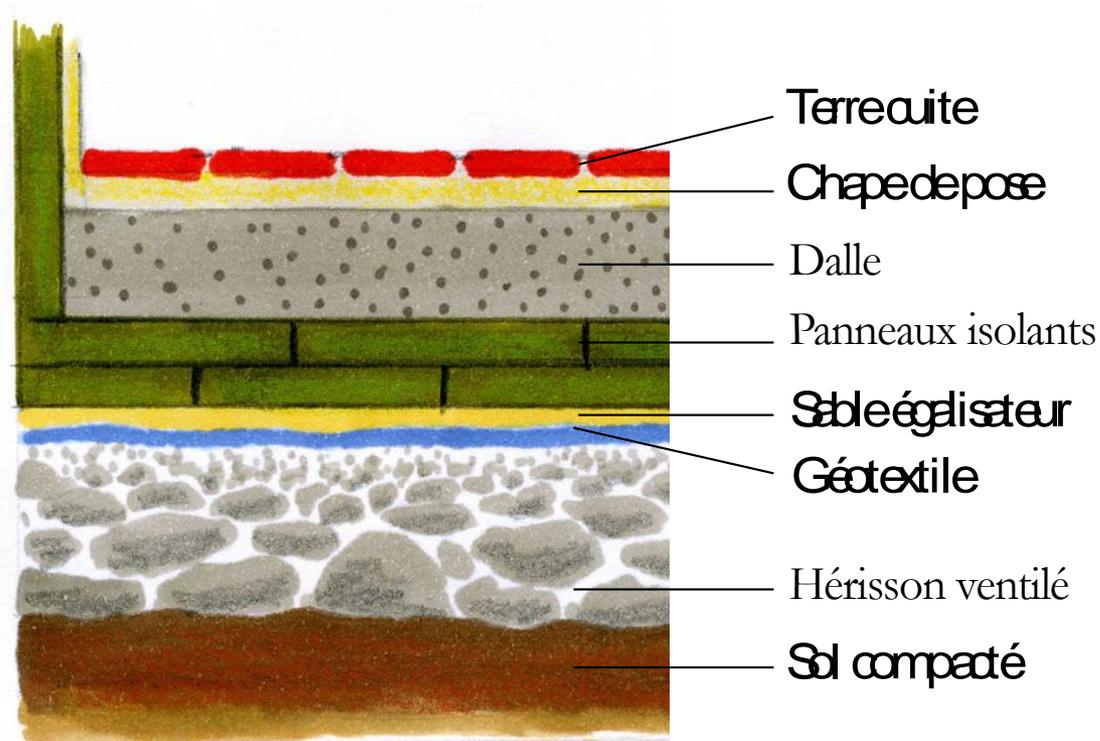
→ isoler le sol  
en conservant un sol ancien



*Épaisseur du complément représente une surépaisseur  
de la valeur d'une marche (environ 16 cm)*

## → isoler le sol

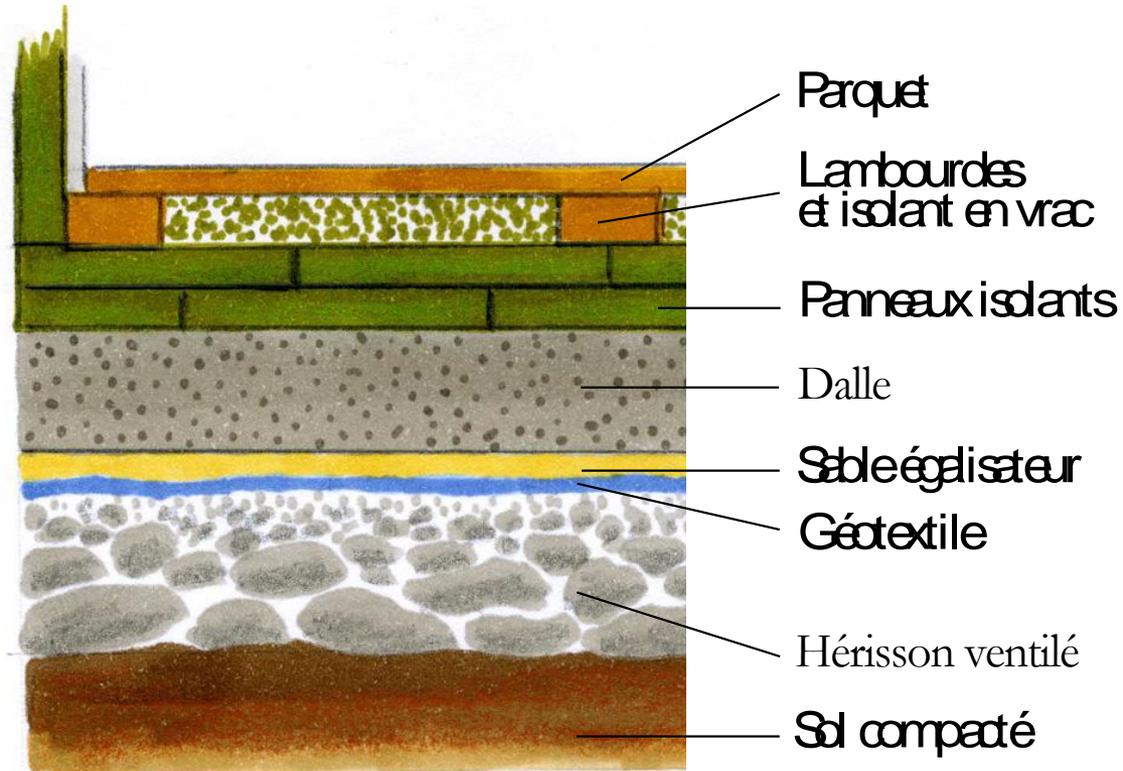
quand on peut tout refaire, avec isolant résistant à l'humidité sous la dalle



*Épaisseur totale:  
45 cm environ à partir du sol*

## → isoler le sol

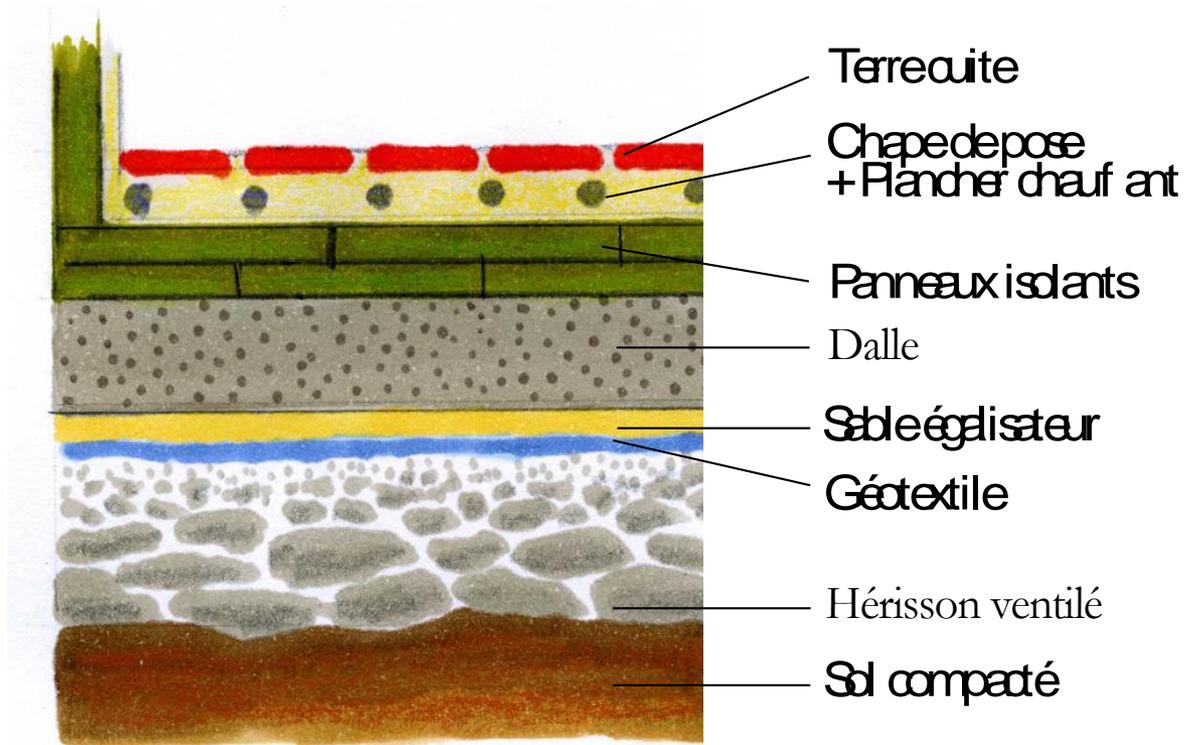
Avec isolant au dessus de la dalle et parquet



