



Bâti en pierre

Améliorer son confort en
préservant son intégrité



Samuel Dubois / Samuel.dubois@buildwise.be

Aperçu

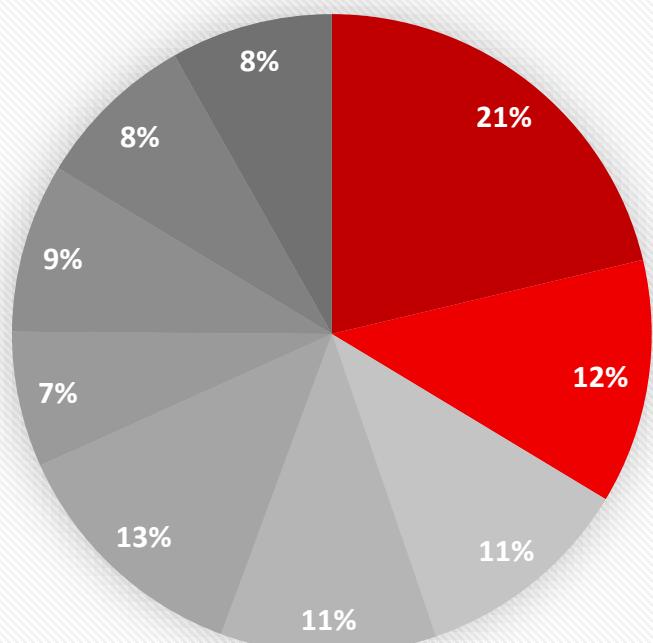
- Les aspects clés du comportement hygrothermique des bâtiments anciens
- L'impact potentiel des rénovations de l'enveloppe (mur plein)
- Quelques outils de diagnostic et de conception

Introduction



Contexte général

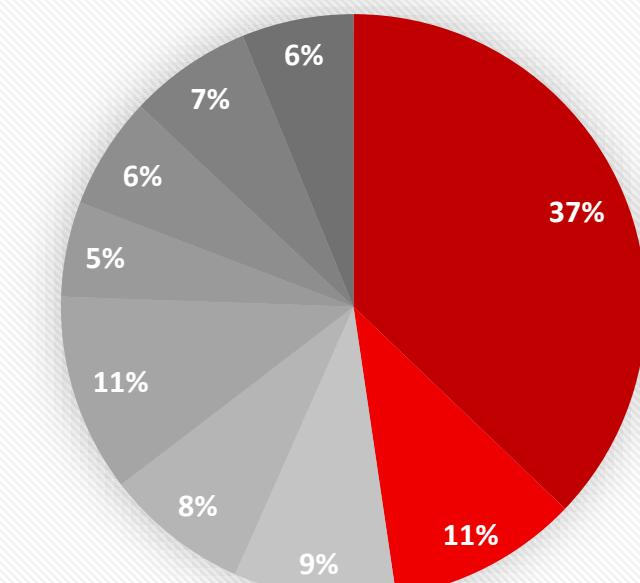
- Répartition des logements en fonction de leur époque de construction



■ Avant 1919 ■ De 1919 à 1945 ■ De 1946 à 1960 ■ De 1961 à 1970 ■ De 1971 à 1980

■ De 1981 à 1990 ■ De 1991 à 2000 ■ De 2001 à 2010 ■ De 2011 à 2020

Belgique



■ Avant 1919 ■ De 1919 à 1945 ■ De 1946 à 1960
■ De 1961 à 1970 ■ De 1971 à 1980 ■ De 1981 à 1990
■ De 1991 à 2000 ■ De 2001 à 2010 ■ De 2011 à 2020

Wallonie

Bâtiments anciens

- Les bâtiments anciens ont une conception et un comportement singuliers
 - Il est possible d'utiliser ce comportement à l'avantage des occupants
 - Comprendre le bâtiment (et ses occupants) avant de rénover!
 - La gestion de l'humidité entre l'ancien et le moderne est très différente!



Défi de la rénovation du bâti ancien

- Une diversité des matériaux et configuration
- Des objectifs extrêmement ambitieux (trop?)
- Une **précarité** grandissante
- Des **règles** urbanistiques strictes
- ... Ou justement pas assez de règles!



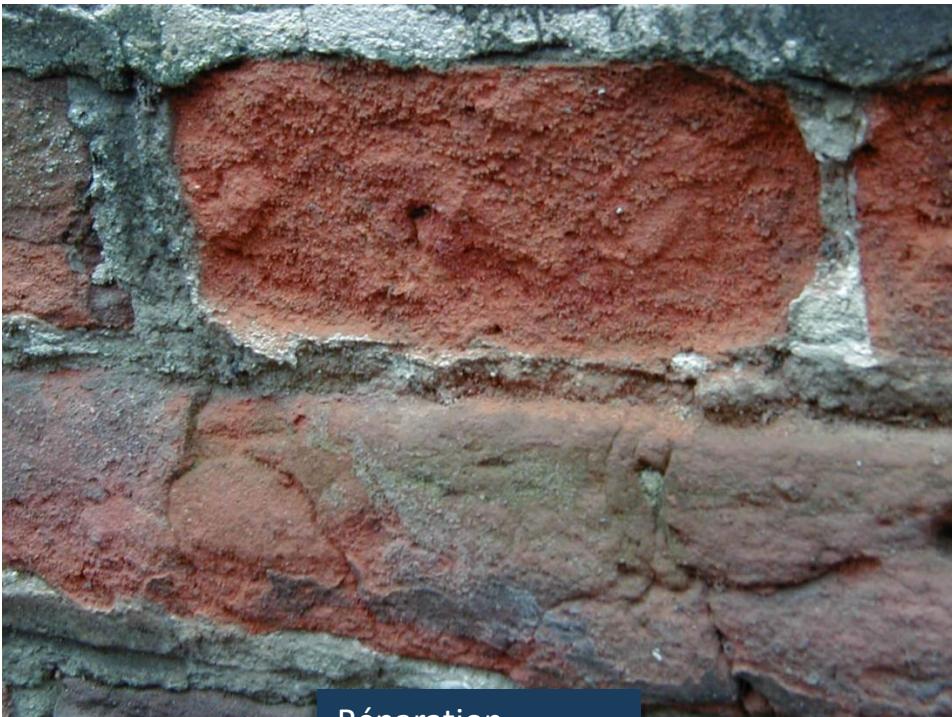
Défi de la rénovation du bâti ancien

- ‘Pathologies’ du bâtiment
→ à solutionner avant tout!



Défi de la rénovation du bâti ancien

- Durabilité des interventions passées



Les occupants et leur besoins

- Les multiples dimensions du confort

La satisfaction vis-à-vis de l'environnement fait appel à toutes les dimensions physiques des ambiances, mais également à des aspects moins connus.

- Dimension **physiologique**
- Dimension **comportementale**
- Dimension **psychologique**

→ La dynamique du confort!



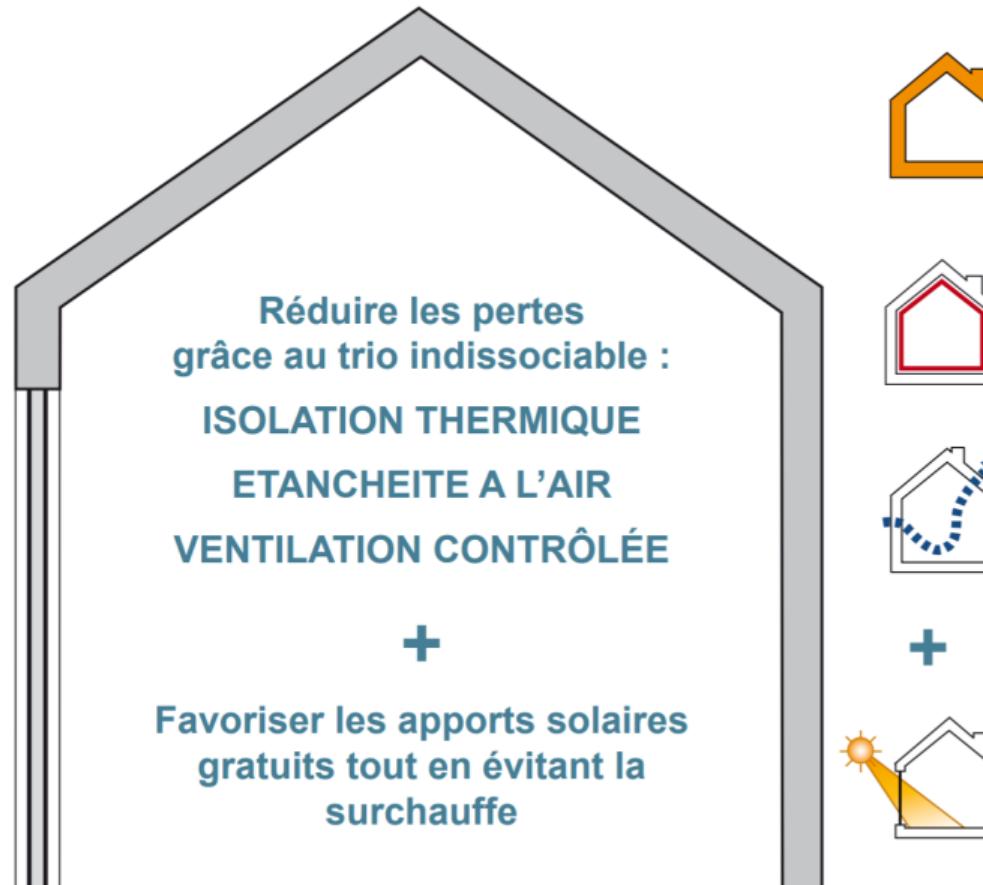
Limites de la PEB

- 3 priorités pour un bâtiment énergétiquement performant

1. LA QUALITÉ DE L'ENVELOPPE

La meilleure énergie est celle qu'on ne consomme pas.

