

**maisons<sup>®</sup>  
paysannes  
de france**



FONDATION



DU  
PATRIMOINE

reproduction et

# Connaître le fonctionnement du bâti ancien



*Luc Van Nieuwenhuyze*

**maisons  
paysannes  
de france**

# Connaître le fonctionnement du bâti ancien

- **Définitions préalables**
- Transferts hydriques et thermiques dans le bâti ancien
- La mécanique: fondation, équilibre des structures, report de charges

1

## Définitions préalables



**Consommation énergétique**



**Confort thermique**



**Propriétés thermiques  
des matériaux**



- Résistance
- Transmission
- Capacité
- Inertie
- Effusivité



**Propriétés hygrométriques  
des matériaux**



- Résistance à la vapeur d'eau
- Hygroscopicité
- Capillarité
- Frein vapeur # pare vapeur

# 1 Définitions préalables

## La consommation énergétique

S'EXPRIME CLASSIQUEMENT EN kWh/m<sup>2</sup>.an

le confort  
thermique

*Attention, toujours préciser:*

quels sont les postes inclus?

chauffage, ECS, éclairage, auxiliaires, rafraîchissement...

propriétés  
thermiques  
des matériaux

quel est le type d'énergie?

primaire ou finale

propriétés  
hygrométriques  
des matériaux

quelle est la surface considérée?

SHON, SU, SHAB, SRT...



# 1 Définitions préalables

## La consommation énergétique

### Définition au sens de la RT « existant »

le confort  
thermique

Elle exprime, en énergie primaire divisée par la SHON,  
*(amenée à être remplacée par la surface thermique définie par la RT2012)*

l'énergie consommée annuellement dans le bâtiment  
pour les postes suivants:

**chauffage, ECS, éclairage, rafraîchissement, auxiliaires**

$$C_{ep} = C_{\text{chauffage}} + C_{\text{ECS}} + C_{\text{éclairage}} + C_{\text{rafraîchissement}} + C_{\text{aux}}$$

propriétés  
thermiques  
des matériaux

propriétés  
hygrométriques  
des matériaux

Distinction entre énergie finale  
et énergie primaire (convention)

1 kWh final/fioul = 1.00 kWh primaire  
1 kWh final/gaz = 1.00 kWh primaire  
1 kWh final élec = 2.58 kWh primaire

# 1 Définitions préalables

## La consommation énergétique



### Définition au sens du DPE « logement »

le confort  
thermique

Elle exprime, en énergie primaire divisée par la SHAB, l'énergie consommée annuellement dans le bâtiment pour les postes suivants:

**chauffage, ECS, éclairage, rafraîchissement**

$$C_{DPE} = C_{\text{chauffage}} + C_{\text{ECS}} + C_{\text{rafraîchissement}}$$

propriétés  
thermiques  
des matériaux

propriétés  
hygrométriques  
des matériaux

Distinction entre énergie finale  
et énergie primaire (convention)

1 kWh final/fioul = 1.00 kWh primaire  
1 kWh final/gaz = 1.00 kWh primaire  
1 kWh final élec = 2.58 kWh primaire

## 1 Définitions préalables

# Le confort thermique

consommation  
énergétique



« ... état d'esprit exprimant la satisfaction de son environnement.  
Le sujet ne peut dire s'il veut avoir plus chaud ou plus froid »

*FANGER 1972*

« une sensation de bien être physique et mental total »

*EPS Handbook*

« conditions pour lesquelles les mécanismes d'autorégulation  
du corps sont à niveau d'activité minimum »

*GIVONI*

propriétés  
thermiques  
des matériaux

propriétés  
hygrométriques  
des matériaux

# 1 Définitions préalables

## Le confort thermique

consommation énergétique



propriétés thermiques des matériaux

propriétés hygrométriques des matériaux

4

paramètres physiques liés à l'environnement:

Température de l'air

Humidité

Vitesse d'air

Température moyenne de rayonnement

3

paramètres liés à l'individu

Vêtue

Activité

Sensibilité



1 Définitions  
préalables

Le confort thermique

consommation  
énergétique

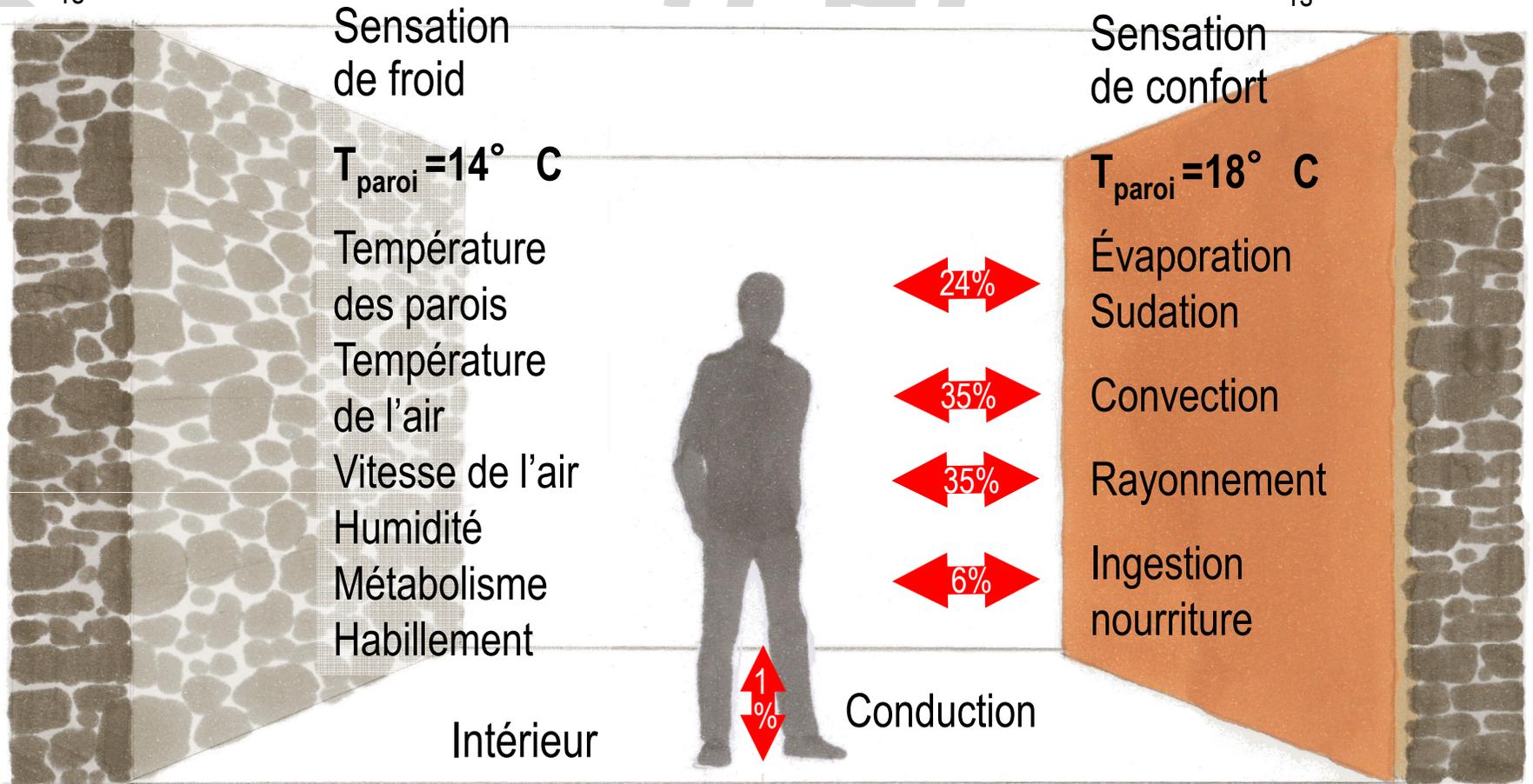


Paroi froide  
 $T_{rs} = 17^\circ \text{C}$

Paroi chaude  
 $T_{rs} = 19^\circ \text{C}$

propriétés  
thermiques  
des matériaux

Extérieur



Extérieur

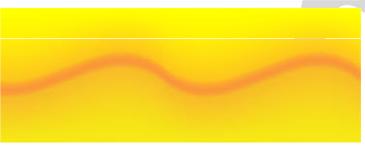
propriétés  
hygrométriques  
des matériaux

$$T^\circ \text{ résultante} = (T^\circ \text{ air} + T^\circ \text{ paroi}) / 2$$

# 1 Définitions préalables

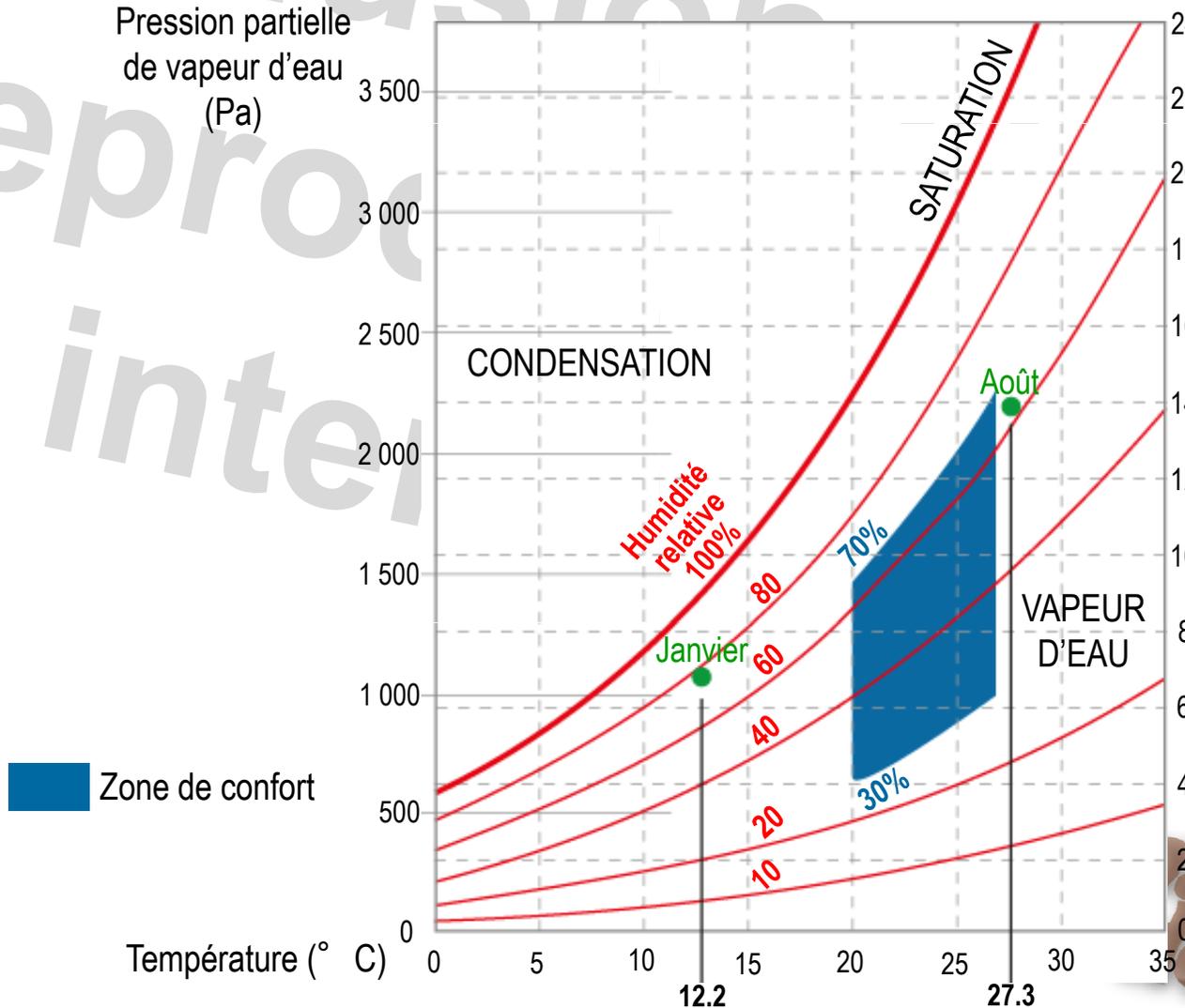
## Le confort thermique

consommation énergétique



propriétés thermiques des matériaux

propriétés hygrométriques des matériaux



**Plage de confort:**

De 19° à 27° C  
entre 30 et 70%  
d'humidité relative

*maisons  
paysannes  
de france*

# 1 Définitions préalables

## Propriétés thermiques des matériaux

consommation énergétique

le confort thermique

propriétés thermiques des matériaux

propriétés hygrométriques des matériaux

1 La **résistance** thermique

ou son inverse,

2 la **transmission** thermique

caractérise la quantité de chaleur traversant le mur

3 La **capacité** thermique

caractérise l'inertie thermique: la capacité du mur à stocker et déstocker la chaleur

4 L'**effusivité** thermique

caractérise la température de rayonnement du mur, qui contribue au confort thermique ressenti