*Épaisseur totale:  
de 40 à 45 cm à partir du sol*

## → isoler le sol

Pour un chauffage par le sol



*Épaisseur totale:  
de 40 à 45 cm à partir du sol*

## -> isoler les murs contre le froid

La norme 2020 attend:

Un R de 2 pour un mur donnant sur un local non chauffé

Un R de 2,9 pour un mur donnant sur l'extérieur

Soit des épaisseurs respectives de

$e = R \times \lambda = 2 \times 0,04 = 8 \text{ cm}$  dans le premier cas

$e = R \times \lambda = 2,9 \times 0,04 = 11,6 \text{ cm}$  dans le second cas

On a vu précédemment que 8 cm était un bon compromis....

En outre tous les murs ne justifient pas la même isolation selon leur exposition:  
le mur nord est prioritaire, le mur sud bénéficie du soleil d'hiver...;

## -> isoler les murs contre le froid

### Isolation par l'extérieur ou par l'intérieur?

L'ITE est la plus efficace, en outre elle conserve l'inertie thermique du côté chauffé, par contre elle supprime le réchauffement solaire hivernal, et elle masque la qualité esthétique des façades. Elle supprime en principe les ponts thermiques.

Attention au choix d'isolants perspirants.

L'ITI est souvent la seule solution possible, elle a l'inconvénient de garder l'inertie thermique du mur du côté froid.

Parfois rien n'est simple: génoises, corniches ou modénatures extérieures et radiateurs et tuyauteries sur tous les murs périphériques...

-> ITE au nord, ITI ou correcteur thermique sur les autres faces?

## **Décret du 30 mai 2016 d'application de la loi de transition énergétique au 1 er janvier 2017**

Il imposait l'ITE dès que l'on ravale.

Sauf pour les bâtiments protégés

Sauf pour les bâtiments dans les zones de protection

Sauf si « un homme de l'art » (payant...) certifie que c'est préjudiciable à l'esthétique ou au fonctionnement du bâti;

MPF, VMF, DH et SPEEF ont déposé un « recours gracieux » contre le décret.

Un nouveau texte de 2017 limite l'obligation « aux façades en blocs de béton industriels, en béton banché, en bardages métalliques et briques industrielles » .

L'obligation ne concerne pas les façades « en matériaux craignant l'humidité:

les façades en pierre, terre crue, torchis, bois, matériaux de fabrication artisanale

les façades recouvertes d'un enduit à la chaux , au plâtre, à la terre ».

## Il fallait l'oser....

Avant une chapelle



Après une crèche



Isolation par l'extérieur photo SPEEF

## -> isoler les murs, quel isolant

Pas d'isolant étanche qui enferme l'humidité des murs.

Pas d'isolant non capillaire qui ne contribue pas à l'évaporation de l'humidité des murs.

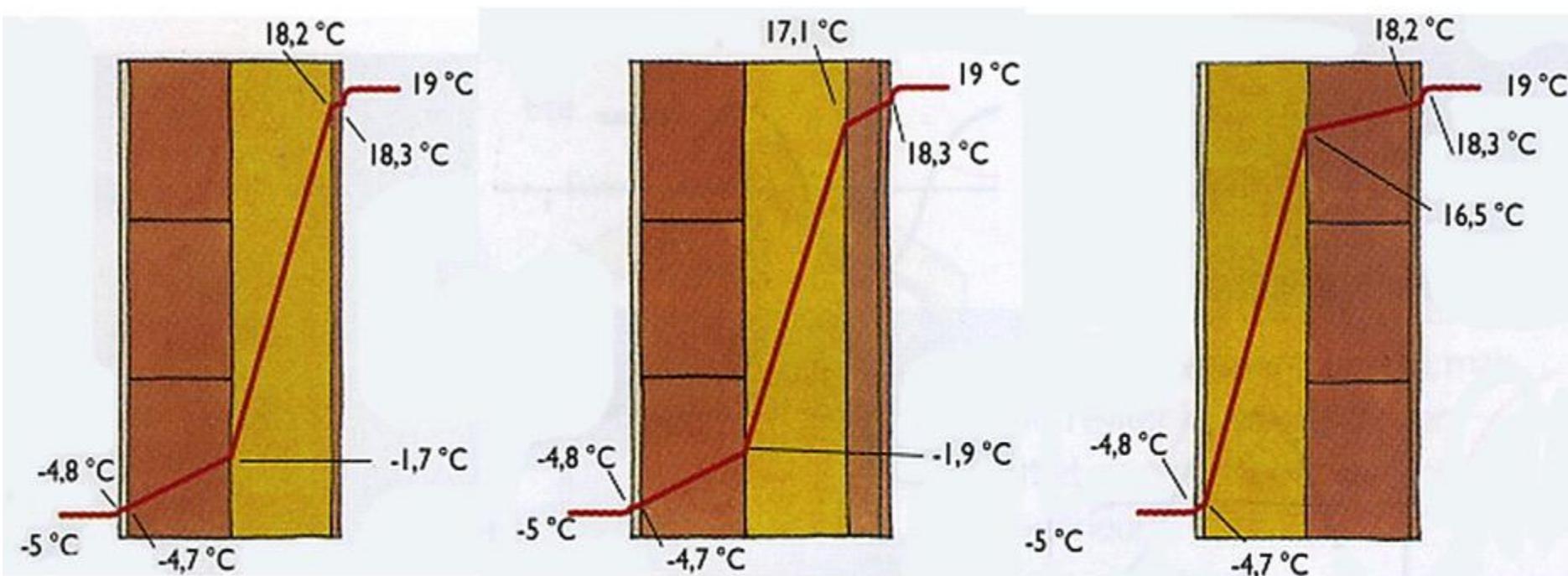
Des isolants tels que la fibre ou la laine de bois,

Des isolants tels que les enduits chaux chanvre projetés en forte épaisseur (15 cm) avec un lambda de 0,07

Des correcteurs thermiques tels que les enduits chaux chanvre en faible épaisseur (3 à 5 cm) effusivité 200.