Au plus l'enveloppe est performante, au plus les besoins en énergie sont réduits.



2. LA QUALITÉ DES SYSTÈMES ET DES AUXILIAIRES

Ceci concerne les Installations

- de chauffage
- d'eau chaude sanitaire
- d'éclairage

ainsi que les appareils auxiliaires nécessaires à leur bon fonctionnement et le recours éventuel au refroidissement.

Choisir des systèmes et équipements présentant des rendements élevés



3. LA QUALITÉ DES ÉNERGIES

Opter pour des énergies renouvelables



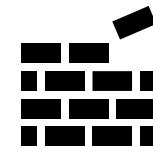
Occupants?

Chaque bâtiment est unique

- Comprendre avant d'agir
- Pas de solution ‘unique’



Spécificités du mur en pierre



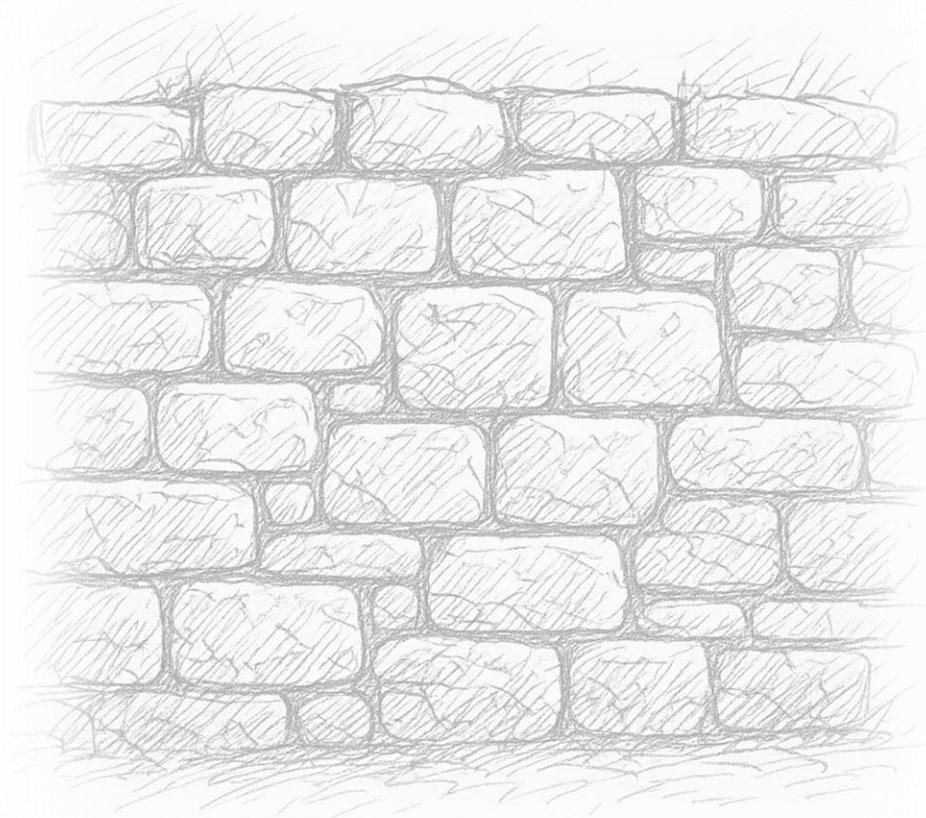
Une question cruciale

- Qu'est ce qui fait la spécificité d'un mur en pierre traditionnel?

Matériaux et esthétique

Hétérogénéité

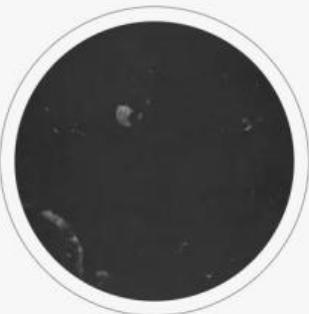
Non-planéité



Caractère 'respirant'

Masse et inertie





Petit granit du Bocq



Grès



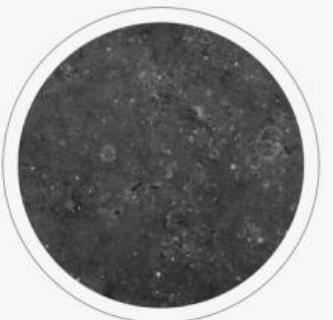
Schiste



Quartzite



Grès schisteux



Pierre de Tournai® - Noir de Tournai



Marbre Grand Antique de Meuse



Arkose



Calcaire gréseux de Fontenoille



Calcaire griséux de Gobertange



Pierre bleue de Belgique®



Calcaire de Meuse dit de Longpré



Identification?

Connaitre le contexte régional + quelques indices!

Test / Critère	<i>Calcaire tendre</i>	<i>Calcaire dur</i>	<i>Grès</i>	<i>Granit</i>	<i>Schiste</i>	<i>Basalte</i>
Aspect	Uniforme, clair	Uniforme, souvent bleuté	Granuleux, couleur ocre	Cristaux	Feuilletté	Densité, sombre
Raye ongle	Oui	Non	Parfois	Non	Parfois	Non
Réaction acide	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non
Porosité	Souvent élevée	Faible	Variable	Faible	Moy.	Très faible



Calcaire de Vinalmont

CALCAIRE DE MEUSE DIT DE VINALMONT



Taille ancienne (éch. 1:1)

Calcaire de Meuse dit de Vinalmont

AUTRES APPELLATIONS
Pierre de Vinalmont, pierre de Meuse

NATURE
Calcaire oolithique

ÂGE STRATIGRAPHIQUE
Viséen moyen (V2a, Carbonifère inférieur, Primaire)



Mur en clôture et tablettes

UNE CARRIÈRE DE PROXIMITÉ POUR UN SERVICE DE QUALITÉ

La société CALCAIRE DE VINALMONT existe depuis 1910. Elle possède une expérience pratiquement centenaire dans toutes les applications de la roche ornementale destinées au secteur de la construction et de la sculpture.

La société dispose d'un gisement de calcaire de Vinalmont d'une superficie de 85 ha, sur la plaine de Wanze dans la commune de Wanze, ce qui lui permet de garantir à la fois la disponibilité de ses produits sur le marché pour plus d'un siècle et l'avenir des 35 membres de son personnel, mais aussi de mener une politique de développement adaptée à la demande des clients.

D'autre part, elle applique une politique d'investissements très active afin de se maintenir à la pointe des techniques et, de ce fait,

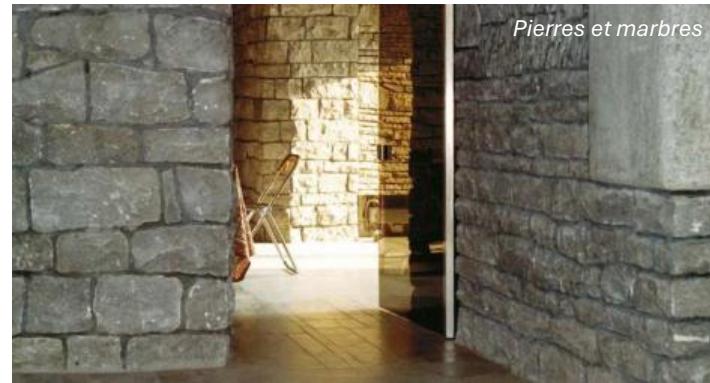
elle peut garantir la valeur qualitative de ses produits et un respect des délais.

Le calcaire de Vinalmont est d'une grande pureté chimique. De plus, cette pierre au grain très fin est dépourvue de crinoïdes ce qui permet une identification rapide.

Exemples



Moellons en Pierre de
Fontenoille (calcaire mi-dur)



Moellons en Pierre de Longpré
(calcaire dur)



Mur en Pierre de Tournai
(pierre bleue)