← COEFFICIENT **R**

← COEFFICIENT **U**

← COEFFICIENT **Cp**

← COEFFICIENT **b**

*Maisons paysannes de France*

# 1 Définitions préalables

# La résistance thermique

consommation énergétique

le confort thermique

Dépend de la matière

Dépend de son épaisseur

propriétés thermiques des matériaux

propriétés hygrométriques des matériaux

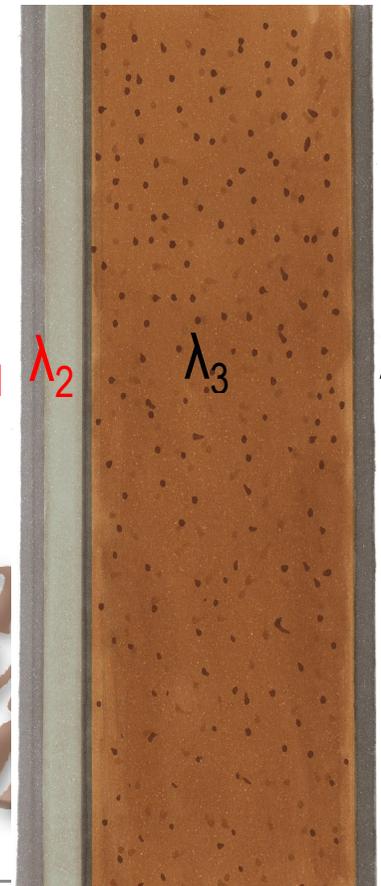
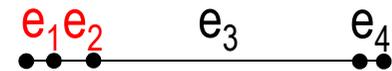
$$R_{th} = \frac{e}{\lambda} \quad R_{thC} = \sum R_{thi} = \sum \frac{e_i}{\lambda_i}$$

$R_{th}$  est la résistance thermique du matériau ( $m^2.K.W^{-1}$ )

$R_{thC}$  est la résistance thermique d'une paroi composite ( $m^2.K.W^{-1}$ )

$e_i$  est l'épaisseur du matériau ( $m$ )

$\lambda_i$  est la conductivité thermique du matériau ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )



ma pay de t

# 1 Définitions préalables

## La transmission thermique

consommation énergétique

le confort thermique

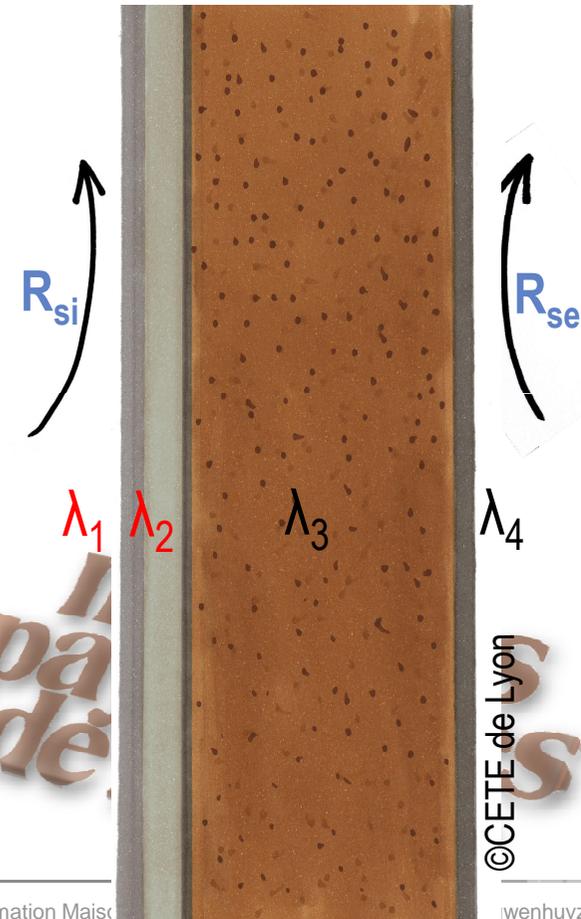
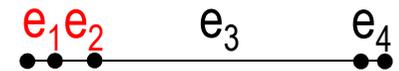
propriétés thermiques des matériaux

propriétés hygrométriques des matériaux

**U** est le coefficient de transmission surfacique ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ )

Il correspond au **flux de chaleur** traversant une paroi de  $1 m^2$  lorsque l'écart de température  $T_i - T_e$  est de  $1^\circ C$ .

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}}$$



$R_{si}$  est la résistance thermique superficielle int. ( $m^2.K.W^{-1}$ )

$R_{se}$  est la résistance thermique superficielle ext. ( $m^2.K.W^{-1}$ )

$e_i$  est l'épaisseur du matériau ( $m$ )

$\lambda_i$  est la conductivité thermique du matériau ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )

# 1 Définitions préalables

## La transmission thermique

consommation énergétique

le confort thermique

propriétés thermiques des matériaux

propriétés hygrométriques des matériaux

**U** est le coefficient de transmission surfacique ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ )

Il correspond au **flux de chaleur** traversant une paroi de  $1 m^2$  lorsque l'écart de température  $T_i - T_e$  est de  $1^\circ C$ .

Paroi très bien isolée	$U < 0.20 W.m^{-2}.K^{-1}$
Paroi bien isolée	$U < 0.35 W.m^{-2}.K^{-1}$
Paroi mal isolée	$U > 0.5 W.m^{-2}.K^{-1}$
Paroi très mal isolée	$U > 2.0 W.m^{-2}.K^{-1}$
Simple vitrage	$U \approx 5.7 W.m^{-2}.K^{-1}$
Double vitrage « base »	$U > 2.5 W.m^{-2}.K^{-1}$
Double vitrage « performant »	$U \approx 2.0 W.m^{-2}.K^{-1}$
Double vitrage « très performant »	$U < 1.2 W.m^{-2}.K^{-1}$
Laine de verre de 10cm, $l = 0.04 W m^{-1} K^{-1}$	$e/l \approx 2.5m^2KW^{-1}$ , $1/r \approx 0.4 W.m^{-2}.K^{-1}$
Laine de verre de 20cm, $l = 0.04 W m^{-1} K^{-1}$	$e/l \approx 5.0m^2KW^{-1}$ , $1/r \approx 0.2W.m^{-2}.K^{-1}$

## 1 Définitions préalables

# La capacité thermique

consommation  
énergétique

le confort  
thermique

propriétés  
thermiques  
des matériaux

propriétés  
hygrométriques  
des matériaux

Elle est notée:

$C_p$  (en J/kg.K)

Elle chiffre la quantité d'énergie qu'il faut donner à 1kg de matériau pour qu'il se réchauffe de 1° C.

Plus la capacité thermique est grande, plus le matériau est capable de stocker l'énergie.

**Utiliser des matériaux à forte capacité thermique revient à augmenter l'inertie du bâtiment.**

Maisons  
paysannes  
de France

# 1 Définitions préalables

## L'inertie thermique

consommation énergétique

le confort thermique

propriétés thermiques des matériaux

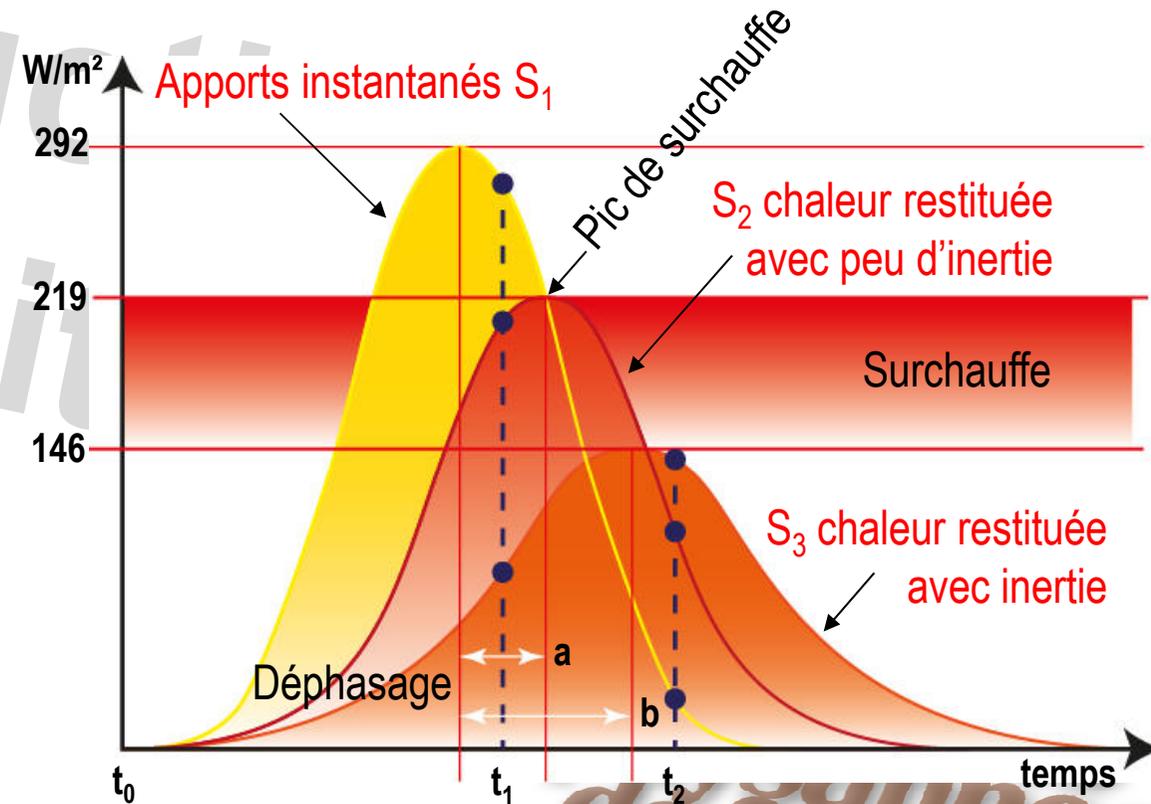
propriétés hygrométriques des matériaux

Elle traduit la capacité d'une paroi (d'un bâtiment) à déphaser et à amortir une sollicitation thermique.

L'inertie est plus forte si la paroi est plus lourde, à isolation similaire  
*exemple: pierre//bois*

L'inertie est plus forte si l'isolation est faite par l'extérieur plutôt que par l'intérieur

*La structure participe plus à l'ambiance thermique intérieure*



# 1 Définitions préalables

## L'effusivité thermique...

consommation énergétique

**...caractérise la capacité du matériau à absorber la chaleur.**

le confort thermique

propriétés thermiques des matériaux

$$b = \sqrt{\rho \cdot C_p \cdot \lambda}$$

en  $J/m^2 \cdot K \cdot s^{1/2}$

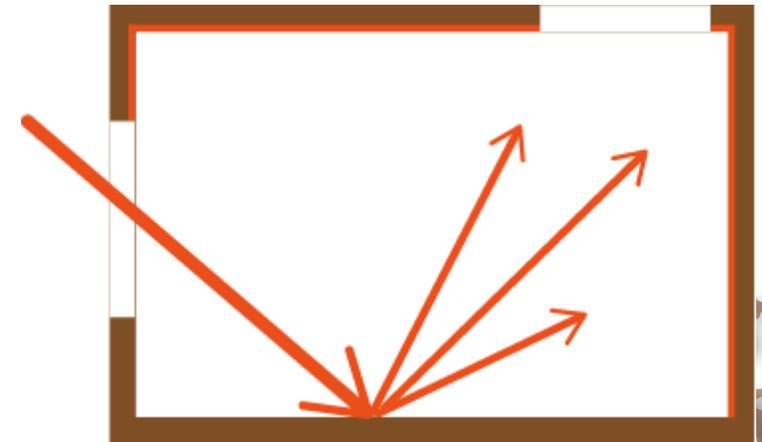
$\lambda$  la conductivité thermique (en  $W/m \cdot K$ )

$\rho$  la masse volumique (en  $kg/m^3$ )

$C_p$  la capacité thermique (en  $J/kg \cdot K$ )

Plus l'effusivité thermique est élevée, plus les murs vont stocker longtemps de la chaleur avant de changer de température.