Se pose la question de la position des fenêtres qu'il faudrait déplacer au niveau de l'isolant, donc 20 cm plus profondément: esthétique?

-> isoler les murs, conséquences de la position de l'isolant



**MUR A**  
mur enduit, en briques  
maçonnées, de 15 cm,  
isolation intérieure de 15 cm,  
plaque de plâtre de 13 mm.

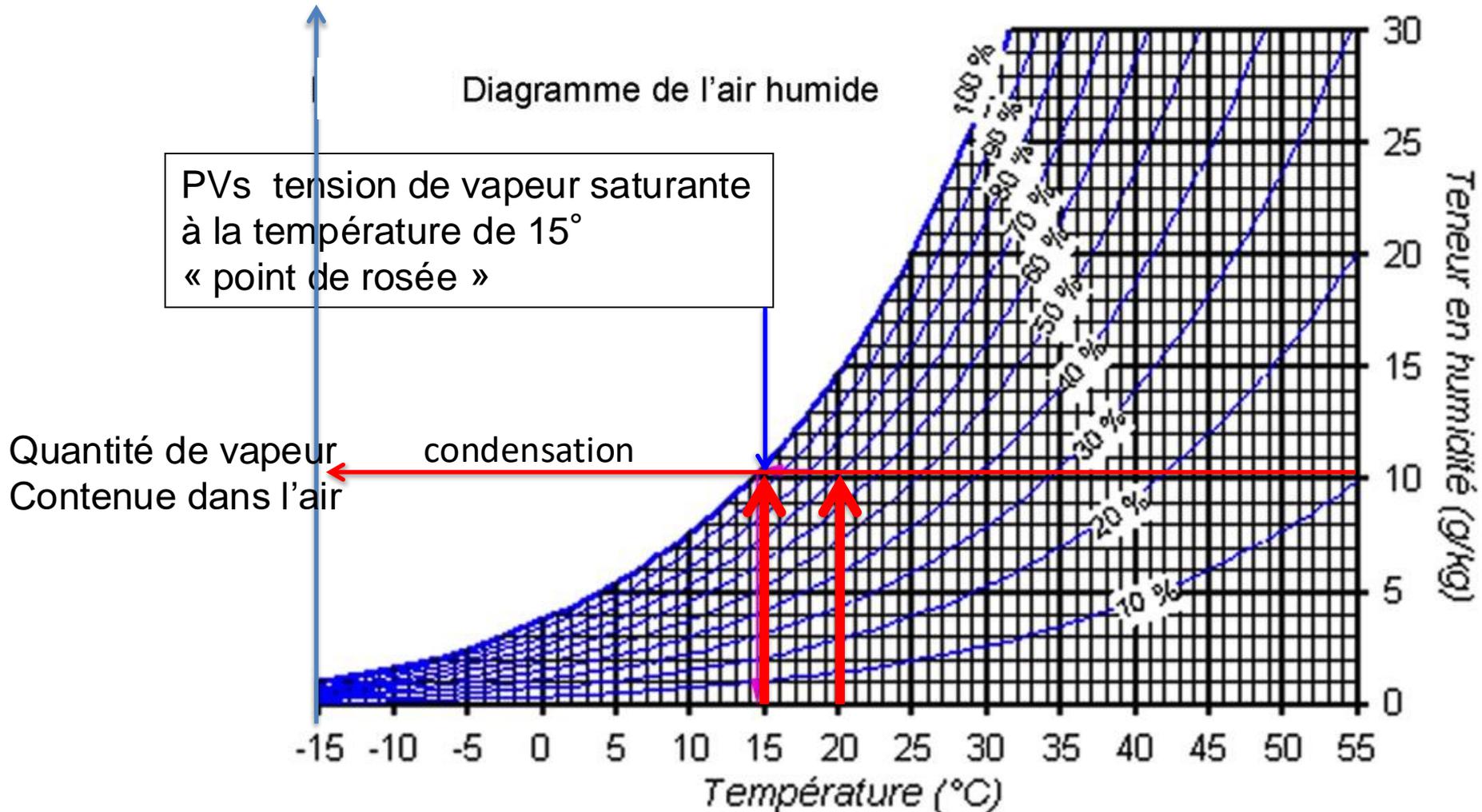
**MUR B**  
mur identique  
mais avec un parement  
en panneaux d'argile  
de 3 cm

**MUR C**  
mur identique au mur A  
mais isolé par l'extérieur

Dans tous les cas attention à la condensation

Comme l'isolant réduit la fuite thermique il y a une chute de température interne à l'isolant qui provoque la condensation de la vapeur d'eau en excès.

## Dans tous les cas attention à la condensation



# Dans tous les cas attention à la condensation

Diagramme de Mollier

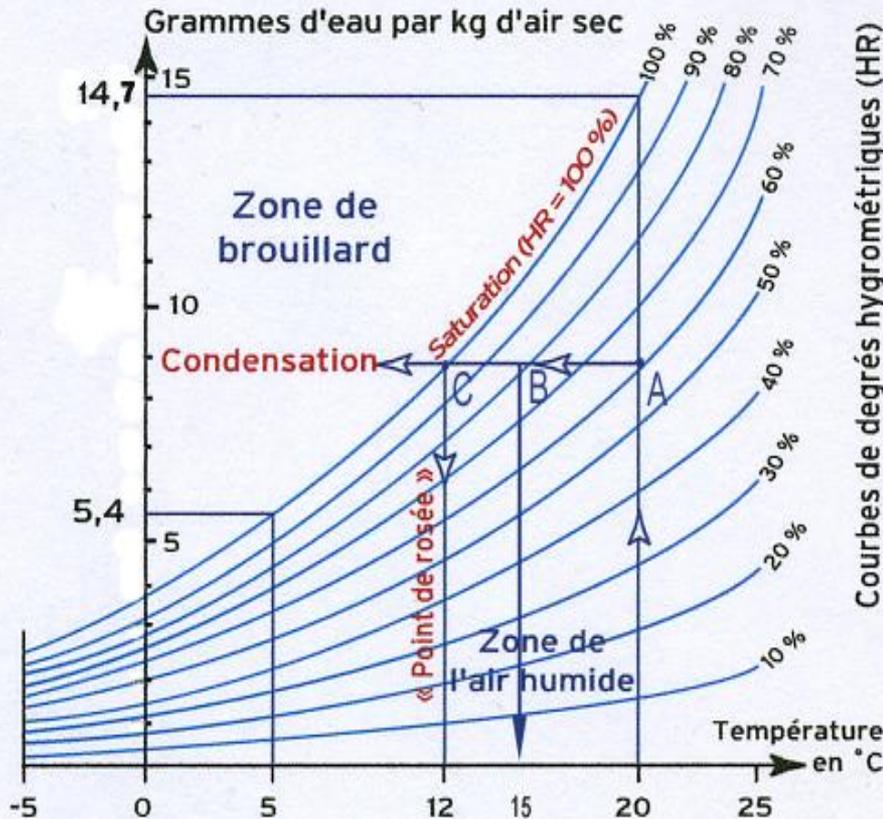
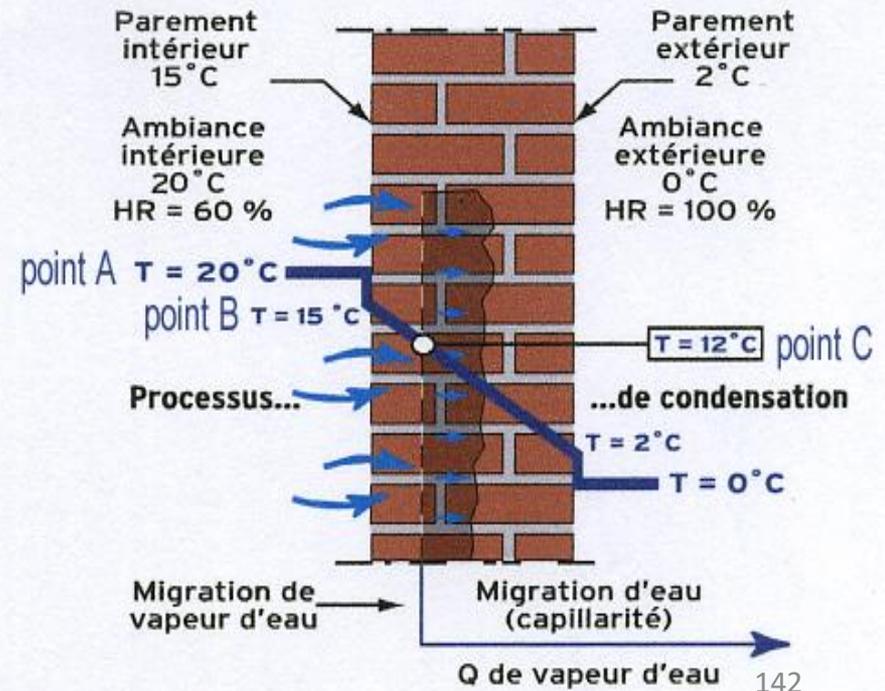