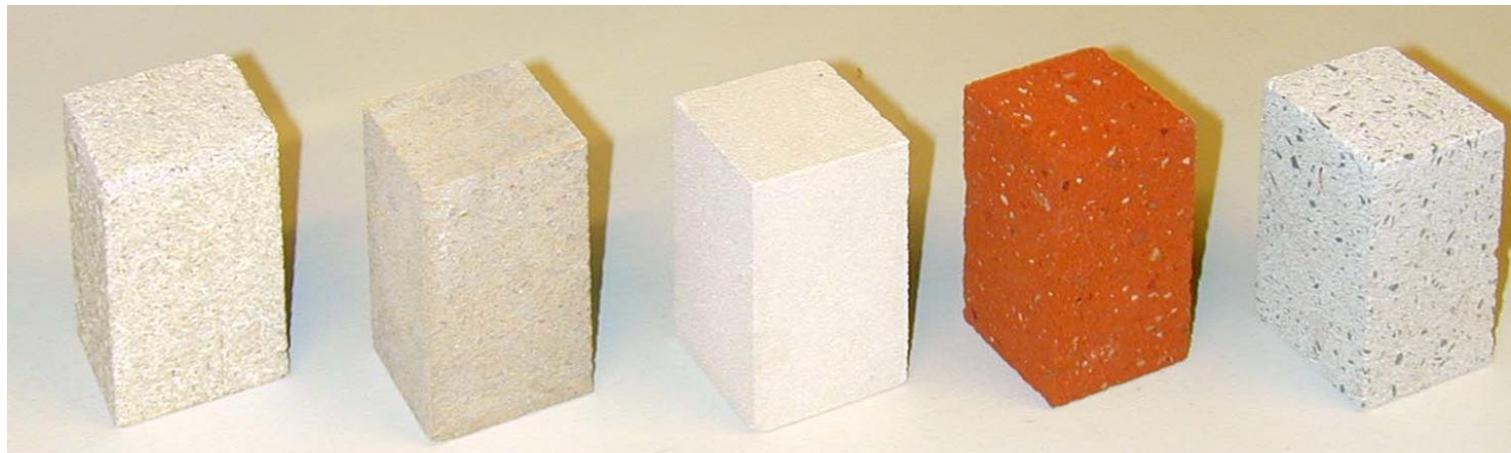
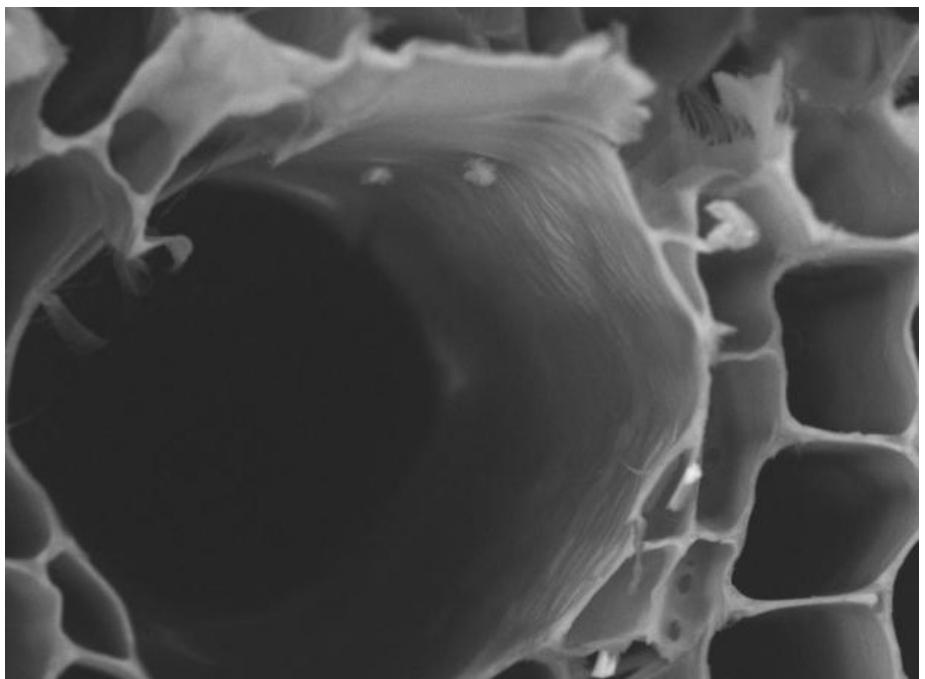
Moellons en Grès (Arkose)



Façade en pierre de Gobertange (calcaire
tendre)

La porosité

- rapport du volume des vides sur le volume total



Euville
14 % vol

Massangis
14 % vol

Savonnières
32 % vol

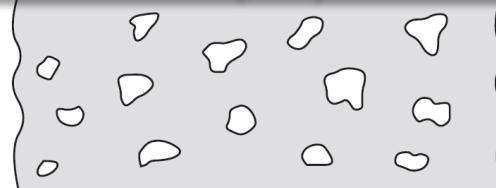
Brique
32 % vol

Silicocalcaire
30 % vol

Porosité des matériaux traditionnels

- Importance de la porosité dans les matériaux anciens!
- **La nature du réseau poreux influence énormément les propriétés du matériau, ses sensibilités ainsi que sa performance hygrothermique**

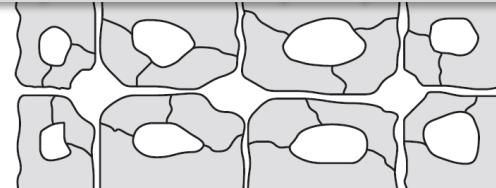
Poreux mais pas perméable



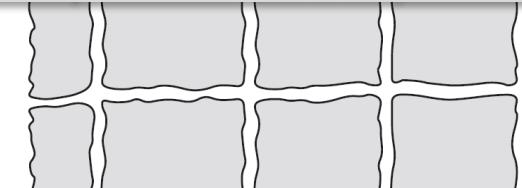
Poreux et perméable



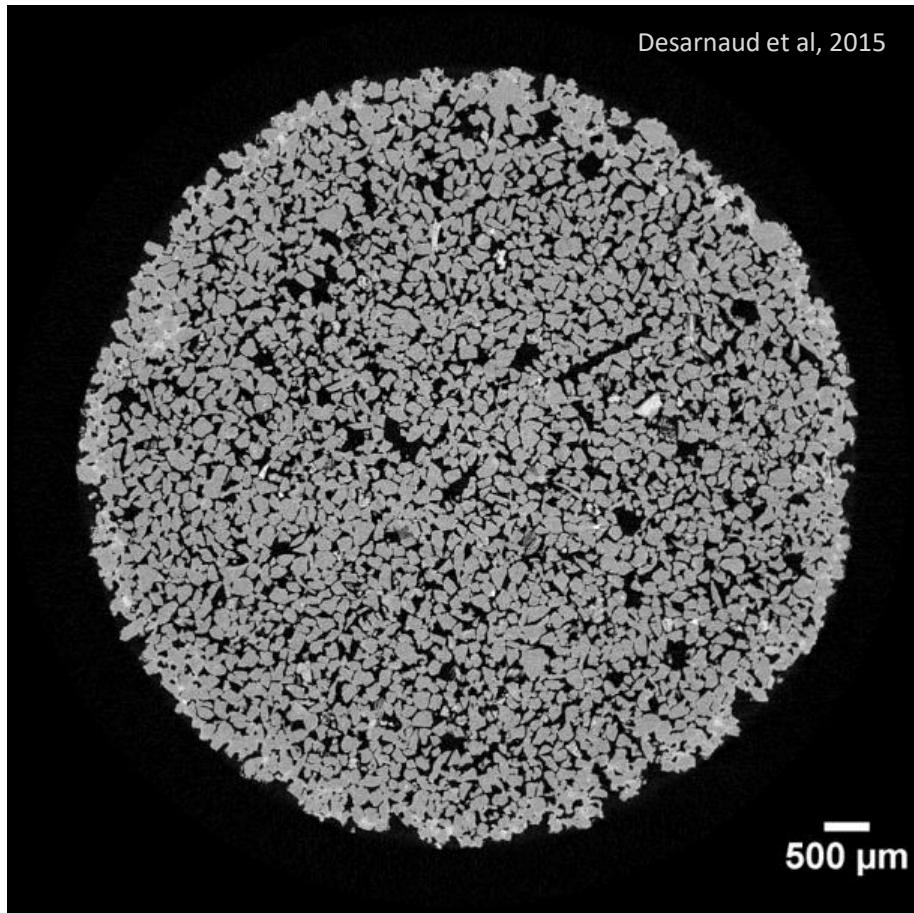
Très poreux mais peu perméable



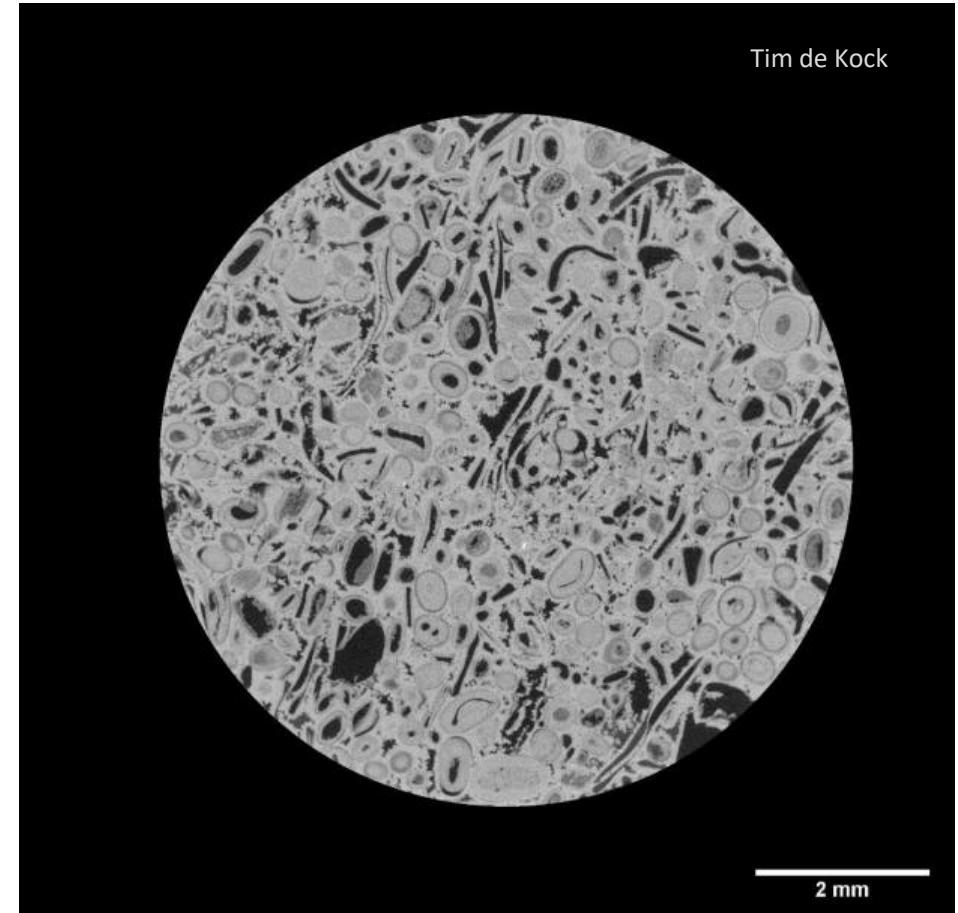
Peu poreux mais très perméable



Porosité des matériaux traditionnels



Grès de Prague



Pierre de Savonnière

Le concept de mur ‘respirant’