L'effusivité permet de caractériser la température de rayonnement des parois et donc le confort thermique ressenti.



propriétés hygrométriques des matériaux

# 1 Définitions préalables

## L'effusivité thermique

consommation énergétique

le confort thermique

propriétés thermiques des matériaux

propriétés hygrométriques des matériaux

Effusivité  
(en  $J/m^2.K.s^{1/2}$ )

Métal **14 000**

le métal a une forte effusivité:il est froid au toucher



Matériau lourd **2500**



Terre cuite **1250**



Bois **500**

le bois a une faible effusivité:il parait chaud au toucher

Isolant **25**

maisons paysannes de france

## 1 Définitions préalables

# propriétés hygrométriques des matériaux

consommation  
énergétique

le confort  
thermique

propriétés  
thermiques  
des matériaux

La **résistance à la vapeur d'eau** (coefficient  $\mu$  ou  $S_d$ )  
caractérise la quantité de vapeur d'eau pouvant traverser un mur

L'**hygroscopicité** (teneur en eau de référence  $W_{80}$ )  
caractérise la capacité du matériau à stocker et déstocker l'humidité

La **capillarité** (coefficient d'absorption  $A$ )  
caractérise la capacité du matériau à absorber de l'eau liquide,  
lorsqu'il est mis en contact avec un plan d'eau

**maisons  
paysannes  
de france**

propriétés  
hygrométriques  
des matériaux

# 1 Définitions préalables

## La résistance à la vapeur d'eau

consommation énergétique

le confort thermique

propriétés thermiques des matériaux

La **résistance à la vapeur d'eau** s'exprime selon le coefficient  $\mu$  (-) ou en épaisseur de lame d'air équivalente  $S_d$  (en m)  $S_d = \mu \times e$

Plus  $S_d$  est grand, moins le matériau est perméable à la vapeur d'eau

MATÉRIAUX	ÉPAISSEUR	$\mu$	$S_d$
Air (référence)	1m	1	1m
Plaque de plâtre	13mm	8	0,1m
Laine de verre	150mm	1	0,15m
Enduits (chaux-plâtre)	20mm	10	0,2m
Mortier ciment	20mm	40	0,8m
OSB	18mm	170	3m
Brique	200mm	15	3m
Polystyrène	150mm	40	6m
Pierre calcaire ferme	400mm	40	16m
Béton	200mm	180	36m
Bitume	4mm	60 000	240m



propriétés hygrométriques des matériaux

# 1 Définitions préalables

## Perméabilité à la vapeur d'eau

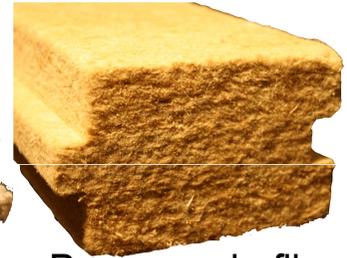
consommation énergétique

le confort thermique

propriétés thermiques des matériaux



Ouate de cellulose



Panneau de fibre de bois

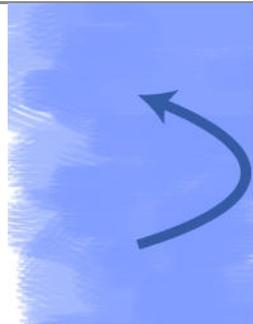


Panneau de liège

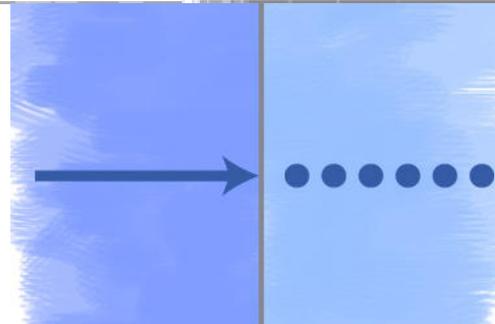


Laine de chanvre

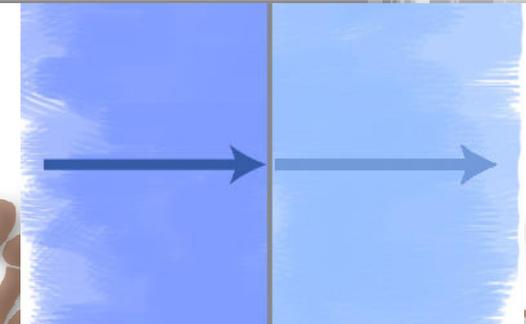
propriétés hygrométriques des matériaux



NON PERMÉABLE À LA VAPEUR D'EAU



PEU PERMÉABLE À LA VAPEUR D'EAU



PERMÉABLE À LA VAPEUR D'EAU

# 1 Définitions préalables

## L'hygroscopicité

consommation énergétique

le confort thermique

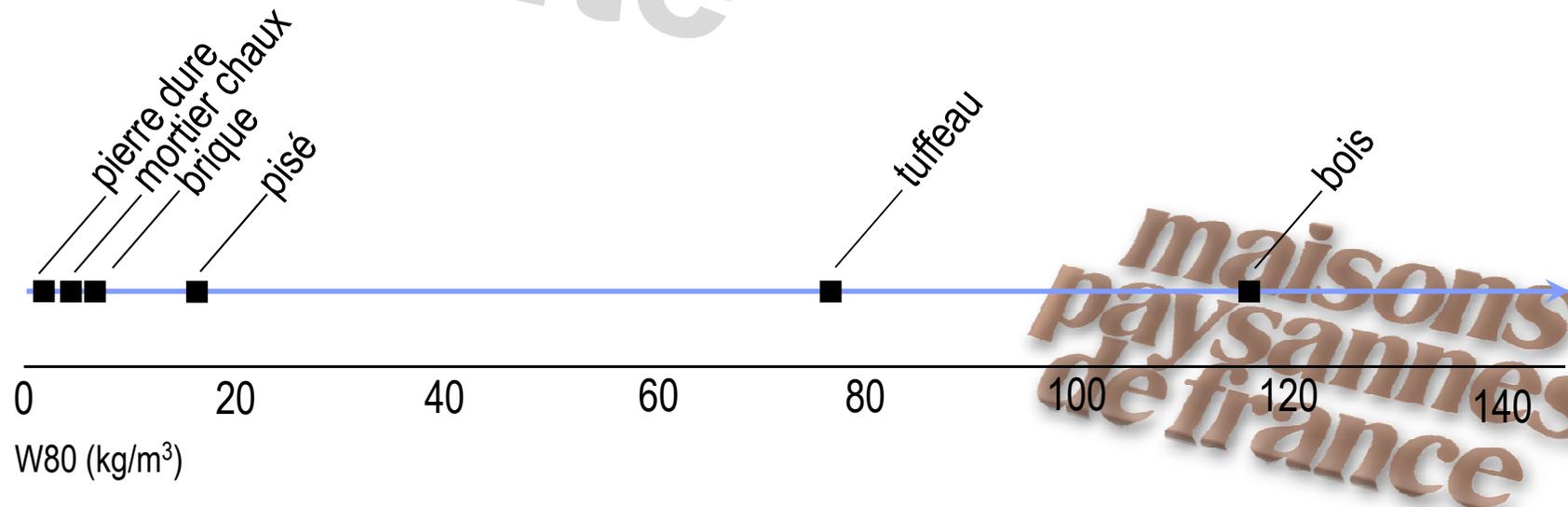
Certains matériaux sont capables de stocker et de déstocker l'humidité lorsque l'humidité relative de l'air varie. On dit qu'ils sont hygroscopiques.

On peut caractériser cette hygroscopicité par le coefficient  $W80$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) = teneur en eau du matériau dans une humidité relative à 80%

**Plus  $W80$  est grand, plus le matériau est hygroscopique.**

propriétés thermiques des matériaux

### Hygroscopicité des matériaux



*maisons paysannes de france*

propriétés hygrométriques des matériaux

# 1 Définitions préalables

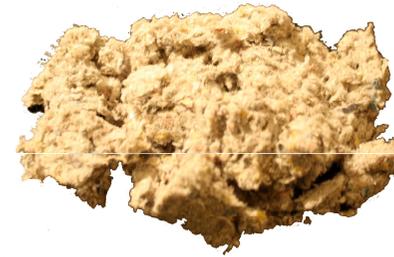
## L'hygroscopicité

consommation  
énergétique

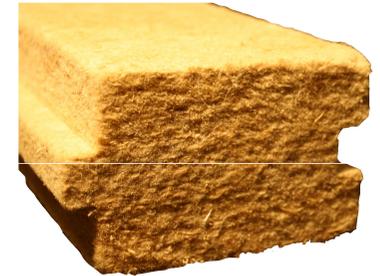
le confort  
thermique



Panneau de liège



Ouate de cellulose



Panneau de fibre de bois

propriétés  
thermiques  
des matériaux



Laine de chanvre

propriétés  
hygrométriques  
des matériaux

NON HYGROSCOPIQUES

*maisons  
paysannes  
de france*  
HYGROSCOPIQUES

# 1 Définitions préalables

## La capillarité

consommation énergétique

le confort thermique

propriétés thermiques des matériaux

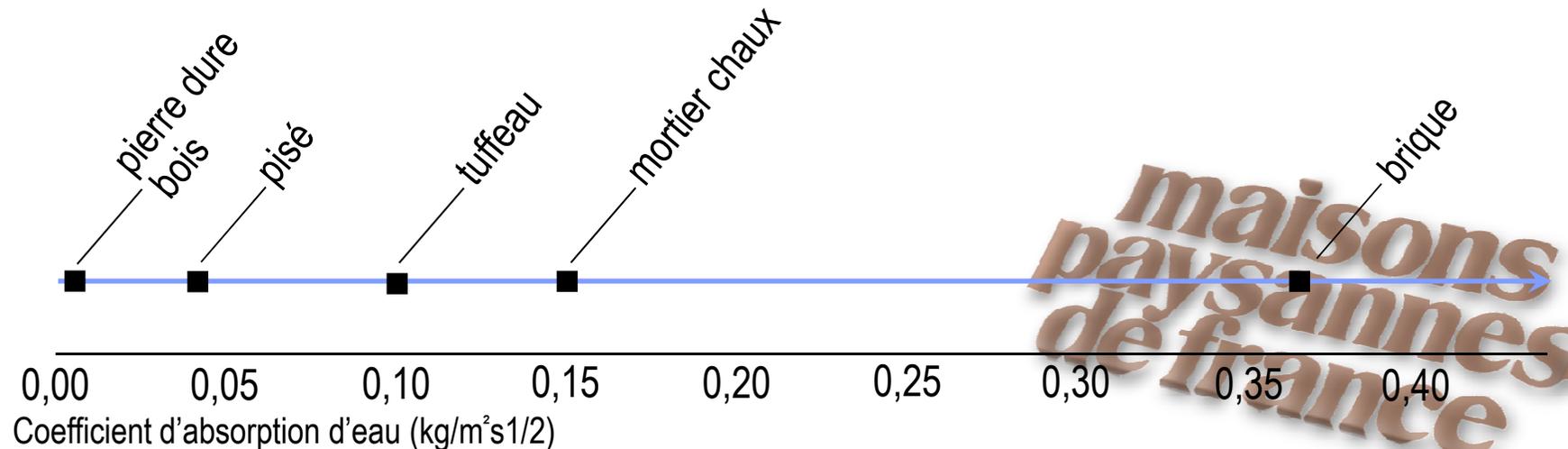
Caractérise la capacité du matériau à absorber de l'eau liquide, lorsqu'il est mis en contact avec un plan d'eau.

On caractérise cette capillarité par le coefficient A ( $\text{kg/m}^2\text{s}^{1/2}$ )

Ce paramètre est, lui aussi, fonction de la nature poreuse du matériau.

**Plus A est grand, plus le matériau est capillaire.**

Capillarité des matériaux



*Maisons paysannes de France*

propriétés hygrométriques des matériaux

## 1 Définitions préalables

# Frein vapeur . Pare vapeur

consommation  
énergétique

### **Différence importante**

le confort  
thermique

#### **Pare vapeur**

*technique conventionnellement utilisée*  
s'apparente à un film polyane complètement  
**étanche à la vapeur d'eau** ( $S_d > 50m$ )

propriétés  
thermiques  
des matériaux

protège les isolants non hygroscopiques (*laines minérales*)  
efficacité très limitée en réalité au niveau des jonctions  
avec les planchers, le passage des réseaux...

#### **Frein vapeur**

*stratégie d'isolation « respirante »*  
**perméable à la vapeur d'eau** ( $S_d$  variable de 3 à 30m)  
régule l'hygrométrie au sein du mur  
particulièrement adapté aux isolants hygroscopiques  
(*laine de chanvre, laine de mouton, ouate de cellulose...*)

**maisons  
paysannes  
de france**

propriétés  
hygrométriques  
des matériaux

# Connaître le fonctionnement du bâti ancien

- Définitions préalables
- **Transferts hydriques et thermiques dans le bâti ancien**
- La mécanique: fondation, équilibre des structures, report de charges

*maisons  
paysannes  
de france*

# 3

## Analyse scientifique par élément

les parois opaques

équilibre hygrothermique

sensibilité à l'humidité

propriétés d'inertie

variabilité du coefficient  $u$

effet de paroi froide

conclusion

les liaisons

perméabilité à l'air

les ouvertures

les occupants



### PRINCIPALES PROPRIÉTÉS DES PAROIS OPAQUES ANCIENNES

Leur sensibilité à l'humidité

Leur forte capacité thermique  
(*propriétés d'inertie du bâtiment*)

La variabilité de leur coefficient  
de déperdition **U**



3

Sensibilité à l'humidité

les parois opaques

équilibre hygrothermique

sensibilité à l'humidité

propriétés d'inertie

variabilité du coefficient u

effet de paroi froide

conclusion

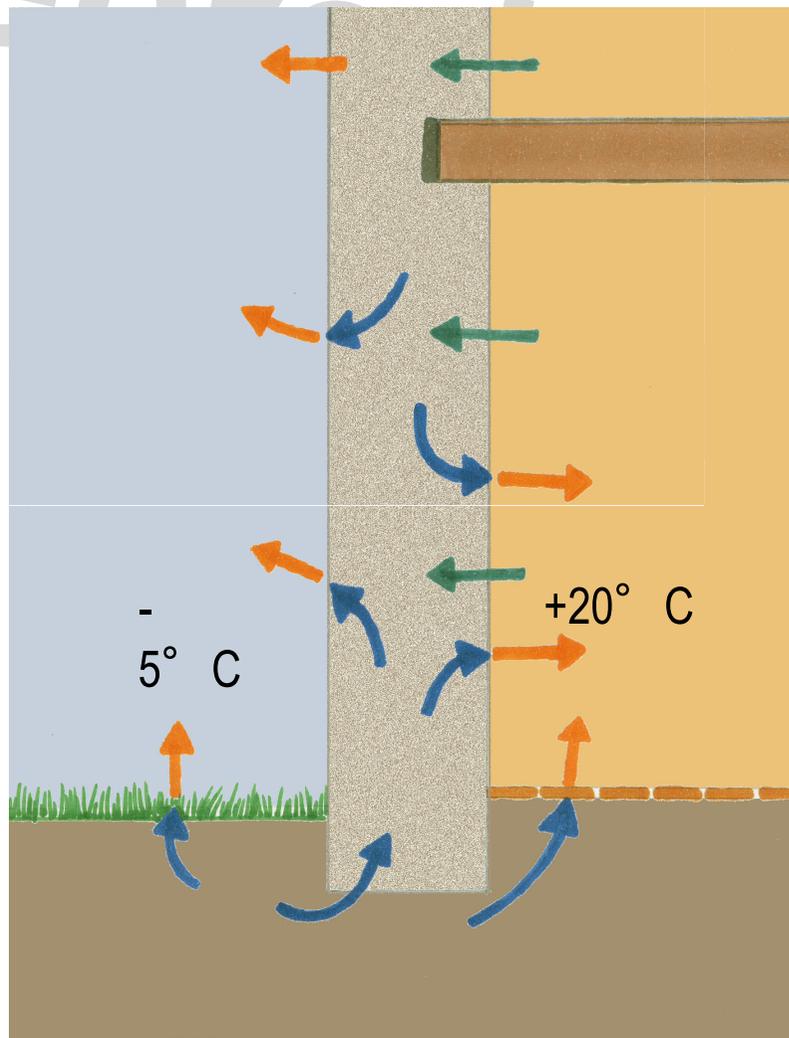
les liaisons

perméabilité à l'air

les ouvertures

les occupants

UN MUR ANCIEN EST EN ÉQUILIBRE HYGROTHERMIQUE



- évaporation
- humidité ascensionnelle
- condensation

Si cet équilibre est perturbé, lors d'une réhabilitation, l'accumulation d'humidité va poser des problèmes.