Fig.4

## Condensations internes dans un mur dont les parements sont soumis à des conditions différentes



## Intérêt du frein vapeur?

Il y a nécessité d'éviter cette condensation par frein vapeur ou avec isolant ayant un  $S_d$  et une capillarité «  $\mu$  » suffisants

Le  $S_d$ , résistance à la diffusion de vapeur d'eau ou perméance, d'une paroi d'épaisseur «  $e$  » se définit par

$$S_d = \mu \times e, \text{ en } m$$

Particulièrement important pour les isolants transparents à la vapeur d'eau comme les laines de verre et de roche.

Mais inconvénients majeurs dans le bâti ancien

-> frein à l'évaporation de l'humidité remontée dans le mur par capillarité.

-> suppression de la régulation hydrique naturelle des enduits chaux, plâtre ou terre

## Intérêt du frein vapeur?

*Frein vapeur simple: Sd inférieur à 10 m, généralement de 2 à 5*

*Freins vapeur hygro-variables: Sd qui varie de 0,2 (été) à 5m (hiver)*

Les isolants préconisés pour le bâti ancien jouent eux mêmes un certain rôle de frein vapeur:

- *Fibre de bois de 15 cm,  $\mu$  de 5 et Sd = 0,75*
- *Béton cellulaire de 20  $\mu$  de 8 et Sd = 1,6*
- *Enduit chaux chanvre de 15 cm  $\mu$  de 12 et Sd = 1,8*

*En outre ce sont des matériaux capillaires qui évacuent l'humidité.*

Par contre la laine de verre ou de roche nécessitent un frein vapeur

- *Laine de verre ou de roche (10 cm)  $\mu$  de 1,1 à 1,8 Sd = 0,11 à 0,18*

-> isoler les murs contre la chaleur

Leur matériau constructif confère aux murs traditionnels un fort déphasage et un fort amortissement,

Ils n'ont besoin d'aucun ajout pour le confort d'été.

Ils sont moindres pour les murs en matériaux Industriels.

mais ces murs n'ont aucune qualité isolante  
Pour l'hiver ...

Matériau	$\lambda$ W/mK	déphasage heures	amortissement mur de 50 cm coefficient
Granit	3,00	8,9	> 8
calcaire dur	2,20	10,6	> 18
calcaire tendre	1,05	13,2	> 20
grès	1,01	12,5	> 20
pisé	1,10	13,5	> 20
agglo béton de 20	1,15	4,2	> 2,5
béton coulé	1,51	4,9	> 2,5
béton cellulaire	0,22	7,1	> 7
béton de chanvre	0,13	6,5	>15