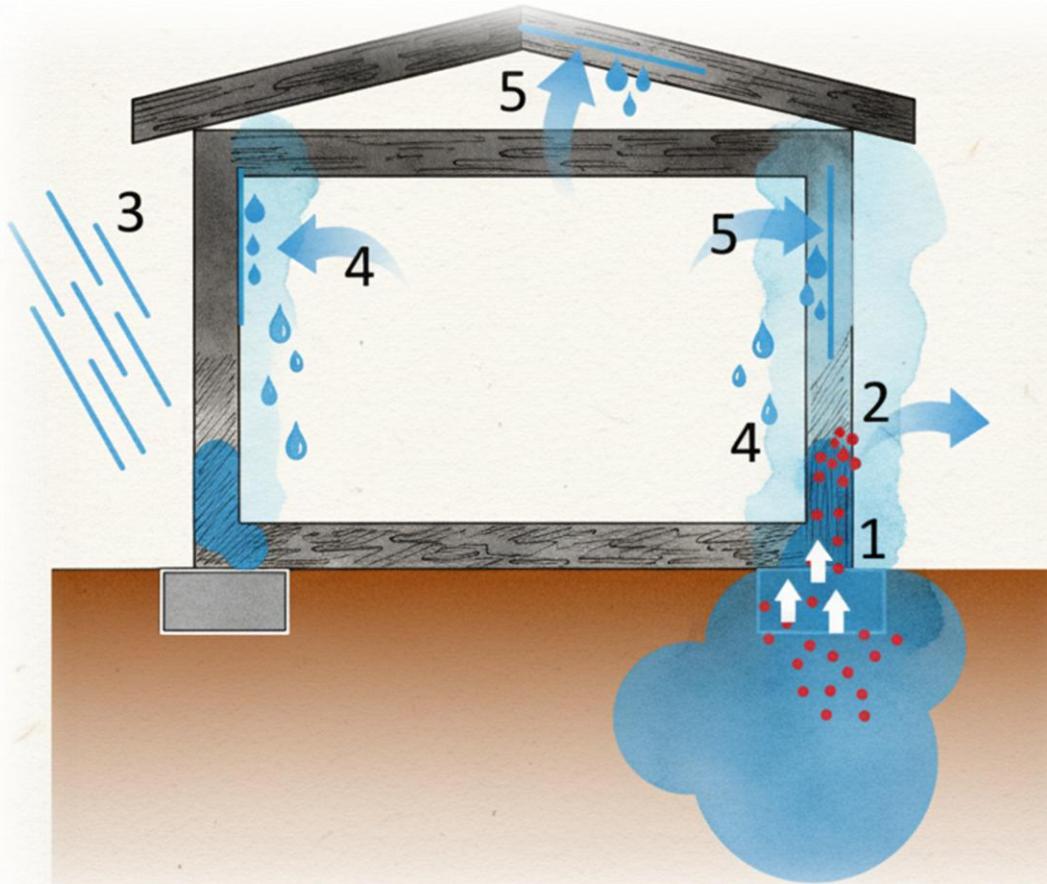
- La capacité de **stockage d'eau** des murs en maçonnerie est énorme
- Une **régulation** naturelle de l'humidité (pour autant que le mur reste nu)
- Un **équilibre** bien établi ...
... qui peut être rompu

Note: L'humidité circule naturellement par le mortier...



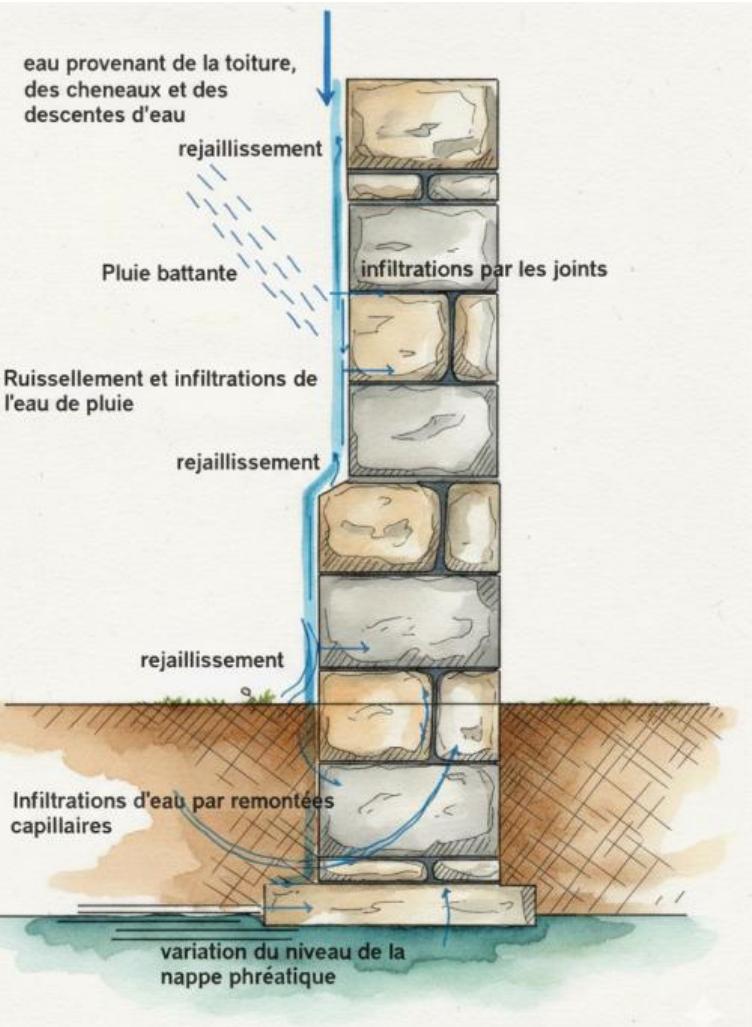
L'application d'un cimentage sur cette maçonnerie a accentué les problèmes

Comportement normal / anormal?



- 1: Humidité ascensionnelle
- 2: Cristallisation de sels
- 3: Infiltrations dues au pluies battantes
- 4: Condensation Superficielle
- 5: Condensation Interstitielle

Humidité ascensionnelle

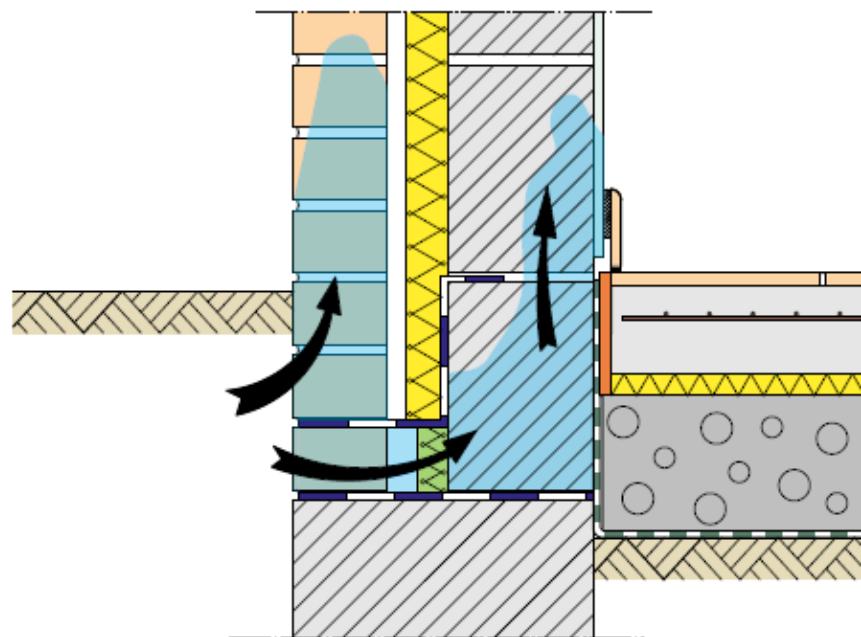


L'humidité ascensionnelle est particulièrement fréquente, surtout dans les bâtiments datant d'avant 1945