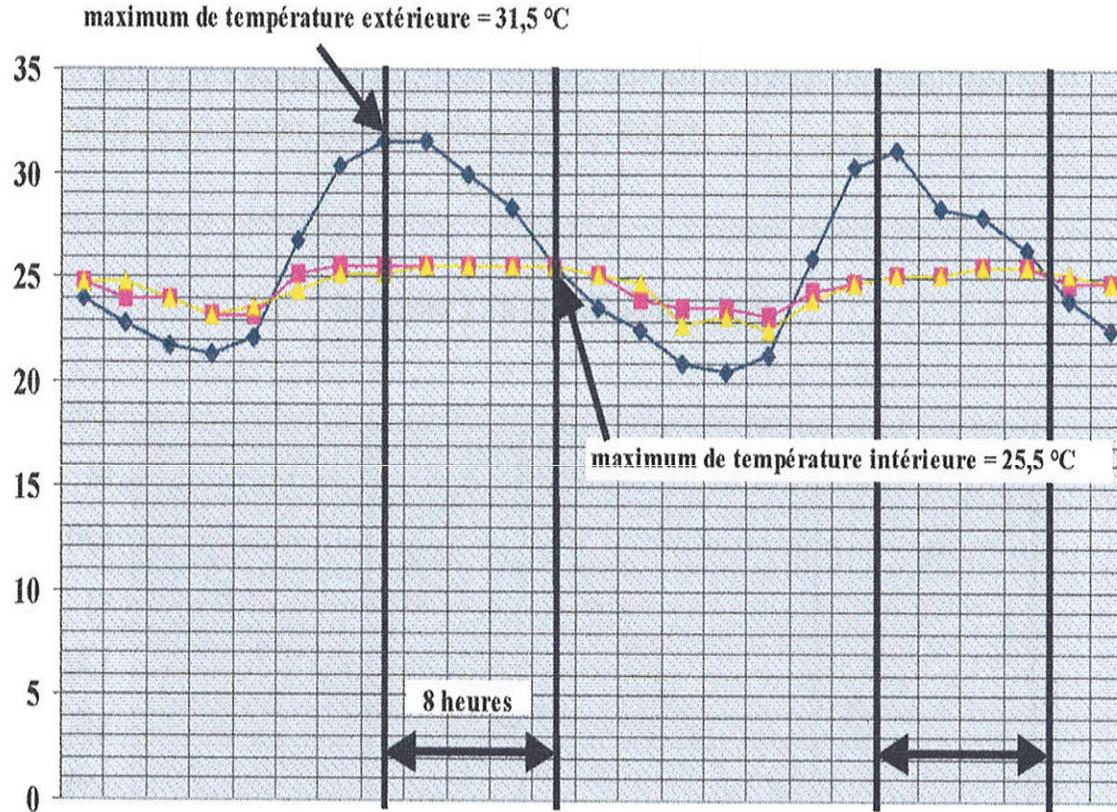
Maisons Paysannes de France

Sensibilité à l'humidité		Diffusivité thermique	Effusivité thermique	Résistance thermique	Déphasage temporel	Facteur de résistance à la vapeur d'eau
les parois opaques						
équilibre hygrothermique	granit	3,9	2698	0,18	6h30	10000
sensibilité à l'humidité	basalte et gneiss	4,4	3158	0,14	5h30	10000
	marbre	4,5	3130	0,14	5h30	10000
	grès dur	3,2	2445	0,22	8h	40
propriétés d'inertie	calcaire extra dur	3,2	2445	0,22	8h	250
variabilité du coefficient u	ardoise et schiste	3,3	2298	0,23	7h30	1000
	brique terre cuite pleine	2,2	1265	0,5	11h30	40
effet de paroi froide	calcaire tendre	2,2	1407	0,45	11h30	40
conclusion	terre crue (adobe)	1,9	1100	0,63	13h20	10
les liaisons	calcaire extra tendre	1,9	1160	0,59	13h20	30
perméabilité à l'air	pierre poreuse nat., lave	1,2	938	0,91	21h10	20
	bois	0,58	449	1,11	7h	200
les ouvertures	béton moyen	2,3	1438	0,17	1h45	100
les occupants	béton haute densité	3	2190	0,1	1h20	130

3

Propriétés d'inertie

EXEMPLE D'INERTIE TRÈS FORTE



Bâtiment à structure lourde :

- Cave voûtée
- Façade porteuse : e=60 à 90cm
- Refends intérieurs : e = 60 à 90cm

*Maisons paysannes de France*

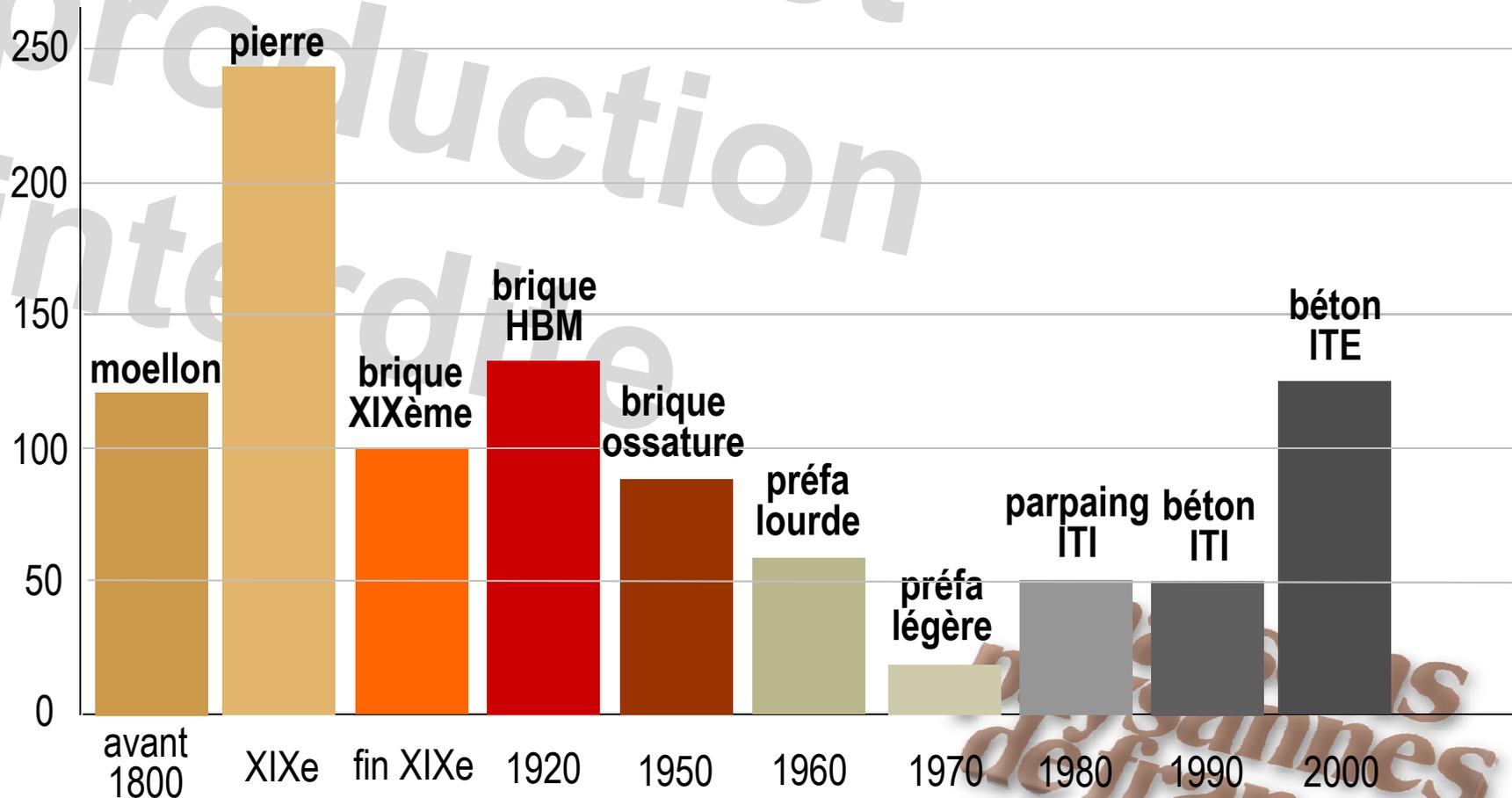
- les parois opaques
- équilibre hygrothermique
- sensibilité à l'humidité
- propriétés d'inertie**
- variabilité du coefficient u
- effet de paroi froide
- conclusion
- les liaisons
- perméabilité à l'air
- les ouvertures
- les occupants

**3**

**Propriétés d'inertie**

- les parois opaques
- équilibre hygrothermique
- sensibilité à l'humidité
- propriétés d'inertie**
- variabilité du coefficient u
- effet de paroi froide
- conclusion
- les liaisons
- perméabilité à l'air
- les ouvertures
- les occupants

SELON LES TECHNIQUES CONSTRUCTIVES



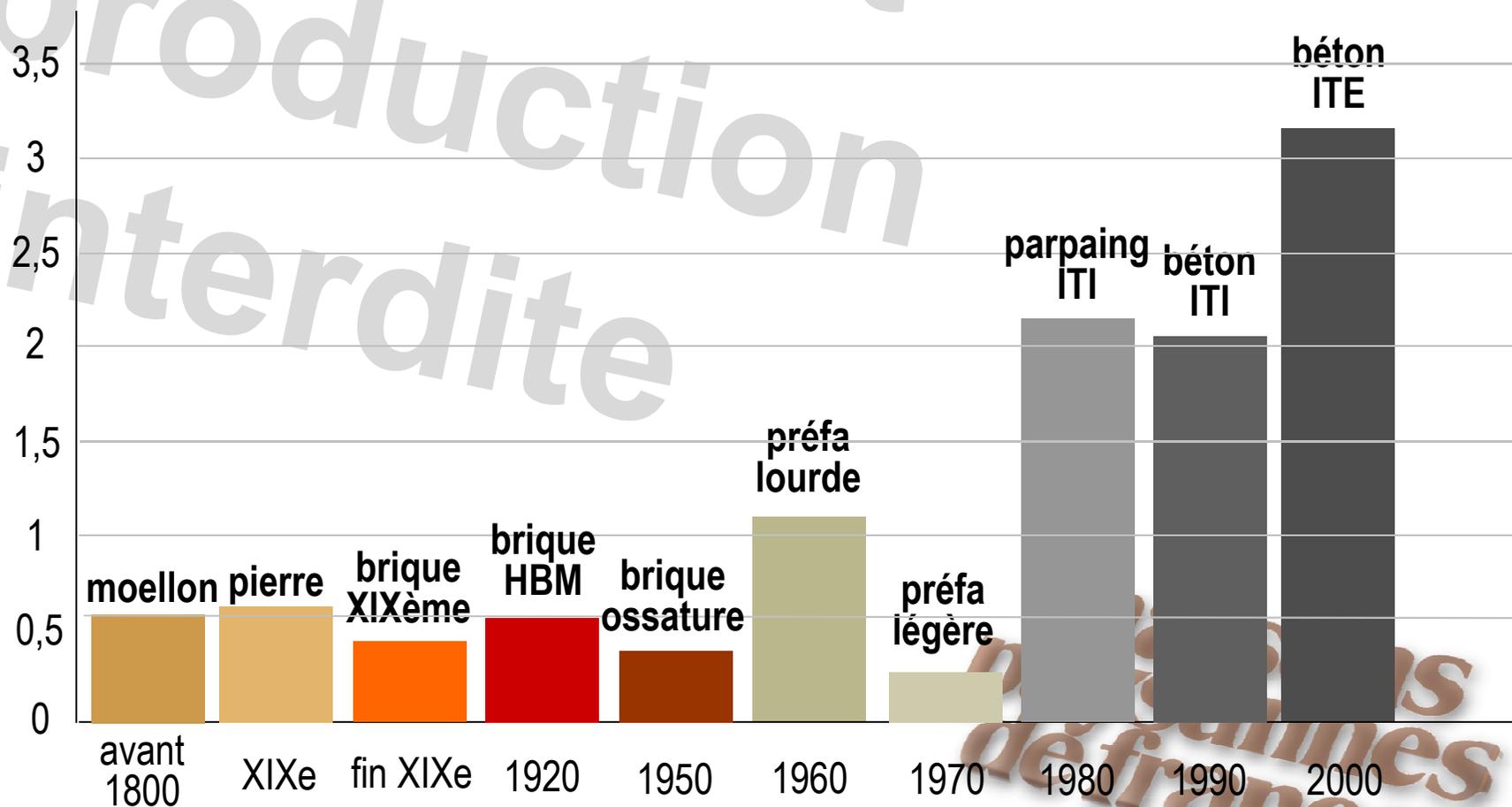
Source: APUR

**3**

**Variabilité du coefficient U**

- les parois opaques
- équilibre hygrothermique
- sensibilité à l'humidité
- propriétés d'inertie
- variabilité du coefficient u**
- effet de paroi froide
- conclusion
- les liaisons
- perméabilité à l'air
- les ouvertures
- les occupants