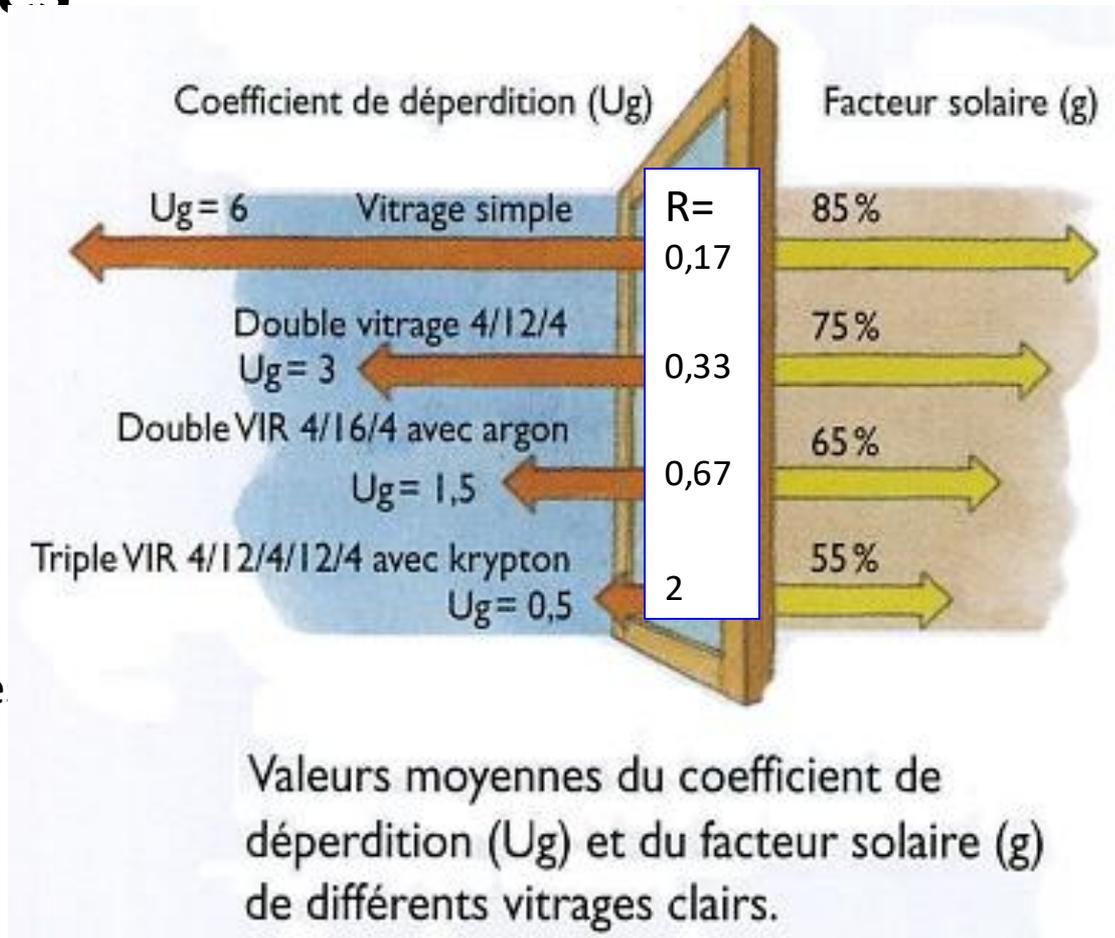
## → isoler les fenêtres

efficacité toute relative

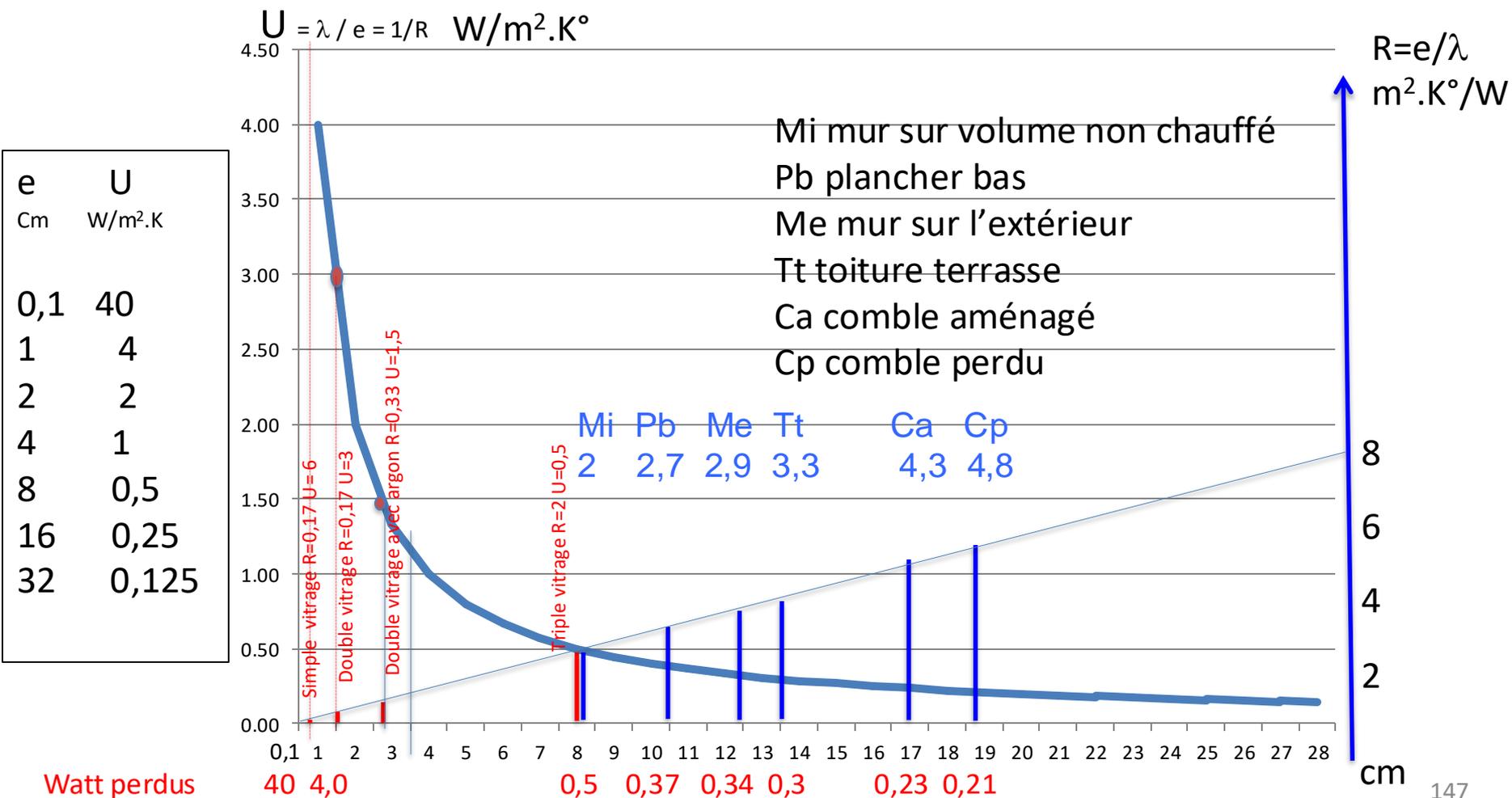
Un compromis entre la perte de chaleur et la perte d'apport solaire.

On ne traitera pas de la même façon les fenêtres au sud et au nord.

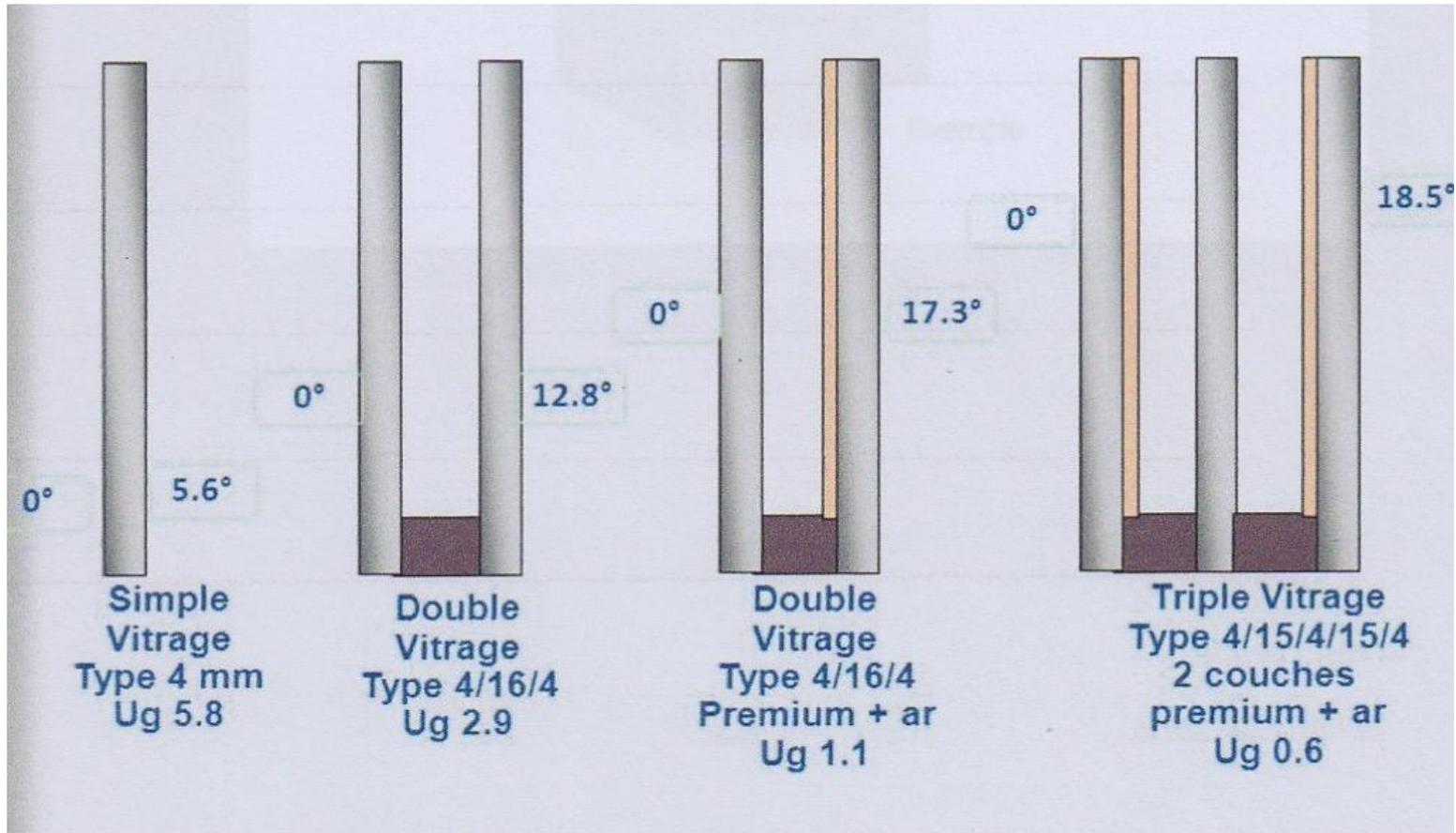
D'ailleurs dans les maisons traditionnelles peu d'ouverture au nord!!