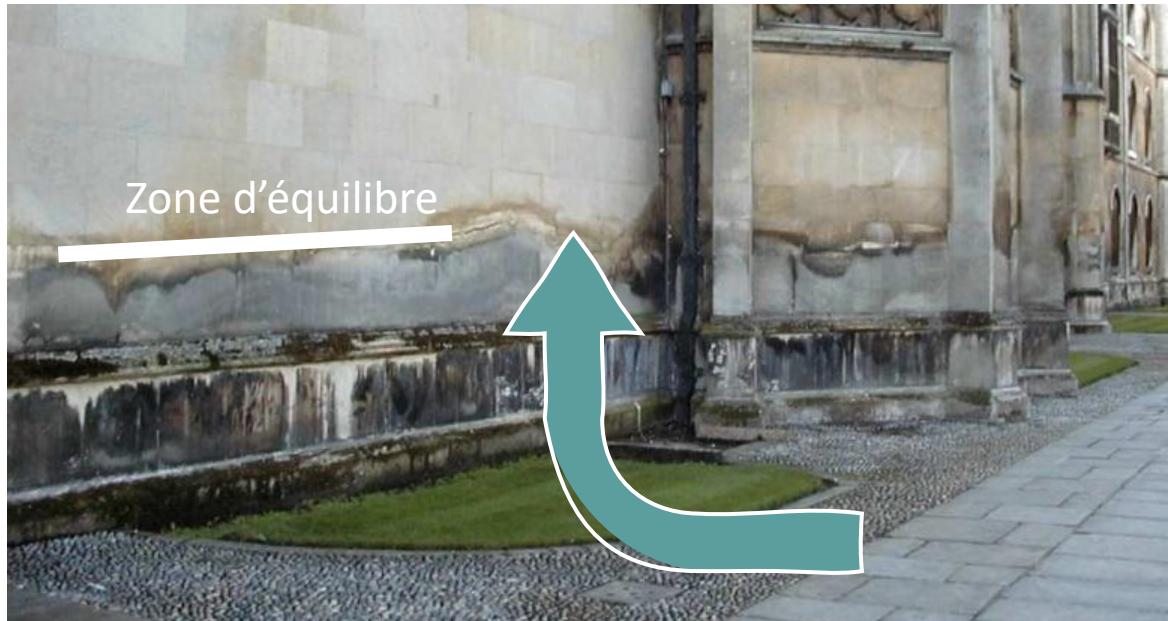
Humidité ascensionnelle

- Bâtiments anciens (< 1945)
 - Murs massifs, pas d'interruption capillaire en pied de mur
 - Humidité ascensionnelle fréquente et souvent gênante
 - Causes d'humidité souvent difficiles à distinguer
- Bâtiments plus récents (> 1945)
 - Normalement: interruption capillaire en pied de mur
 - Causes d'humidité ascensionnelle: dégradation de la barrière, erreur de conception ou de placement, rehaussement du niveau des terres au-dessus du niveau de barrière, ...

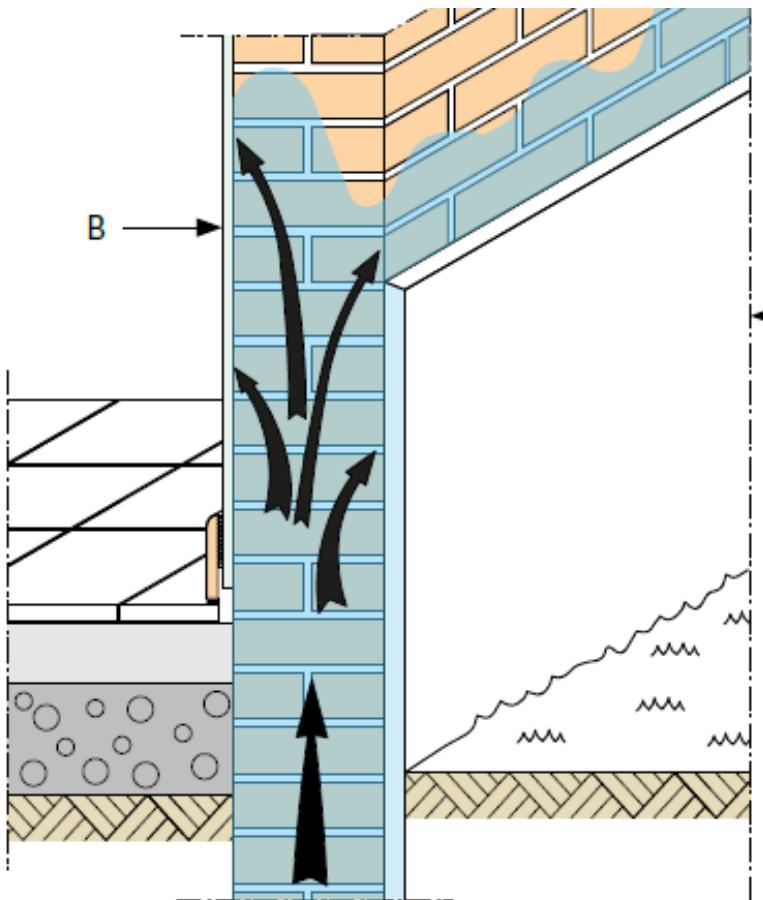


Humidité ascensionnelle

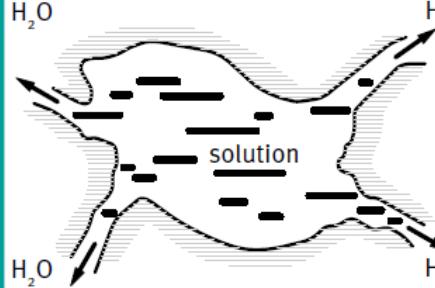
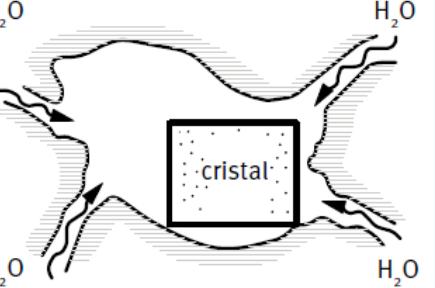
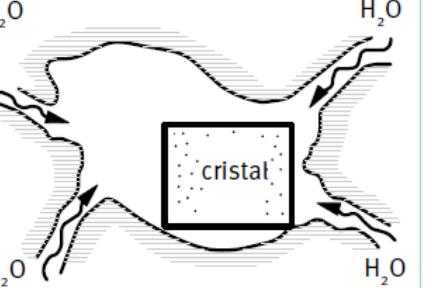
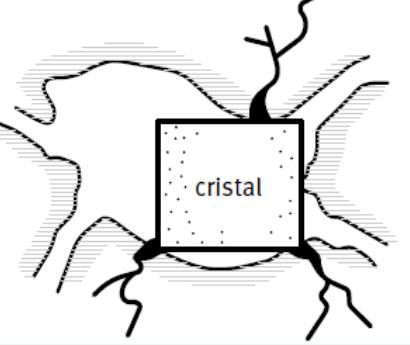
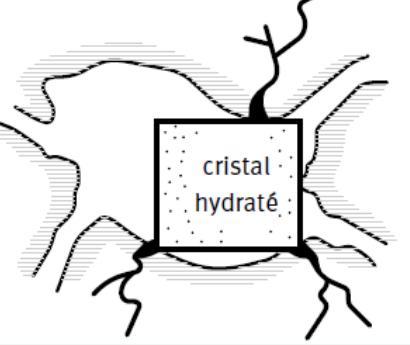
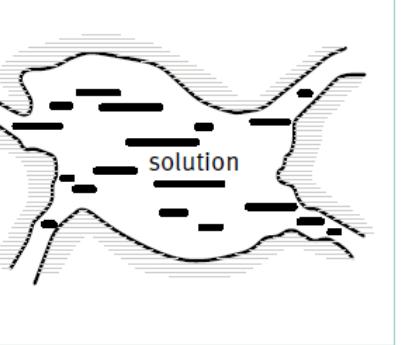
- Un mur en pierre en contact avec une source d'eau fonctionne comme une pompe
→ absorbant l'eau par capillarité et permettant son évaporation plus ou moins rapide par les pores de surface.
- À l'endroit où elle s'évapore, l'eau dépose toutes les impuretés qu'elle renferme, dont les sels solubles.



Humidité ascensionnelle



Les sels, un acteur clé dans la chaîne de dégâts

Phénomènes liés aux sels solubles	Cristallisation	Hydratation	Hygroscopicité
Avant			
Après			
Description	Évaporation d'une solution saline au sein des pores et dégradations dues aux forces de cristallisation	Changement de l'état d'hydratation (et du volume) d'un sel après une phase de dissolution et dégradations dues aux forces de cristallisation	Absorption hygroscopique d'humidité par un sel et humidification du matériau poreux en l'absence d'une source d'eau liquide

Sels solubles dans les matériaux poreux



Sels solubles dans les matériaux poreux

Pulvérulence des briques due à la cristallisation des sels



Masse et inertie thermique

- Le confort thermique des maisons anciennes aux murs très épais en matériaux peu isolants
- Un compromis entre une isolation thermique médiocre et une grande inertie thermique



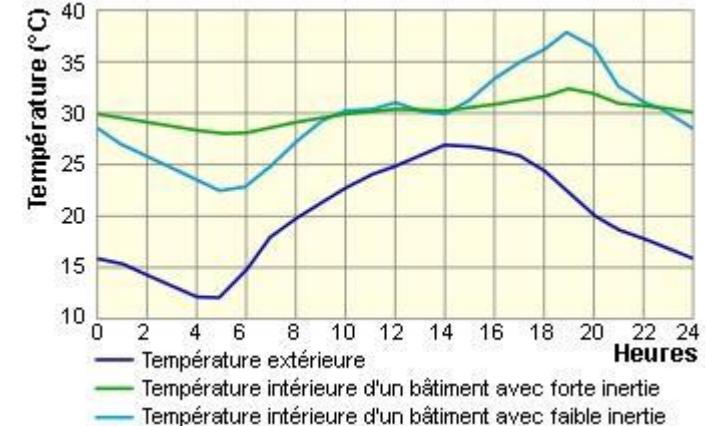
Evaluer la performance

- Autre aspect : inertie thermique
 - Principalement déterminée par les propriétés des couches superficielles. Celles-ci offriront une forte inertie si les matériaux qui la composent ont
 - Une effusivité élevée (sensation de «froid» que donne le contact avec un matériau)
 - Une diffusivité faible (déphasage important entre le moment où la chaleur arrive sur une face du mur et le moment où elle atteint l'autre face)