**LES RÉSISTANCES THERMIQUES DES PAROIS SELON LES MODES CONSTRUCTIFS**



Source: APUR

3

Variabilité du coefficient U

les parois opaques

équilibre hygrothermique

sensibilité à l'humidité

propriétés d'inertie

variabilité du coefficient u

effet de paroi froide

conclusion

les liaisons

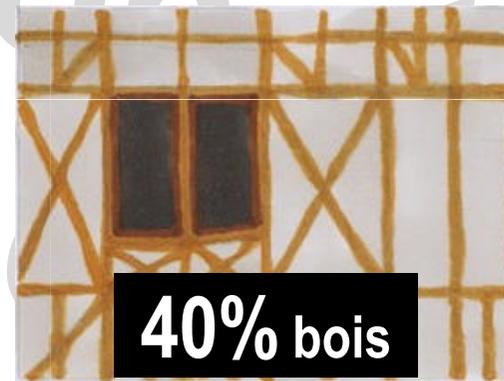
perméabilité à l'air

les ouvertures

les occupants

Le coefficient **U** d'une paroi ancienne est variable:

- ▶ en fonction des assemblages (structure / remplissage)
- ▶ en fonction de la teneur en eau



40% bois



70% bois

U(W/(m².K))

torchis 15cm w=1	1,81	1,63
torchis 15cm w=2	1,91	1,71
torchis 15cm w=4	2,08	1,85
torchis 20cm w=1	1,5	1,34
torchis 20cm w=2	1,6	1,42
torchis 20cm w=4	1,76	1,55
pierres 15cm	2,44	2,17
pierres 20cm	2,14	1,87
briques 15cm	2,32	2,01
briques 20cm	1,99	1,71

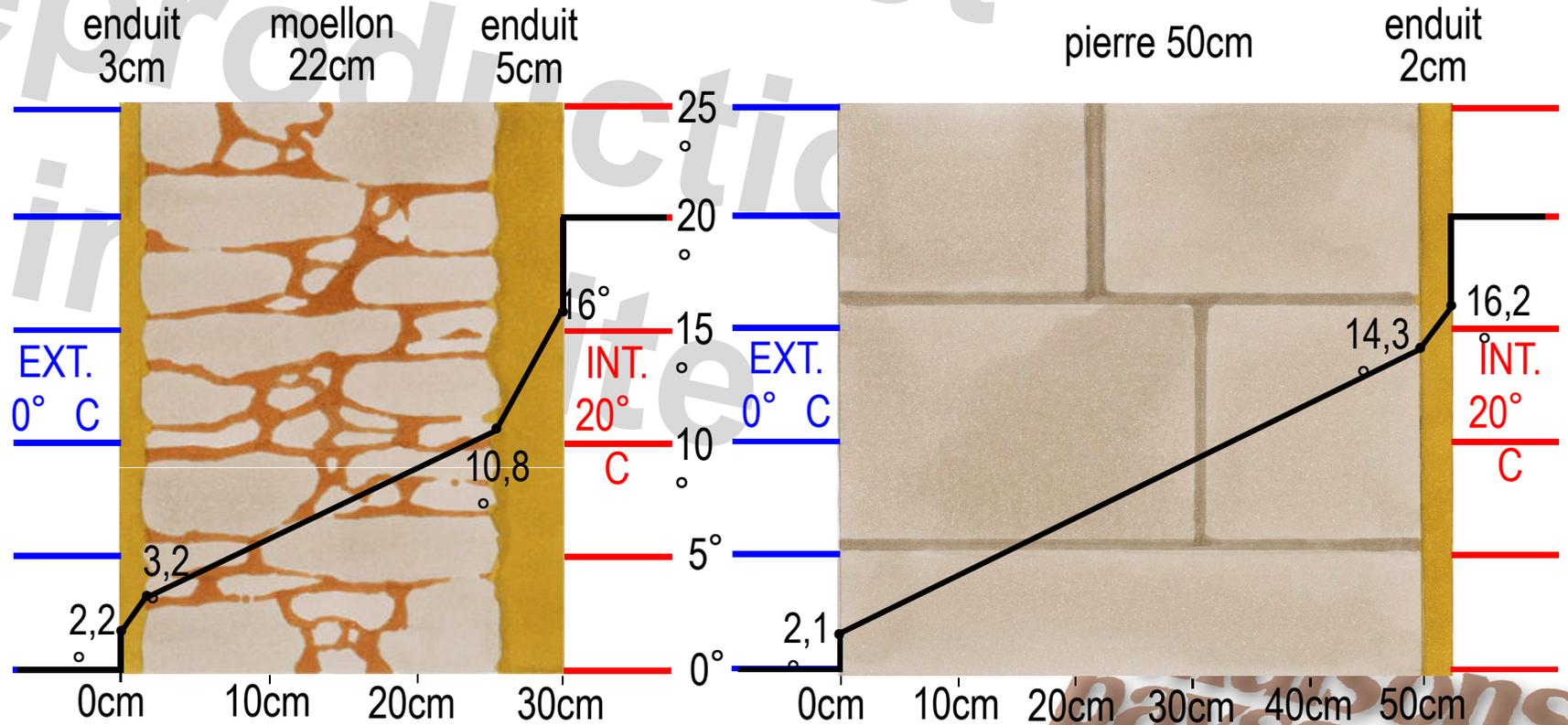
Maisons paysannes de France

**3**

**Effet de paroi froide**

**Importance de l'enduit intérieur**

- les parois opaques
- équilibre hygrothermique
- sensibilité à l'humidité
- propriétés d'inertie
- variabilité du coefficient u
- effet de paroi froide**
- conclusion
- les liaisons
- perméabilité à l'air
- les ouvertures
- les occupants



EFFET DE PAROI FROIDE SUR UN MUR DE 30CM EN MOELLON

EFFET DE PAROI FROIDE SUR UN MUR DE 50CM EN PIERRE

3

## Conclusion sur les parois opaques

les parois opaques

équilibre hygrothermique

sensibilité à l'humidité

propriétés d'inertie

variabilité du coefficient  $u$

effet de paroi froide

**conclusion**

les liaisons

perméabilité à l'air

les ouvertures

les occupants

**A PRENDRE EN COMPTE EN PROJET DE RÉHABILITATION**

Le comportement hygroscopique des matériaux anciens

Le comportement inertiel très important des parois:

les méthodes de simulation thermique à employer sont les méthodes dynamiques

La variabilité du coefficient  $U$  des parois anciennes:

LAMBDA RÉEL? Épaisseur et constitution variables des parois, etc.

Un problème essentiel à corriger : l'effet de paroi froide

Maisons  
paysannes  
de France

3

Les liaisons

Le cas des ponts thermiques

les parois opaques

équilibre hygrothermique

sensibilité à l'humidité

propriétés d'inertie

variabilité du coefficient u

effet de paroi froide

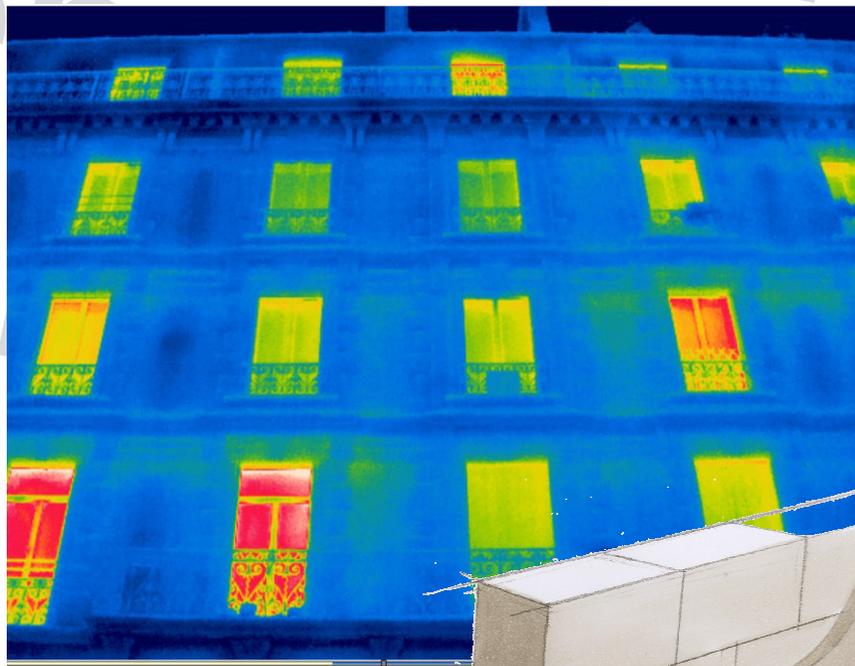
conclusion

**les liaisons**

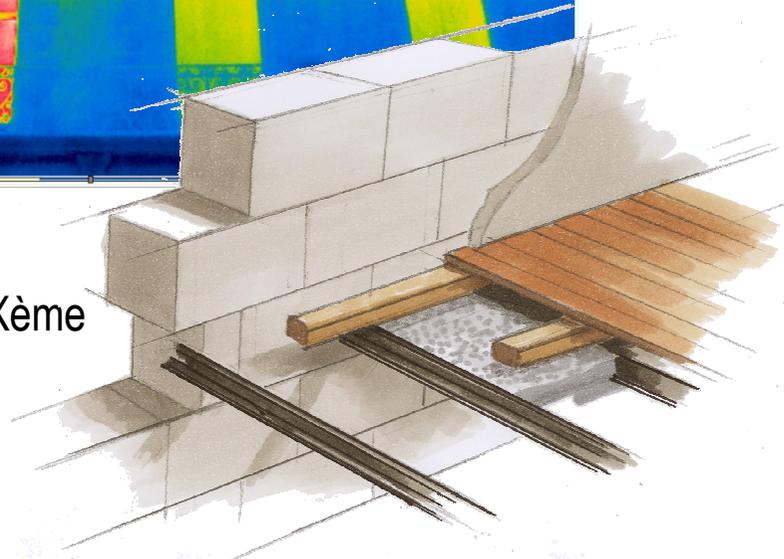
perméabilité à l'air

les ouvertures

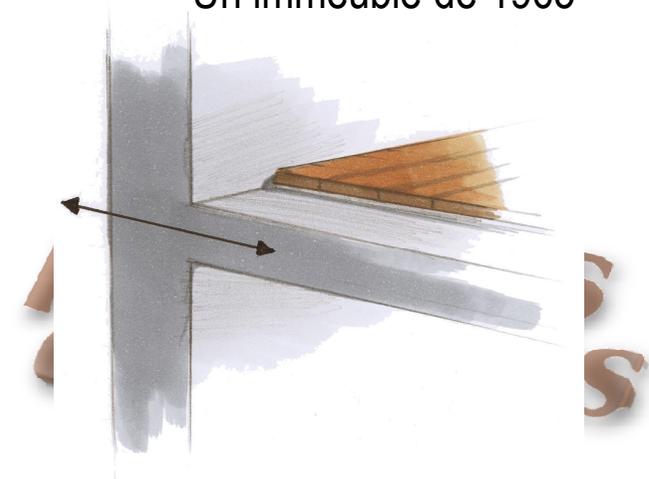
les occupants



Exemple d'un immeuble fin XIXème pas de pont thermique en façade



Un immeuble de 1965



3

## La perméabilité à l'air DES BÂTIMENTS ANCIENS

les parois opaques

équilibre hygrothermique

sensibilité à l'humidité

propriétés d'inertie

variabilité du coefficient u

effet de paroi froide

conclusion

les liaisons

**perméabilité à l'air**

les ouvertures

les occupants

Une perméabilité à l'air très forte:

$$Q_4 = 2,5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2*$$

en moyenne

sur les logements suivis dans le cadre de BATAN,

qui a une influence importante sur les besoins de chauffage,

mais aussi vecteur de

**la ventilation hygiénique!**

\* Plus que la valeur RT2005

Maisons  
de France

# 3

## Les ouvertures

les parois opaques

équilibre hygrothermique

sensibilité à l'humidité

propriétés d'inertie

variabilité du coefficient u

effet de paroi froide

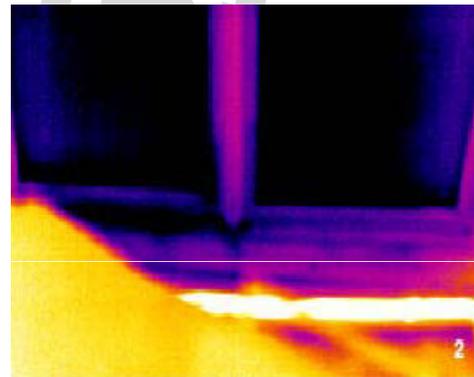
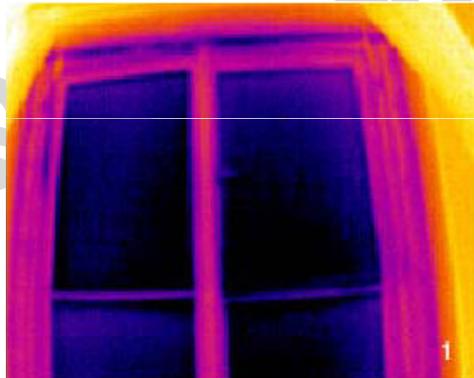
conclusion

les liaisons

perméabilité à l'air

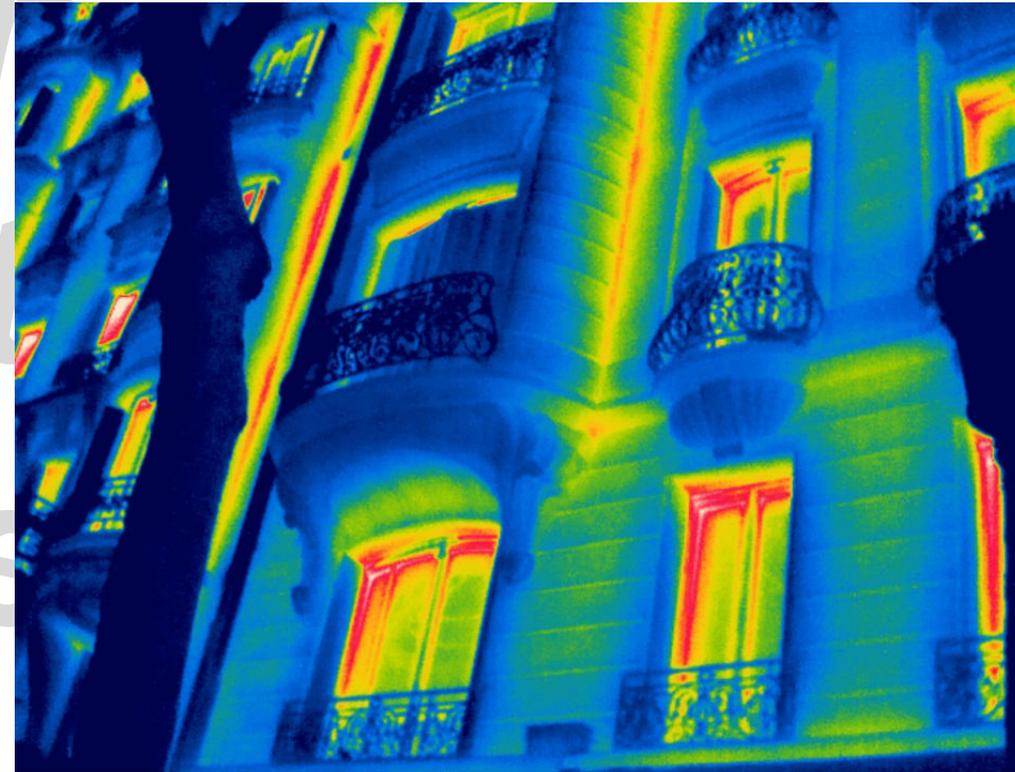
**les ouvertures**

les occupants



CAS DU BÂTIMENT 5:  
FENÊTRE BOIS SIMPLE VITRAGE PRÉSENTANT DES DÉFAUTS D'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR IMPORTANTS

Peu étanches à l'air  
Déperditions thermiques  
Source de ventilation naturelle du logement



Fenêtre simple – SV

$U=4 \text{ à } 5 \text{ W/m}^2.K$

Fenêtre simple – DV à isolation renforcée

$U=1,6 \text{ W/m}^2.K$

Fenêtre simple – TV

$U=0,8 \text{ W/m}^2.K$

Double fenêtre – SV / DV

$U=1,8 \text{ W/m}^2.K$

3

Les occupants

L'occupant est un acteur important du comportement thermique



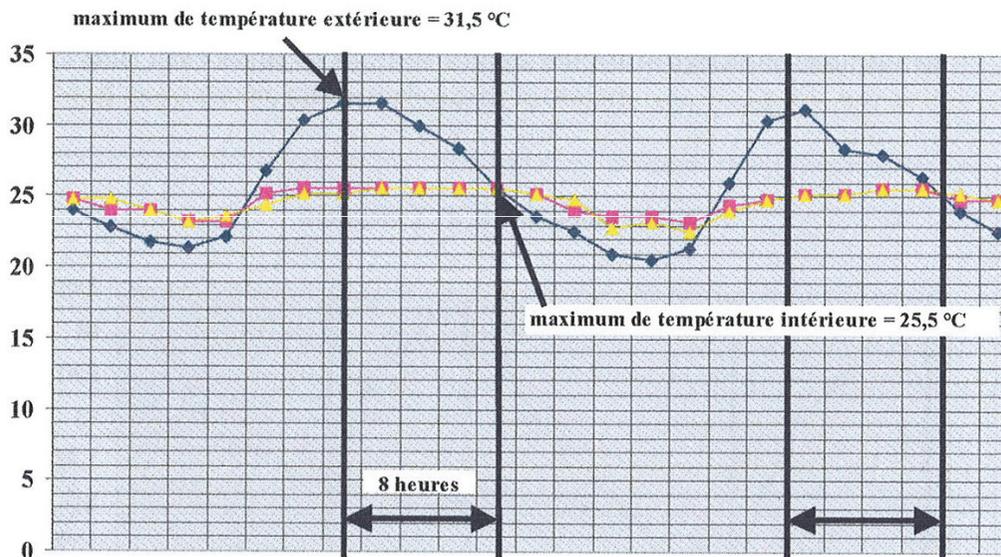
En été:

Les caractéristiques bioclimatiques des bâtiments anciens permettent à l'occupant de réaliser des gestes simples, favorables au confort:

- rafraîchissement naturel passif nocturne

- fermeture de tous les volets la journée (afin de limiter les apports solaires)

- fermeture des fenêtres en journée (afin d'éviter l'entrée de la chaleur dans le logement)



Bâtiment 7 Puget Théniers 28 et 29/6/05

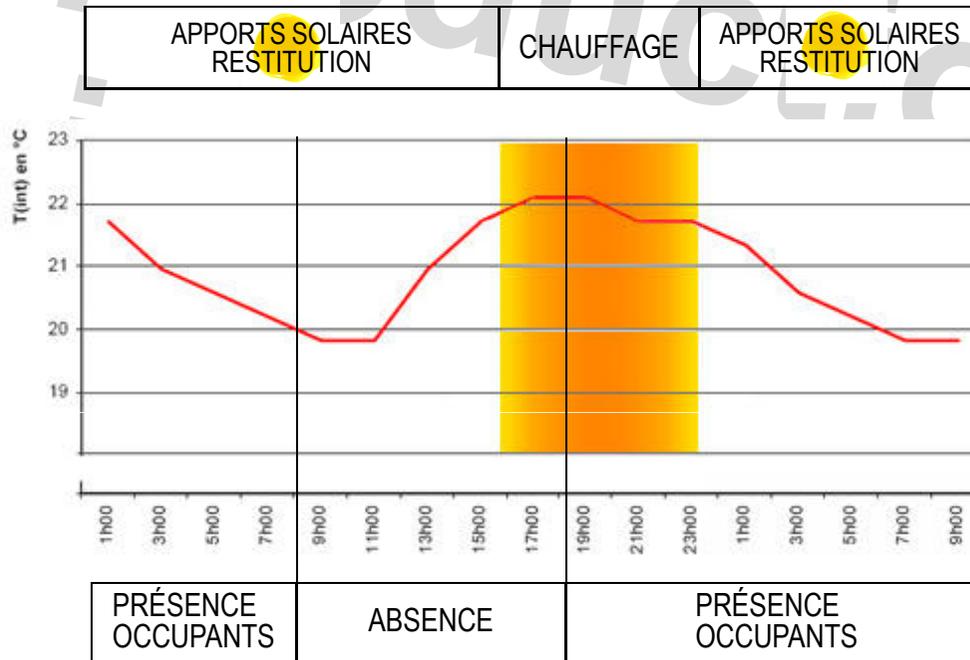
- les parois opaques
- équilibre hygrothermique
- sensibilité à l'humidité
- propriétés d'inertie
- variabilité du coefficient u
- effet de paroi froide
- conclusion
- les liaisons
- perméabilité à l'air
- les ouvertures
- les occupants**

# 3

## Les occupants

- les parois opaques
- équilibre hygrothermique
- sensibilité à l'humidité
- propriétés d'inertie
- variabilité du coefficient u
- effet de paroi froide
- conclusion
- les liaisons
- perméabilité à l'air
- les ouvertures
- les occupants**

L'occupant est un acteur important du comportement thermique



**En hiver:**

La régulation du chauffage s'appuie sur l'inertie importante du bâtiment pour réduire les périodes de chauffe.

**L'inertie du logement permet d'emmagasiner une partie de la chaleur et de la restituer en dehors des périodes de chauffage, sans préjudice important pour le confort thermique (température toujours supérieure à 19° C)**



3

Synthèse

- les parois opaques
- équilibre hygrothermique
- sensibilité à l'humidité
- propriétés d'inertie
- variabilité du coefficient u
- effet de paroi froide
- conclusion
- les liaisons
- perméabilité à l'air
- les ouvertures
- les occupants

**Caractéristiques des constructions anciennes**

**Évolutions constatables suite à l'industrialisation du 20<sup>ème</sup> siècle**

**ENVIRONNEMENT ET IMPLANTATION**

La recherche d'une implantation prenant en compte la course du soleil, les vents dominants, les pluies et l'hydrologie du terrain (en milieu rural)

Apports climatiques potentiels souvent négligés: implantation aléatoire, ouvertures réparties sans toujours tenir compte de l'ensoleillement (l'urbanisme du chemin de grue)

Forte corrélation du comportement thermique du bâtiment vis-à-vis du contexte extérieur

Dépendance moins importante du bâti par rapport au site

**ORGANISATION INTÉRIEURE**

Organisation des pièces selon leur destination et leur orientation. Espaces tampons nombreux selon les types d'activités. Ouvertures dimensionnées selon les besoins

Plans types d'appartement généralisés et assemblés pour former des volumes indépendamment de l'environnement proche

Plans de logements généralement traversants

Plans souvent mono-orientés ne permettant pas de ventilation naturelle

## MODE CONSTRUCTIF

Modes constructifs élaborés avec des matériaux locaux

Systèmes constructifs conçus en fonction de contraintes économiques et industrielles imposées par l'essor démographique

Bâtiments à structure lourde : maçonneries porteuses en façades et refends intérieurs, ayant une forte inertie thermique.

Systèmes constructifs légers, de type poteaux-poutres, libérant l'intérieur du bâtiment de parois porteuses lourdes

Dimensionnement des murs bien ajusté à leur rôle structurel

Standardisation des modes constructifs qui ne différencie plus les parois porteuses

Liaisons façade – planchers discontinues limitant les ponts thermiques

Liaisons planchers - façades continues pouvant engendrer d'importants ponts thermiques

## ENVELOPPE (PARTIES OPAQUES)

Parois verticales hétérogènes entraînant des difficultés quant à la détermination de U

Parois verticales généralement homogènes et standardisées pour une construction donnée

Enveloppe composée de matériaux qui doivent être caractérisés par la conductivité, diffusivité, perméabilité à l'air et à l'eau

Enveloppe composée de matériaux dont la caractérisation thermique peut essentiellement se restreindre à leur conductivité

Matériaux très sensibles à l'humidité

Matériaux de structure manufacturés, le plus souvent insensibles à l'humidité

Des barrières à l'humidité du sol organisées de nombreuses manières

Protections plus simples par films ou enduits dégradables sur les fondations enterrées

## OUVERTURES

Ouvertures généralement non étanches, sources de déperditions thermiques mais principales sources de ventilation hygiénique du logement

Ouvertures généralement étanches

Ouvertures spécifiques qui jouent le rôle d'espace tampon actif: récupération des apports solaires et préchauffage de l'air neuf entrant

Principe ancien réinterprété sous forme de double enveloppe

## ÉQUIPEMENTS

Équipements généralement vétustes, jouant un rôle thermique secondaire par rapport au bâti

Équipements multiples et performants, venant éventuellement pallier une conception non bioclimatique

Sources d'énergie secondaires et ponctuelles permettant un usage et un chauffage différencié par pièce

Gestion des équipements automatisée et centralisée

## OCCUPANTS

Comportement bioclimatique de certains occupants, qui interagissent avec le bâtiment et le site (ouverture et fermeture des baies, gestion d'une ventilation naturelle) en fonction des saisons

Rôle secondaire de l'occupant, pouvant se réduire à la définition d'une température consigne