-> les fenêtres isolées restent des passoires thermiques



-> mais elle réduisent l'effet paroi froide



Mais des solutions moins coûteuses existent, les bons vieux rideaux...



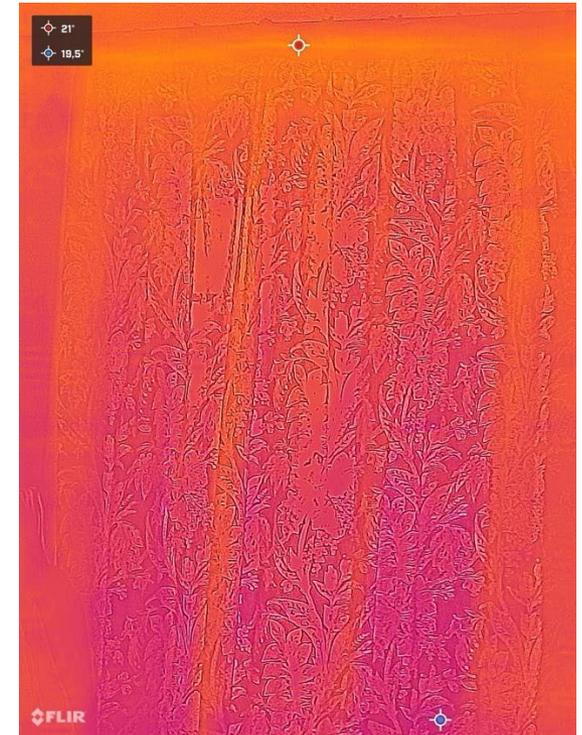
Fenêtre nue

Point froid 12,9 °



fenêtre avec voilage

18,8°



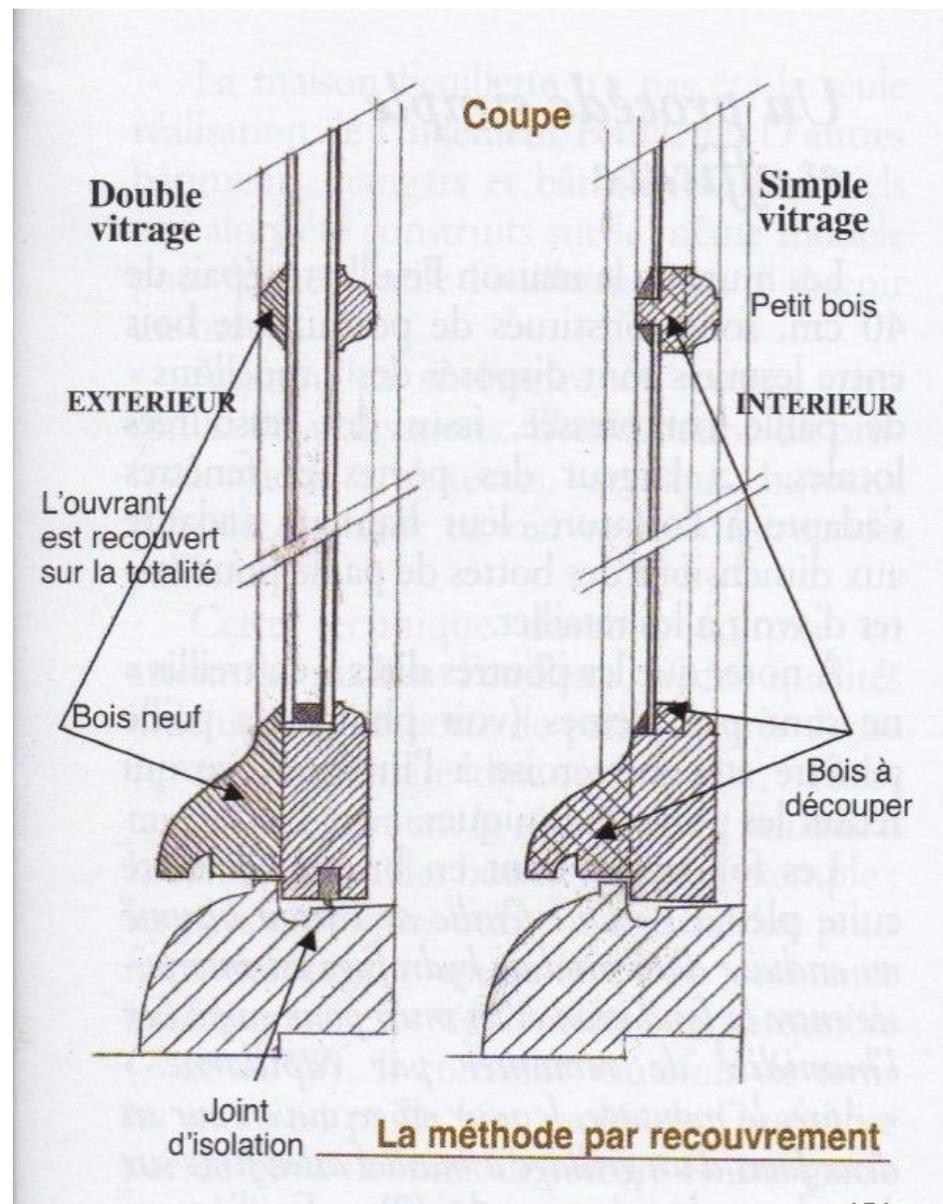
fenêtre avec doubles rideaux

19,5°

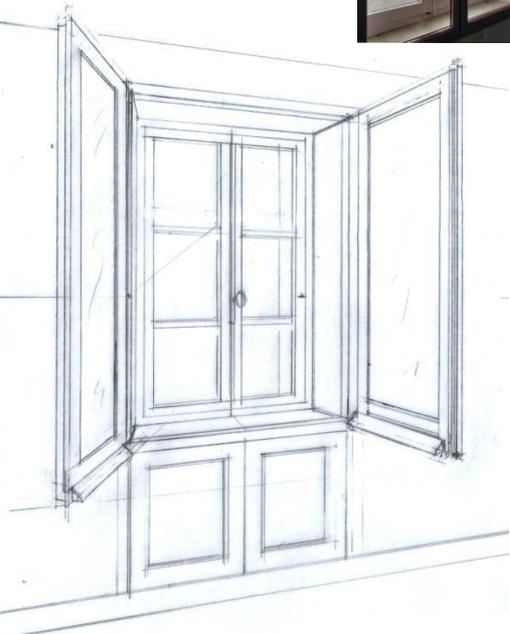
## → Ou insertion de double vitrage dans des châssis anciens

Conserver les fenêtres anciennes en remplaçant les 3 ou 4 carreaux par un vitrage isolant unique dans la feuillure ancienne après avoir supprimé la feuillure des petits bois.