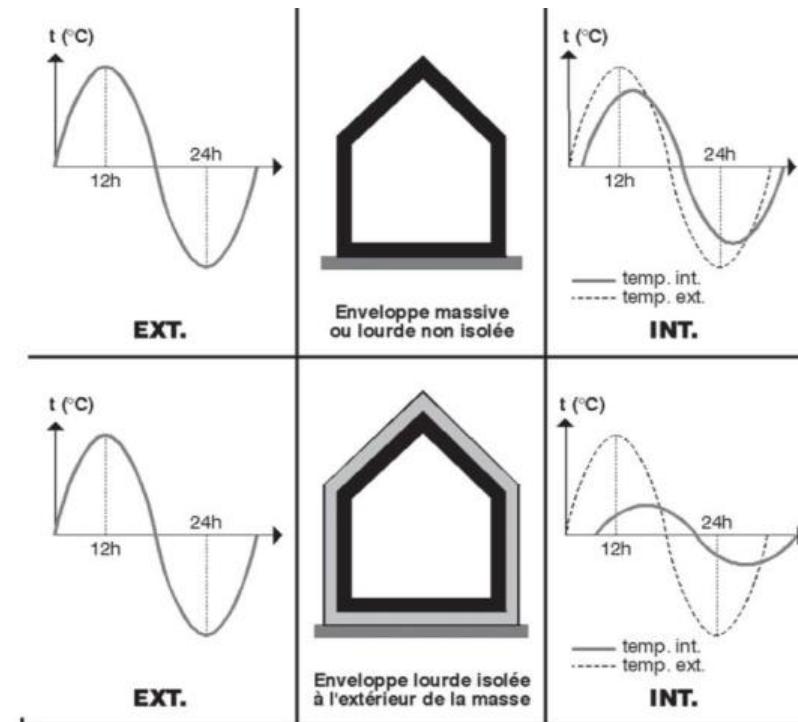
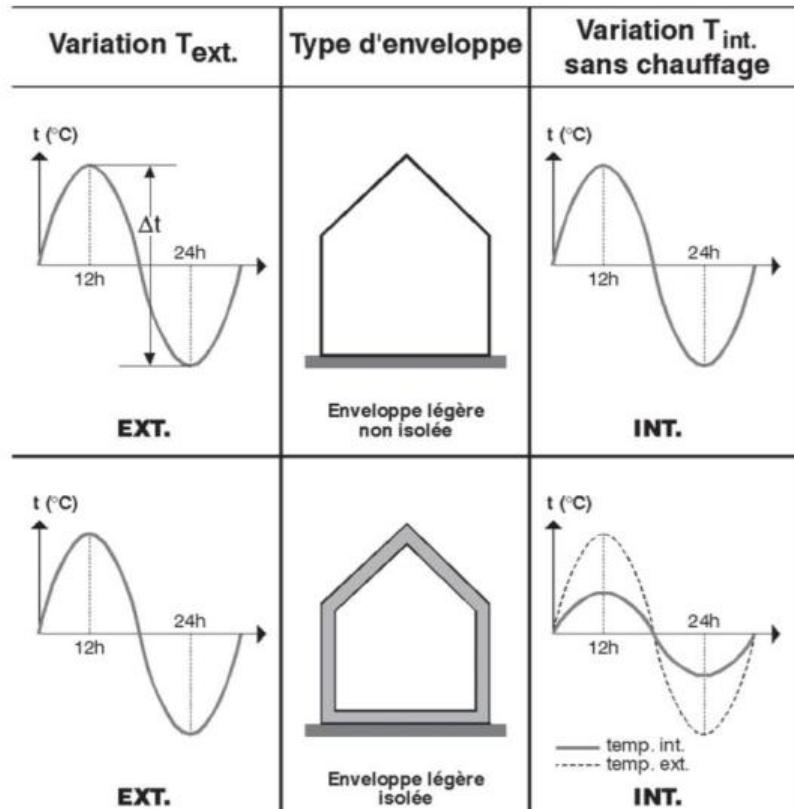
matériaux	Conductivité thermique λ [W/m.K]	Capacité thermique C [kJ/kg.K]	Densité ρ [kg/m ³]	Diffusivité thermique D [m ² /s]	Effusivité thermique E [(W/m ² K) ^{1/2}]
matériaux en contact direct avec l'ambiance intérieure					
sol					
marbre	3,5	1	2 800	16,20	52,17
pierre bleue	2,9	1	2 687	13,99	46,52
chape de béton poli	2	1	2 275	11,39	35,55
carrelage : carreaux de grès	1,2	1	2 000	7,78	25,82
carrelage : carreaux de terre cuite	0,81	1	1 700	6,18	19,56
linoléum	0,17	1,4	1 200	1,31	8,91
plancher bois (résineux)	0,13	1,88	525	1,71	5,97
tapis	0,06	1,3	200	2,99	2,08
mur					
enduit à l'argile	0,66	1	1 500	5,70	16,58
enduit chaux	0,70	0,85	1 600	6,67	16,26
enduit plâtre	0,4	1	850	6,10	9,72
fibro-plâtre	0,32	1,1	1 150	3,28	10,60
carton-plâtre	0,25	1	800	4,05	7,45

Masse et inertie thermique

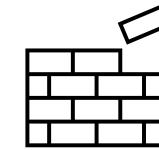
- Pour caractériser l'inertie d'une paroi complète, il faut étudier le comportement de celle-ci face à des **solicitations dynamiques**



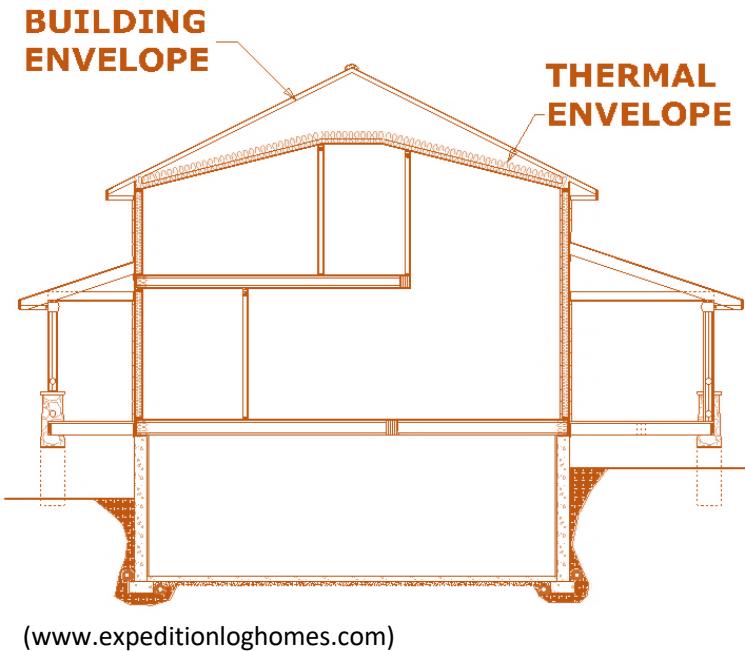
[E+, 2018]



Connaitre les murs et leur performance



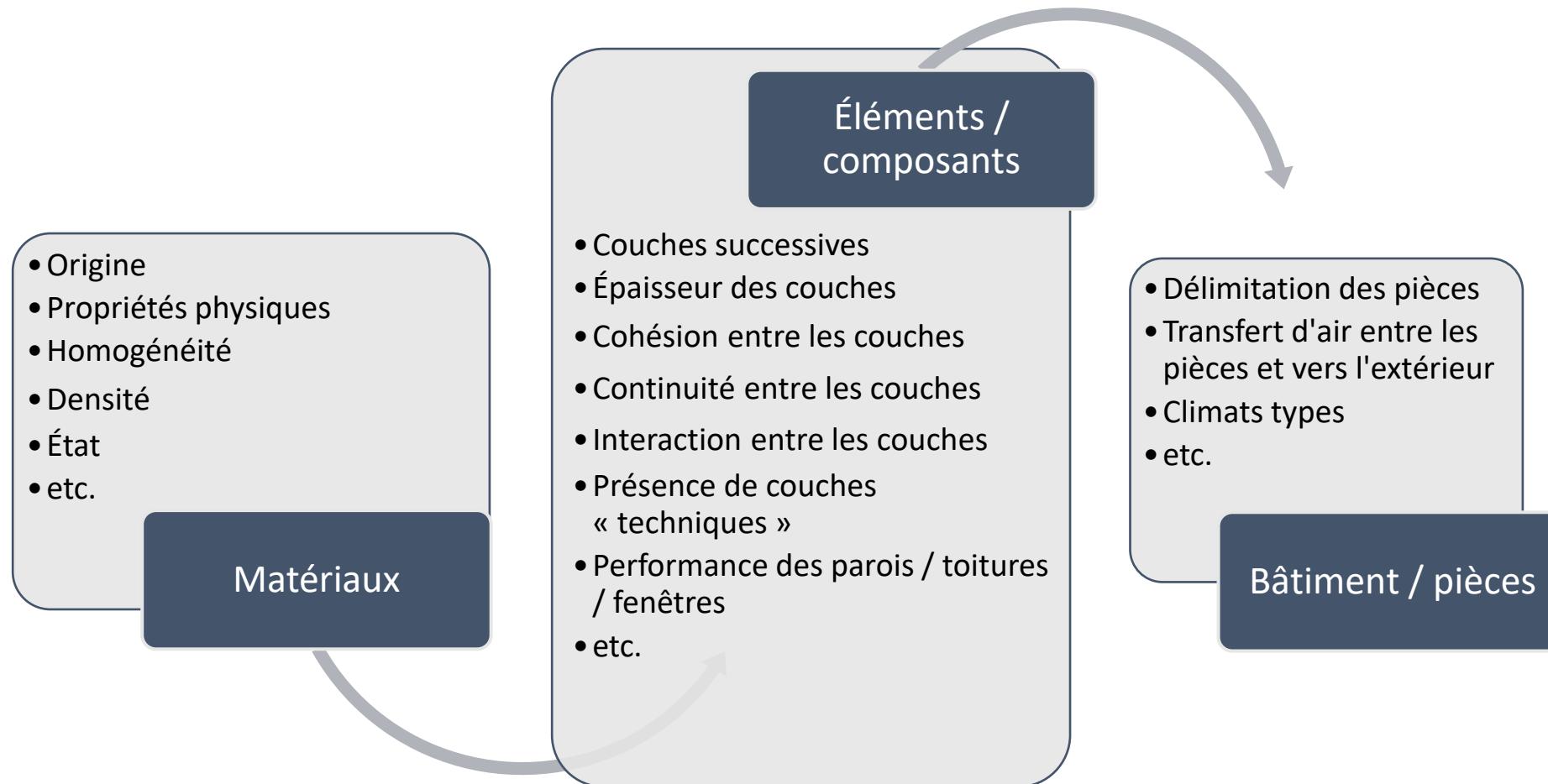
Les fonctions de l'enveloppe



L'enveloppe du bâtiment sert à créer un climat distinct, qui est séparé de l'environnement extérieur et qui assure un climat intérieur « confortable »