# Connaître le fonctionnement du bâti ancien

- Définitions préalables
- Transferts hydriques et thermiques dans le bâti ancien
- **La mécanique: fondation, équilibre des structures, report de charges**

*maisons  
paysannes  
de france*

# Les résistances mécaniques

- Grandeurs physiques courantes du bâtiment
- Résistances à la compression
- Résistances à la traction
- Elasticité
- Adhérence

**maisons  
paysannes  
de france**

# Grandeurs physiques

- Tout élément de construction à **une masse (exprimée en kilogramme, kg)** qui exerce une force, le **poids (exprimé en Newton, N)**
- **Une masse de 1 kg pèse 10 N** ou 1 daN (décanewton) ou 1kgf
- Un poids appliqué sur une surface donnée, exerce une pression (exprimée en pascal, Pa)  **$10\text{N/m}^2 = 10\text{ Pa} = 0,001\text{MPa}$  (MégaPascal)**

Dans le langage courant:

**1 bar = force 1 kg/cm<sup>2</sup> = 0,1 Mpa = force de 10 t/m<sup>2</sup> = force de 1t/ dm<sup>2</sup>**

**1 MégaPascal (Mpa) = 10 bars = force de 100t /m<sup>2</sup>**

Les bétons issus de centrales répondent à des classes de résistance à la compression exprimées en MégaPascal



# Grandeurs physiques des liants du bâtiment – résistance à la compression

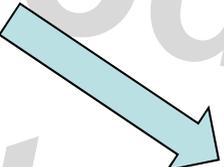
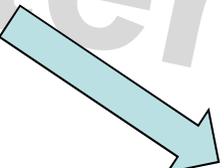
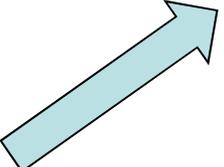
Pour les liants calcaires (chaux et ciments), **les classes de grandeurs représentent des résistances minimales à la compression**, à 28 jours, pour des mortiers normalisés

	Classe de résistance en MPa	Résistance minimale en bars	Force de x tonnes sur un carreau 10 x 10 cm
Ciment – CEM I-II-III-IV-V	<b>32,5</b>	325	<b>325</b>
	42,5	425	425
	52,5	525	525
Ciment à Maçonner - MC	12,5	125	125
Chaux hydraulique naturelle - NHL	2	20	20
	<b>3,5</b>	35	<b>35</b>
	5	50	50
Chaux aérienne	Inférieur à 2		

Les classes de résistances sont un bon indicateur du comportement et des caractéristiques d'un liant. Ce ne sont pas des valeurs absolues

*Maisons paysannes de France*

# Les caractéristiques physiques des liants du bâtiment

	Quand la RC (résistance à la compression) augmente 
Elasticité	
Perméabilité à l'eau	
Vitesse de prise	

## Dans le bâti ancien

- Pour le bâti en pierre, les résistances des ouvrages sont amenées par les pierres.
- C'est l'organisation des éléments qui prime sur la résistance des liants
- Les mortiers sont élastiques, perméables à l'eau, perméants à la vapeur d'eau.
- La vitesse de prise intéresse le constructeur, ce n'est pas une qualité intrinsèque du bâti

Maisons  
Paysannes  
de France

# Descentes de charge

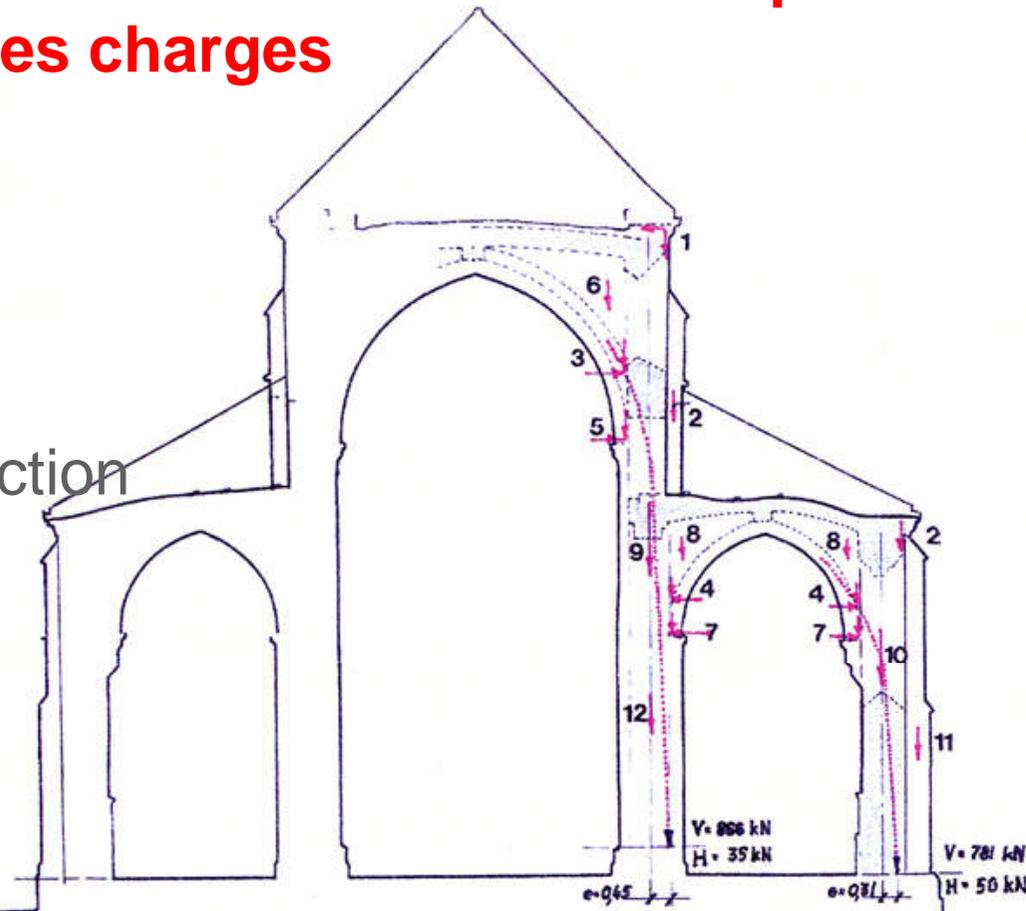
**Dans le bâti ancien, la stabilité de la structure est assurée par l'empilement des charges**

Les charges sont descendantes et appliquées au point bas.

- Tout passage de vide (linteau, arc, plancher) reporte latéralement les charges par des efforts dont la direction dépend de la forme des éléments horizontaux

Poteaux poutres = efforts verticaux

Arcs et voutes = efforts obliques.



**Dans le bâti ancien, les efforts sont supportés par des matériaux organisés**

Dans le bâti contemporain, la répartition des efforts est interne aux matériaux et ouvrages.

# Les fondations

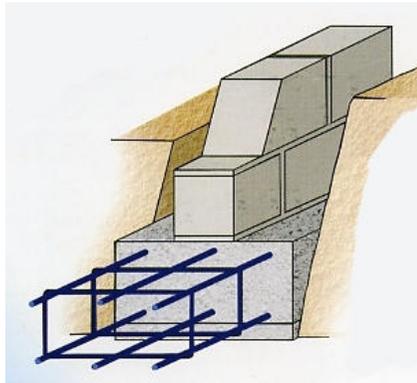
## Dans le bâtiment contemporain

La construction est posée sur une assise de fondation rigide, non déformable. Le béton armé résiste à la compression et à la traction grâce au ferrailage

Le poids de la construction est réparti sur une semelle plus large que le mur

La fondation est enterrée pour garder le béton hors gel

Une barrière étanche est réalisée



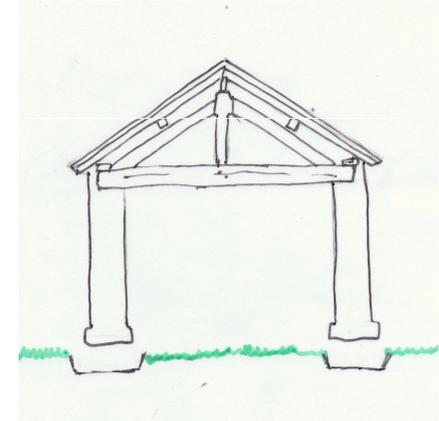
## Dans le bâti ancien (cas courant)

Les constructeurs ont une connaissance de la nature du terrain

La maison est posée sur le sol (enlèvement de l'humus)

Les pieds de mur sont élargis

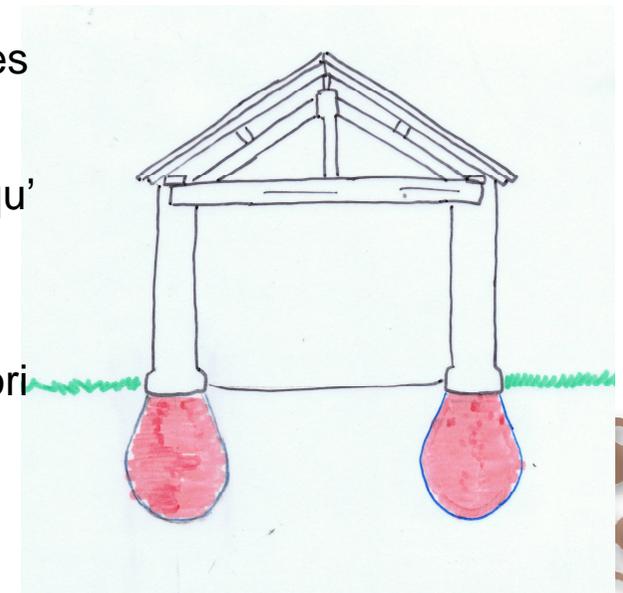
La recherche d'un bon sol peut être effectuée



Le poids de la construction tasse le sol sous l'emprise des murs

La construction descend jusqu'à stabilisation du sous-sol

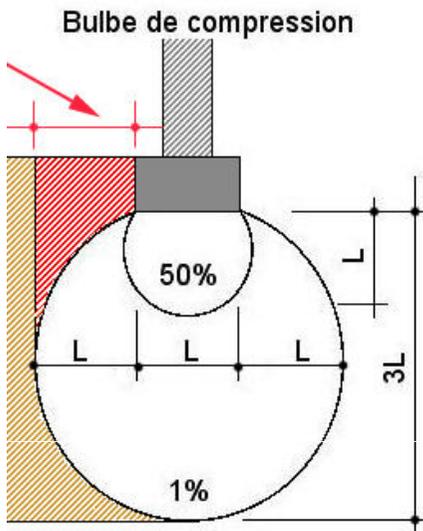
Les bulbes de compression sont les fondations à posteriori



# Le bulbe de compression

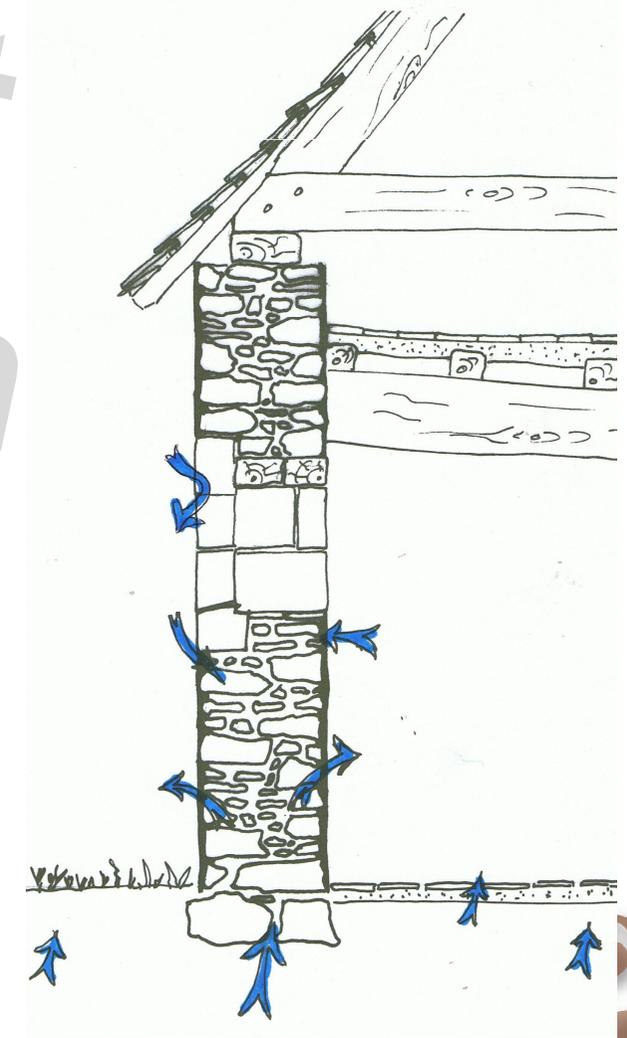


Il porte la construction. C'est une zone à ne pas toucher



Pas de décaissement vertical plus bas que la première assise

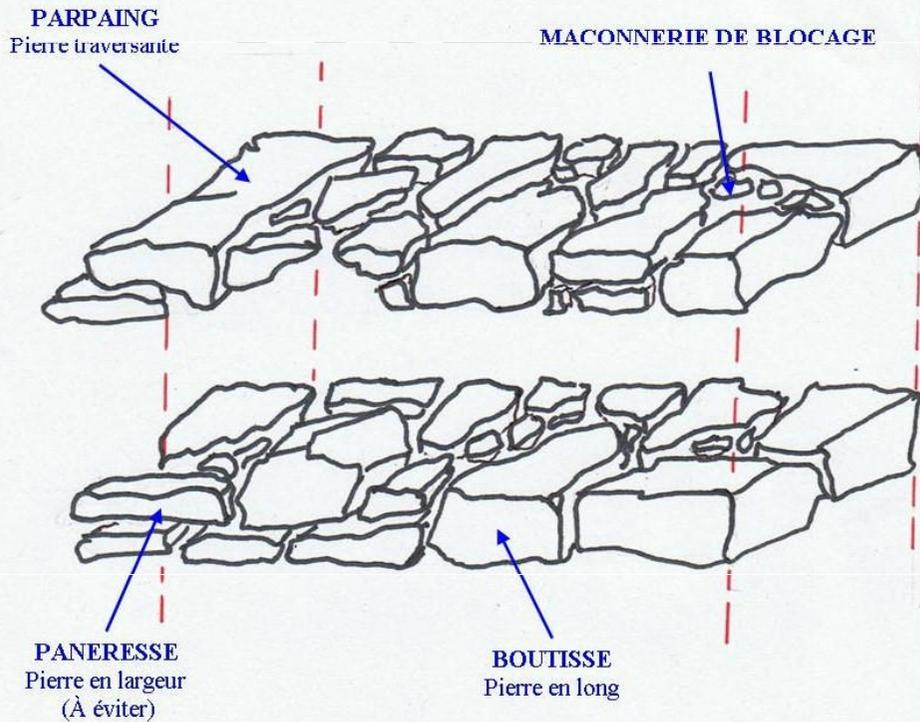
Pas de drain en pied de mur



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

# Un bâti souple et déformable

## CONSTRUCTION D'UN MUR EN PIERRE: L'APPAREILLAGE



- C'est l'organisation des pierres qui permet la stabilité du mur
- Le mortier:
  - permet la répartition des charges
  - n'est pas une colle
  - Évite la pénétration des fluides (air et eau)