Un nouveau petit bois extérieur, des baguettes de maintien du vitrage et un nouveau rejet d'eau terminent la modification.

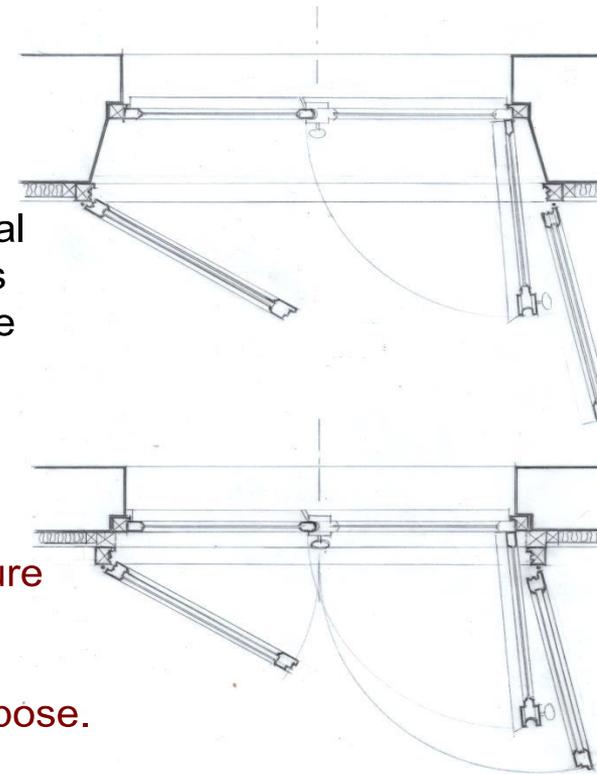


## Possibilité des double fenêtres si l'on veut conserver des fenêtres patrimoniales

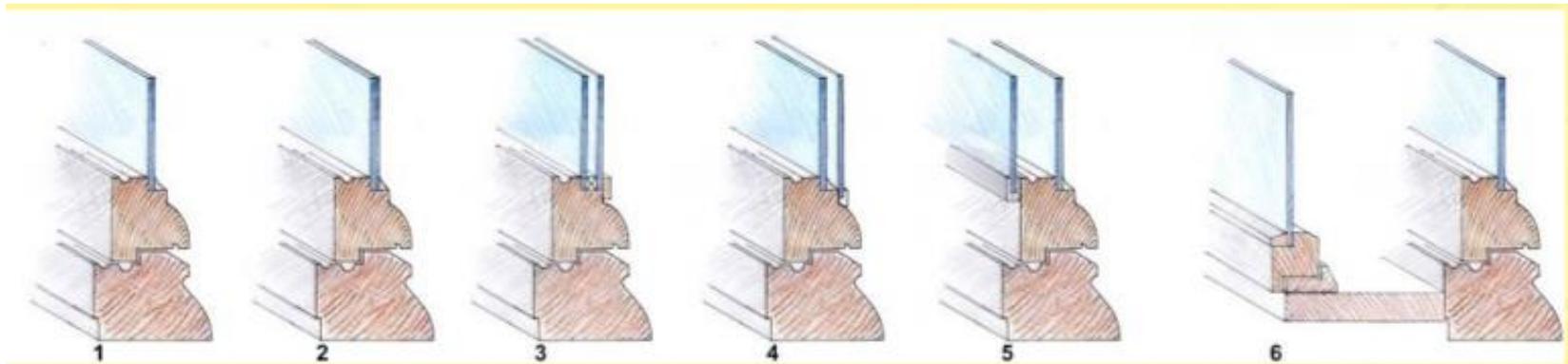


Ce dispositif existe déjà  
Il permet de conserver l'aspect patrimonial  
Les fenêtres existantes sont conservées  
Dans le cas d'un mur épais cela supprime  
le pont thermique en tableau.

S'il existe une allège, le vide de l'embrasure  
peut donner place à une menuiserie.  
Si le vide est occupé par un radiateur  
une tablette complétée d'un déflecteur s'impose.



## Possibilités citées dans le SPR sur les fenêtres existantes



1 simple vitrage actuel

2 vitrage isolant mince

3 double vitrage

4 survitrage extérieur

5 survitrage intérieur

6 double fenêtre intérieure

-> isoler les fenêtres, les protéger par des volets pleins l'hiver

Ils protègent des excès de température la nuit l'hiver (fermés).

Pas de volets roulants non protecteurs du froid et inesthétiques dans le bâti ancien.



-> isoler les fenêtres, les protéger par des volets pleins l'été

Ils protègent des excès de température de jour l'été (entrouverts pour laisser échapper l'air surchauffé).

Pas de volets roulants qui enferment une couche d'air très chaud qui ne peut s'échapper, et inesthétiques dans le bâti ancien.



-> isoler les fenêtres, pour les maisons l'été prévoir une casquette végétale caduque qui mettra les vitres à l'ombre



## → réduire les infiltrations d'air et maîtriser le renouvellement

Le renouvellement d'air est nécessaire, mais les courants d'air sont inconfortables.

Nécessité d'évacuer la vapeur d'eau et l'air vicié par les occupants.

Bâti ancien peu étanche à l'air:

- Huisseries et menuiseries peu jointives
- Hourdage faiblement étanche à l'air
- Cheminée à feu ouvert ...

-> des améliorations sont nécessaires sur l'étanchéité, mais...

## -> réduire les infiltrations d'air et maîtriser le renouvellement

Les matériaux du bâti ancien (chaux, plâtre, terre) sont des régulateurs hydriques de par leur perméance si on ne les rend pas étanches (peintures, enduits,...).

On peut gérer l'excès d'humidité, au moment de l'émission, par des extracteurs temporisés (salle d'eau, cuisine, WC,...)

Les fuites naturelles dont on aura réduit l'excès contribuent au renouvellement naturel de l'air ambiant.

VMC ou pas VMC?

-> VMC ou non? Quelques chiffres pour réfléchir..;

Un homme respire 12 m<sup>3</sup> par jour, une famille de 4 -> 48 m<sup>3</sup> de l'air de la maison (s'il ne sortent jamais).

Une maison de 4 pièces de 100 m<sup>2</sup> sur 2,5m de plafond a un volume de 250 m<sup>3</sup>.

La VMC pour respecter la norme doit extraire 90 à 210 m<sup>3</sup>/h (mini/nominal) soit 2140 à 5040 m<sup>3</sup>/jour,

-> 8 à 20 fois le volume de la maison...

-> 45 à 105 fois l'air frais nécessaire aux habitants.....

Est-ce bien raisonnable?

## la VMC l'hiver

Elle vide 8 à 20 fois l'air que l'on a chauffé à 19 ou 20°...

Il faudrait ne la faire fonctionner qu'aux heures les moins froides de la journée et la couper le reste du temps.

Avec la VMC double flux on limite les pertes, mais elle est difficile à installer dans le bâti ancien.