Protection contre :	Moyen :
Le froid en hiver	Limiter les pertes (d'énergie) Exploiter l'inertie des matériaux de construction
La chaleur extrême en été	Limiter les rayons du soleil Exploiter l'inertie des matériaux de construction
Bruit	Limiter la transmission des bruits aériens et des bruits de choc
Humidité	Empêcher l'eau de pénétrer (pluie, eaux souterraines) Empêcher la vapeur d'eau de causer des dommages dus à l'activité humaine

Paramètres à évaluer



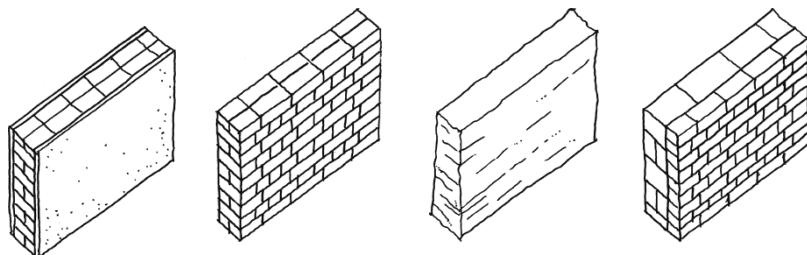
Décrire parois et géométrie

- Décrypter l'invisible!
- Faire appel aux technologies modernes!

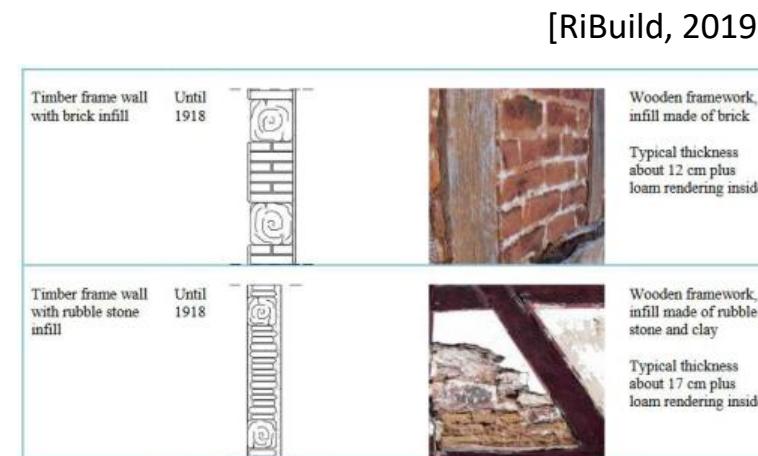


Décrire parois et géométrie

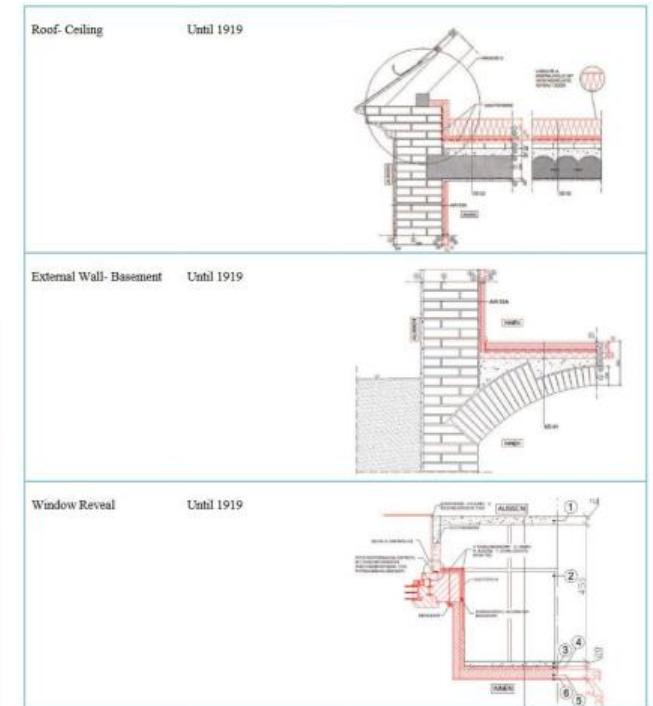
- Il est important de trouver des spécialistes qui connaissent les méthodes de construction de la région / période



[Knaack, 2011]



[RiBuild, 2019]