*maisons  
paysannes  
de france*

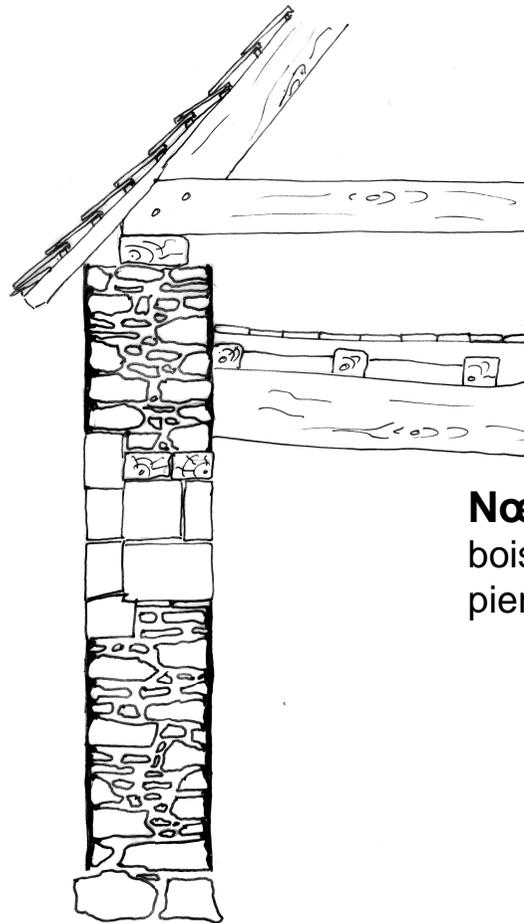
# Des nœuds constructifs

## Matériaux différents:

- Tuiles
- Bois
- pierre

## Organisation des matériaux différente:

- Jambages en maçonnerie organisée, rigide
- Maçonnerie souple et hétérogène



**Nœud:** Plancher avec poutraison bois inséré dans une maçonnerie de pierre

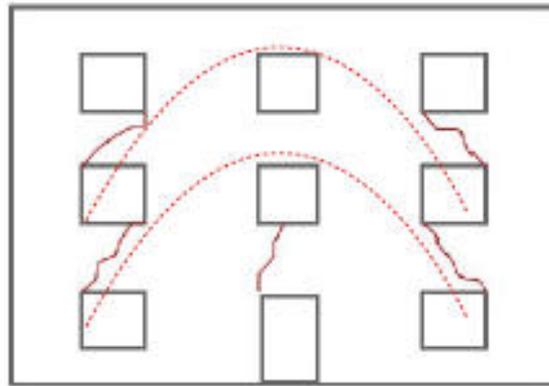
**Un BATI complexe, sensible,**  
pouvant présenter des défauts

**DURABLE**

maisons  
paysannes  
de France

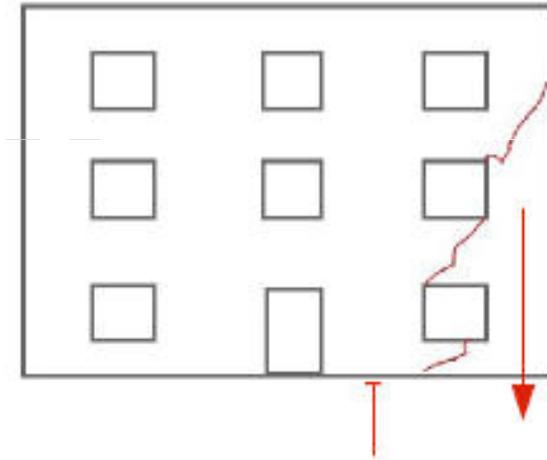
# Analyse des fissures

## Les tassements du sol

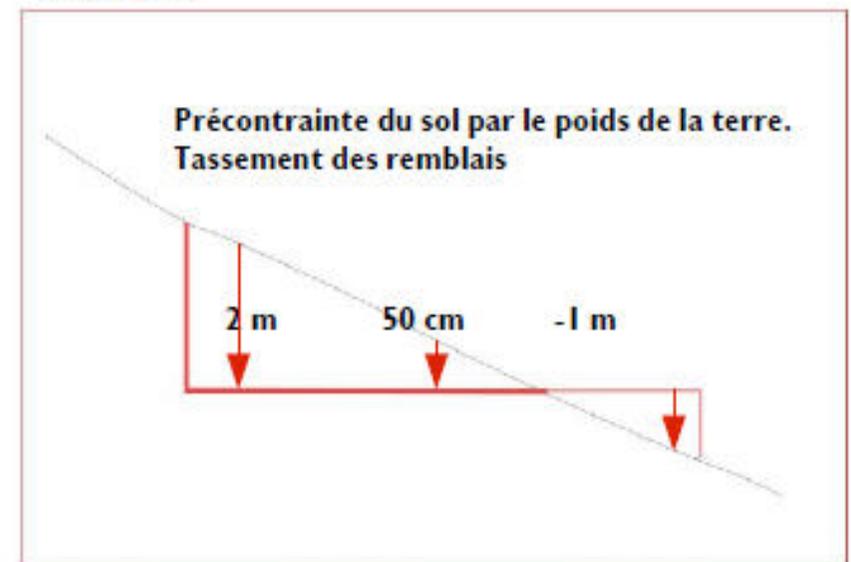


Fissure structurelle : enfoncement du sol sous le centre de la façade, création d'un arc de décharge (en pointillé).

Toutes les illustrations des fissures sont extraites de  
« Connaissance du bâti ancien » - Le Gabion

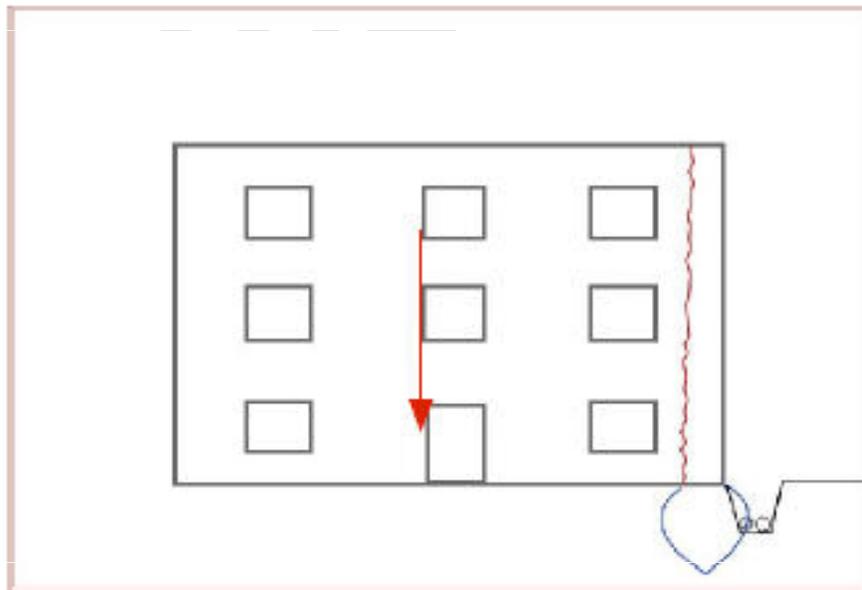


Fissure structurelle, point de compression entre la porte et la fissure



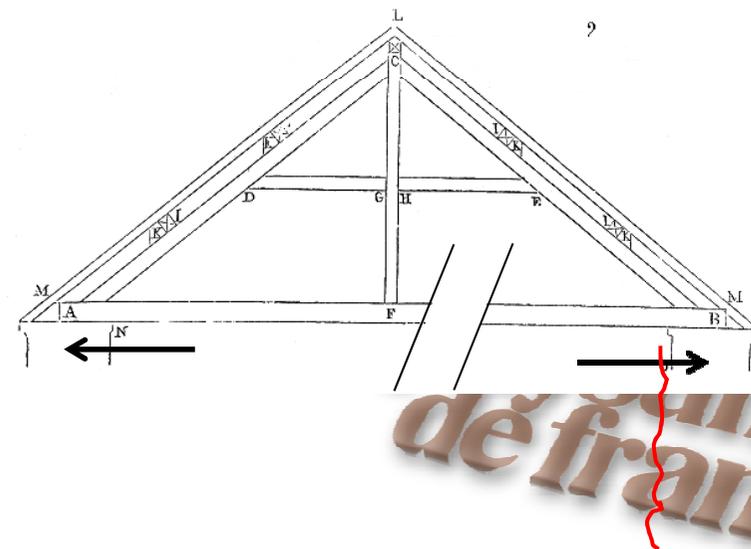
# Analyse des fissures

## Les mauvaises interventions



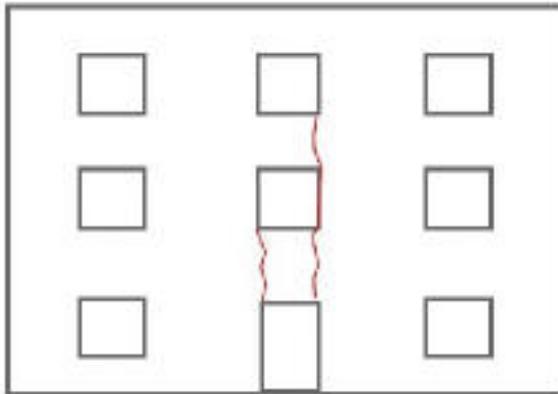
Fissure structurelle, sous son propre poids le mur s'est désolidarisé du reste du bâti, par exemple à cause du creusement d'une tranchée trop près du mur (qui coupe le bulbe de compression).

Rupture d'un entrain  
(idem assemblage défectueux)

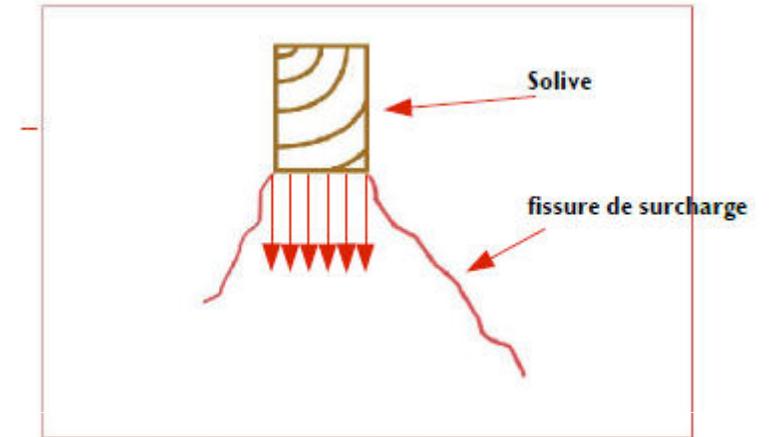


# Analyse des fissures

## Les surcharges ponctuelles



**Fissure structurelle :** Les linteaux ou les sommiers ne supportent pas la surcharge.



# La mécanique du bâti ancien: synthèse

- L'empilement maîtrisé des charges assure la stabilité
  - Les reports de charges sont maîtrisés (linteaux, voutes, arc)
- Les charges descentes sont reprises par le sol qui subit une compression.
  - Les remontées par capillarité sont inhérentes
- Les constructions sont souples et déformables
  - La superposition et les ajouts d'ouvrages dans le temps peuvent être la cause de pathologies
- Les ouvrages sont ouverts aux transferts hydriques
  - Les dispositions architecturales permettent la protection au ruissellement et l'évacuation de l'humidité

Les constructions vivent et vieillissent

**L'entretien doit être permanent**

Les opérations d'entretien nécessitent un diagnostic global