## la VMC l'été

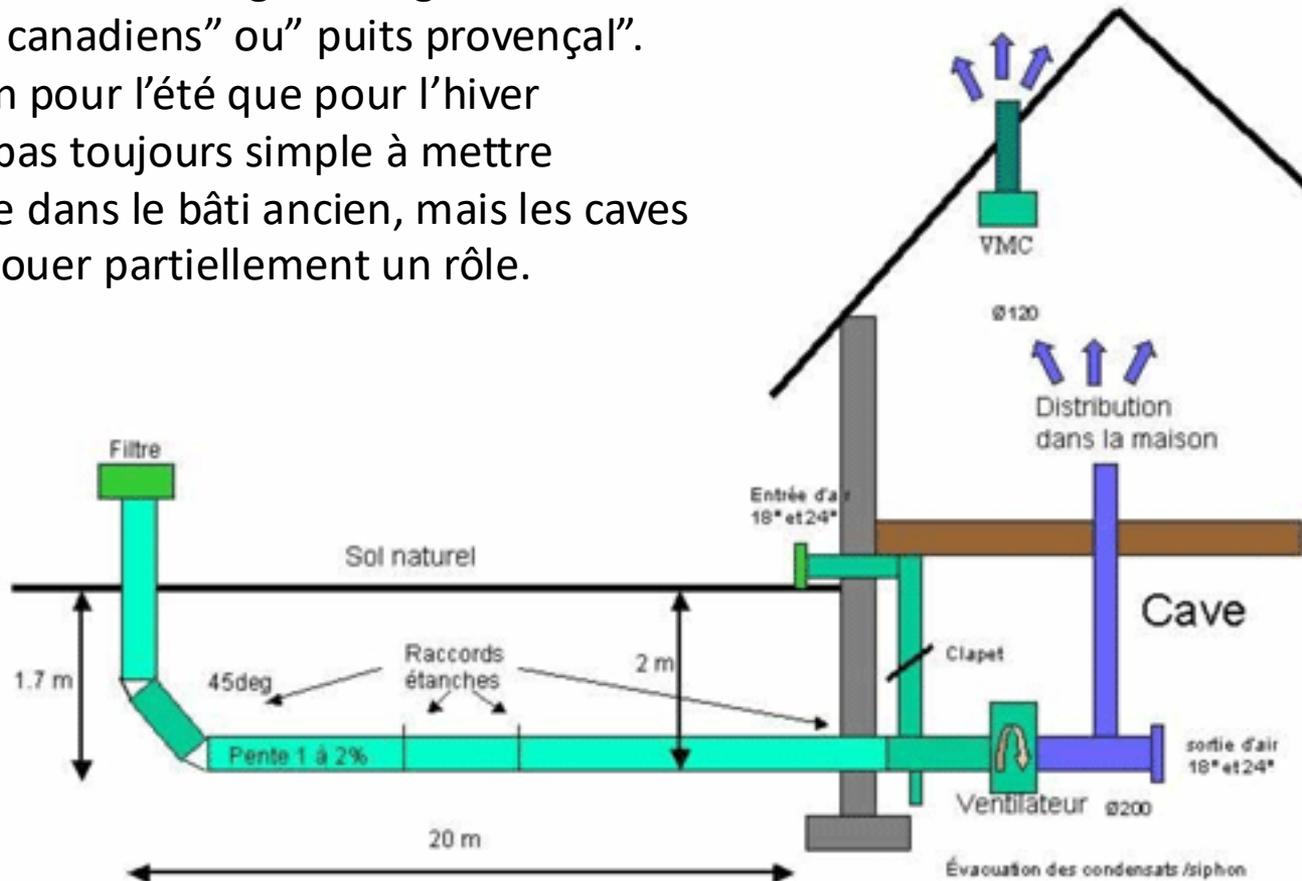
Elle remplace 8 à 20 fois l'air intérieur par l'air extérieur surchauffé

Il faudrait ne la faire fonctionner qu'aux heures fraîches de la nuit entre 1h et 6h et la couper le reste de la journée.

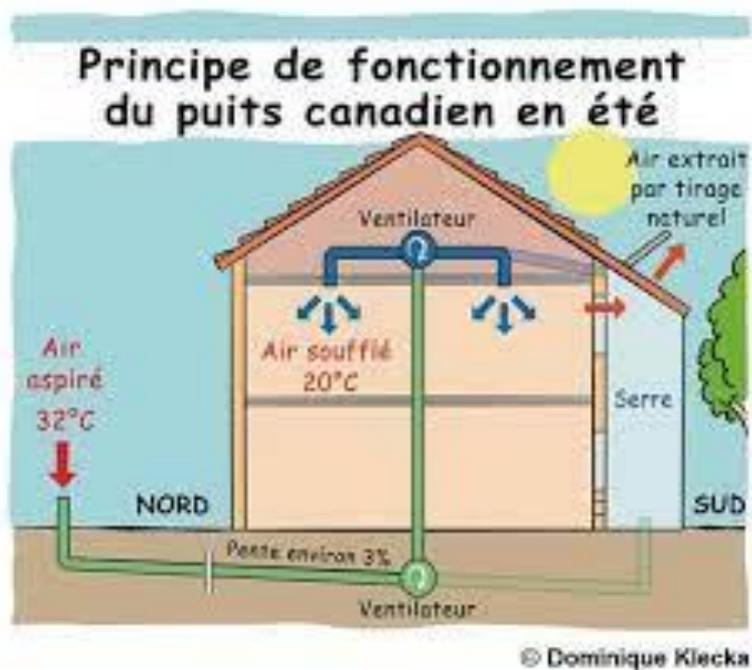
Avec la VMC double flux à chaque cycle l'air intérieur rafraîchi par la nuit croise l'air chaud extérieur et de cycle en cycle l'air intérieur finit par atteindre la température de l'air extérieur.

Il faudrait la couper le jour et la faire fonctionner en flux direct pendant les heures fraîches, mais toutes les VMC double flux ne le permettent pas.

Il faudrait aussi envisager l'usage de "puits canadiens" ou " puits provençal".  
Aussi bien pour l'été que pour l'hiver  
Solution pas toujours simple à mettre en oeuvre dans le bâti ancien, mais les caves  
Peuvent jouer partiellement un rôle.



## Puits canadien l'été et l'hiver



On pourrait peut être envisager d'ouvrir soi même sa fenêtre régulièrement, aux moments opportuns sans faire appel à des artefacts consommateurs d'énergie.

Non?

# Conclusions

## conclusions

Chaque bâti ancien est spécifique, même si dans un même secteur on a une certaine similarité, c'est pourquoi il est illusoire, voire déraisonnable, de vouloir lui appliquer des normes faites pour les bâtiments contemporains dont les modes constructifs et les matériaux sont totalement standardisés et homogènes sur tout le territoire.

Chaque bâti ancien nécessite donc une analyse propre pour lui adapter les interventions qui lui conviennent, faute de quoi on y risquera d'y créer des désordres.

## conclusions

En outre ce bâti offre déjà une certaine capacité d'isolation contre le froid et contre la chaleur qu'il faut prendre en compte pour adapter de façon appropriée les compléments à lui appliquer pour accroître sa performance.

Il faut penser conjointement isolation hivernale et estivale car certains isolants traitent les deux sujets en même temps alors que beaucoup d'autres, les plus courants malheureusement, ne sont efficaces que pour l'un et pas pour l'autre.

## conclusions

Enfin il faut penser à la fois confort, économies d'énergie et moindre émission de CO<sup>2</sup> car chacun peut contribuer directement à l'autre ou au contraire lui nuire:

- Par exemple traiter l'effusivité des parois froides supprime la nécessité de pousser le thermostat.
- Par exemple supprimer les courants d'air qui font fuir la chaleur rendra le bâti plus confortable.
- Ou au contraire par exemple remplacer une chaudière fioul par une pompe à chaleur sans avoir isolé le bâti.
- Ou par exemple choisir l'isolant sans regarder son énergie grise.

Merci de votre attention

A votre disposition pour vos questions ou remarques