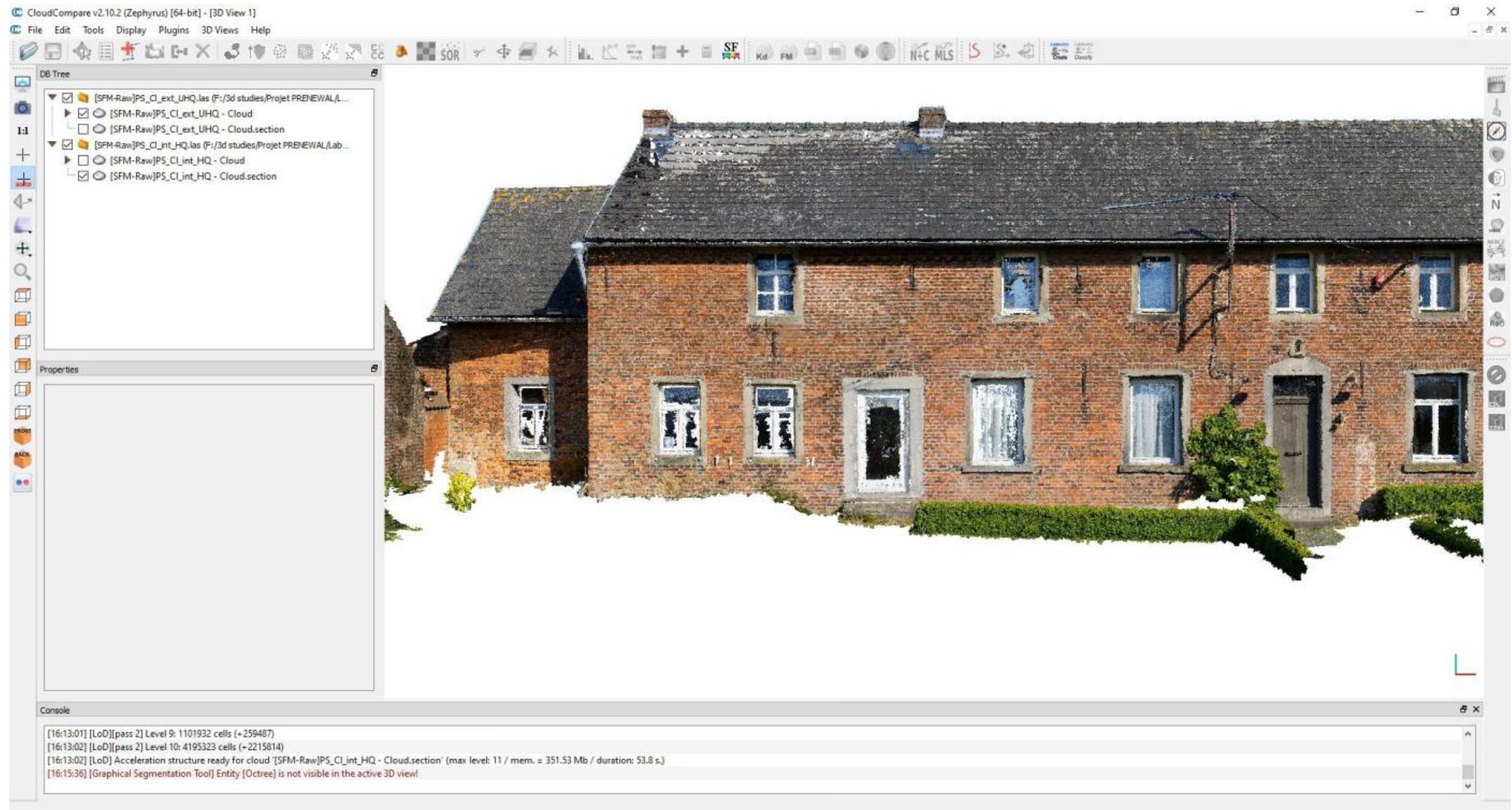


Décrire parois et géométrie

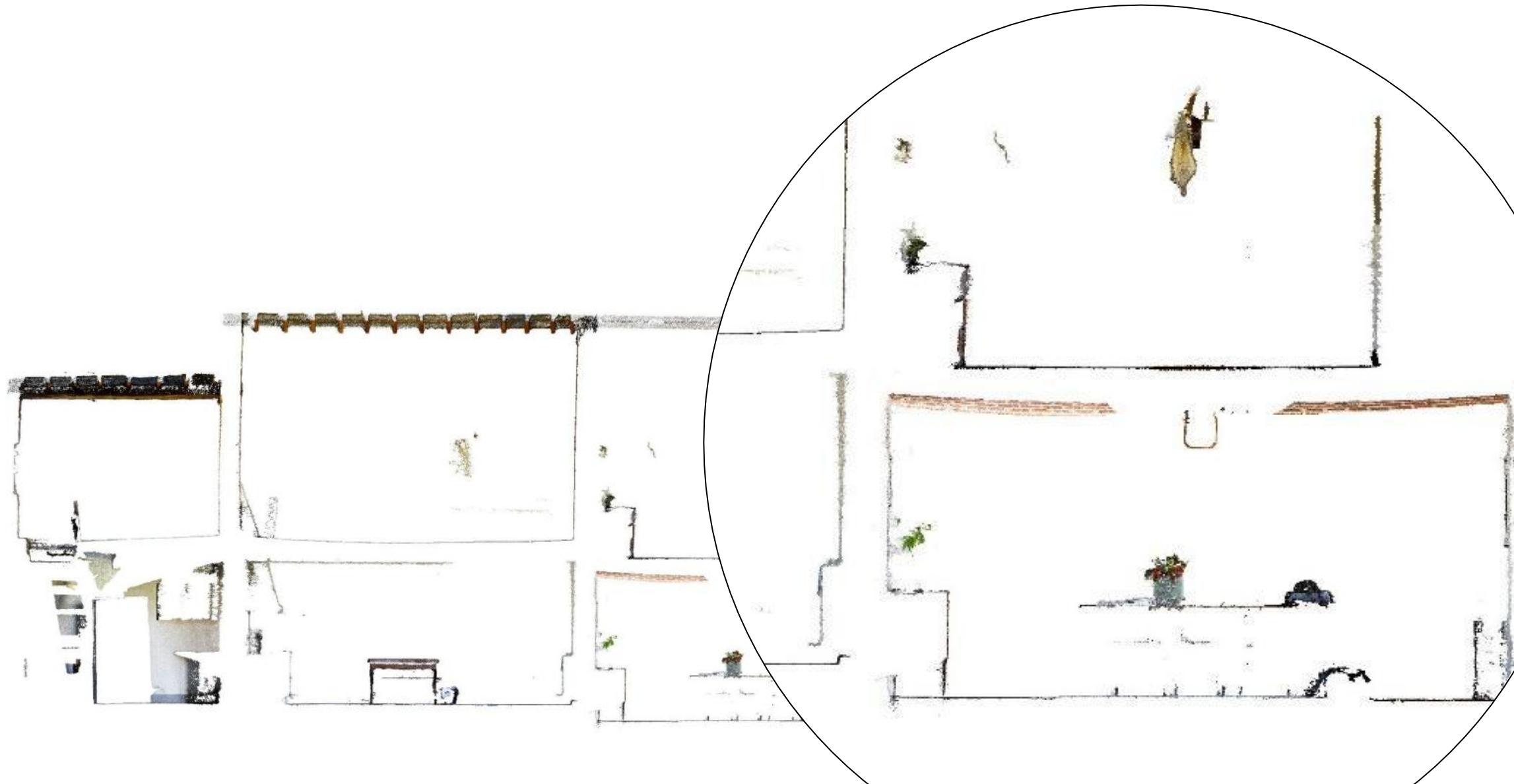
- Comprendre les agencements → Relevé 3D



Décrire parois et géométrie



Décrire parois et géométrie



Evaluer les dégâts

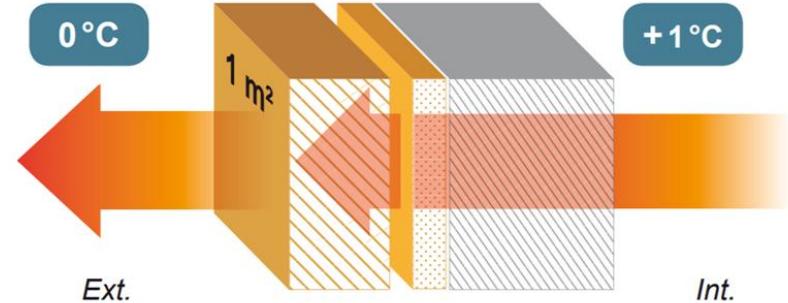
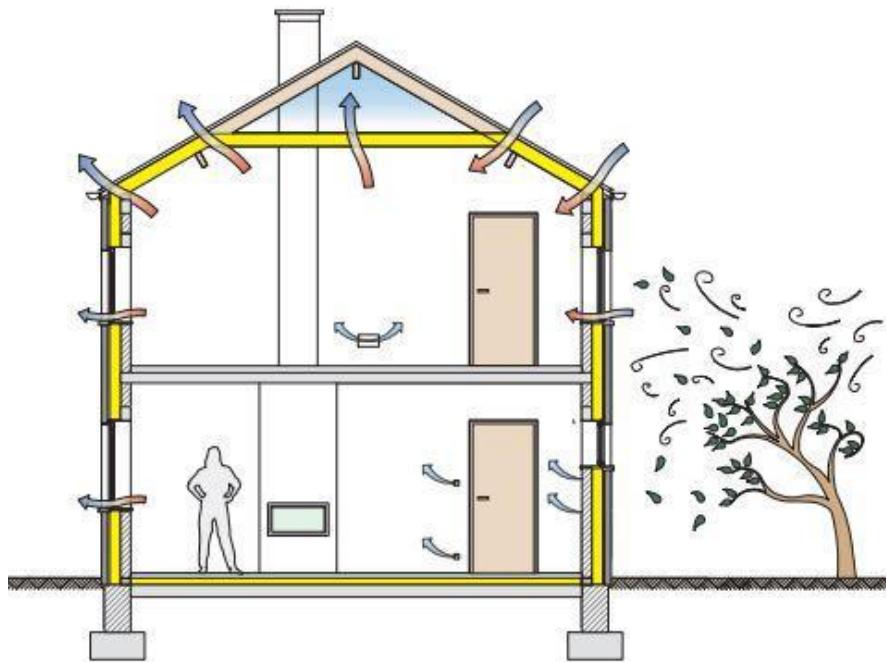
- L'étude des pathologies est courante dans le domaine du patrimoine
- L'inspection visuelle y occupe une place importante
- Les pathologies s'expriment par des symptômes
 - Principaux symptômes = **visuels**
 - ... mais aussi
 - **olfactifs** (odeurs),
 - **auditifs** (craquement des sols),
 - **sensoriels** (fenêtre qui ne se ferme plus)



Evaluer la performance de l'enveloppe

- Transmission / stockage / infiltration

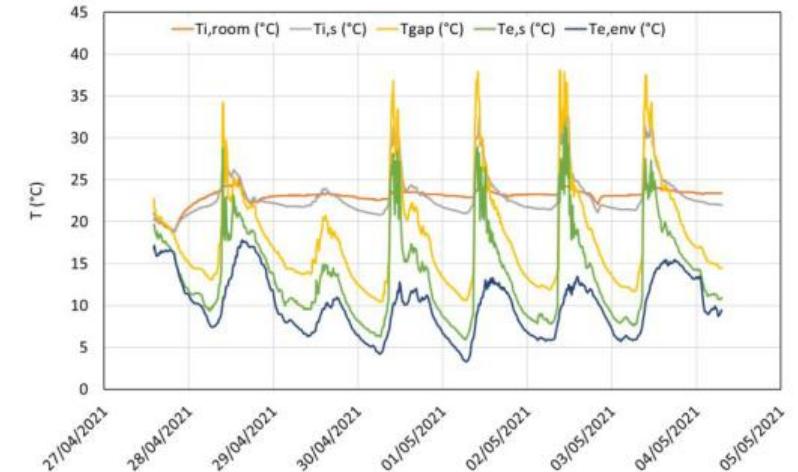
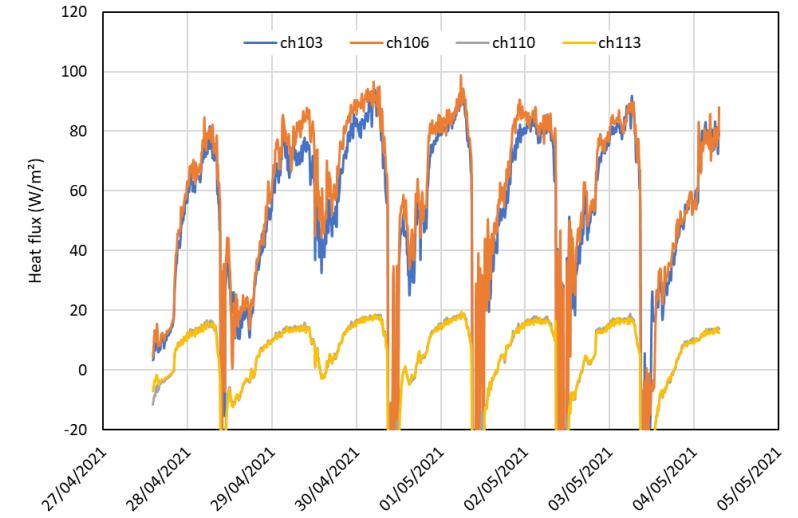
$$\vec{q} = U \cdot (T_{ext} - T_{int})$$



Evaluer la performance

- Les déperditions par transmission
 - Estimation ou mesure sur site

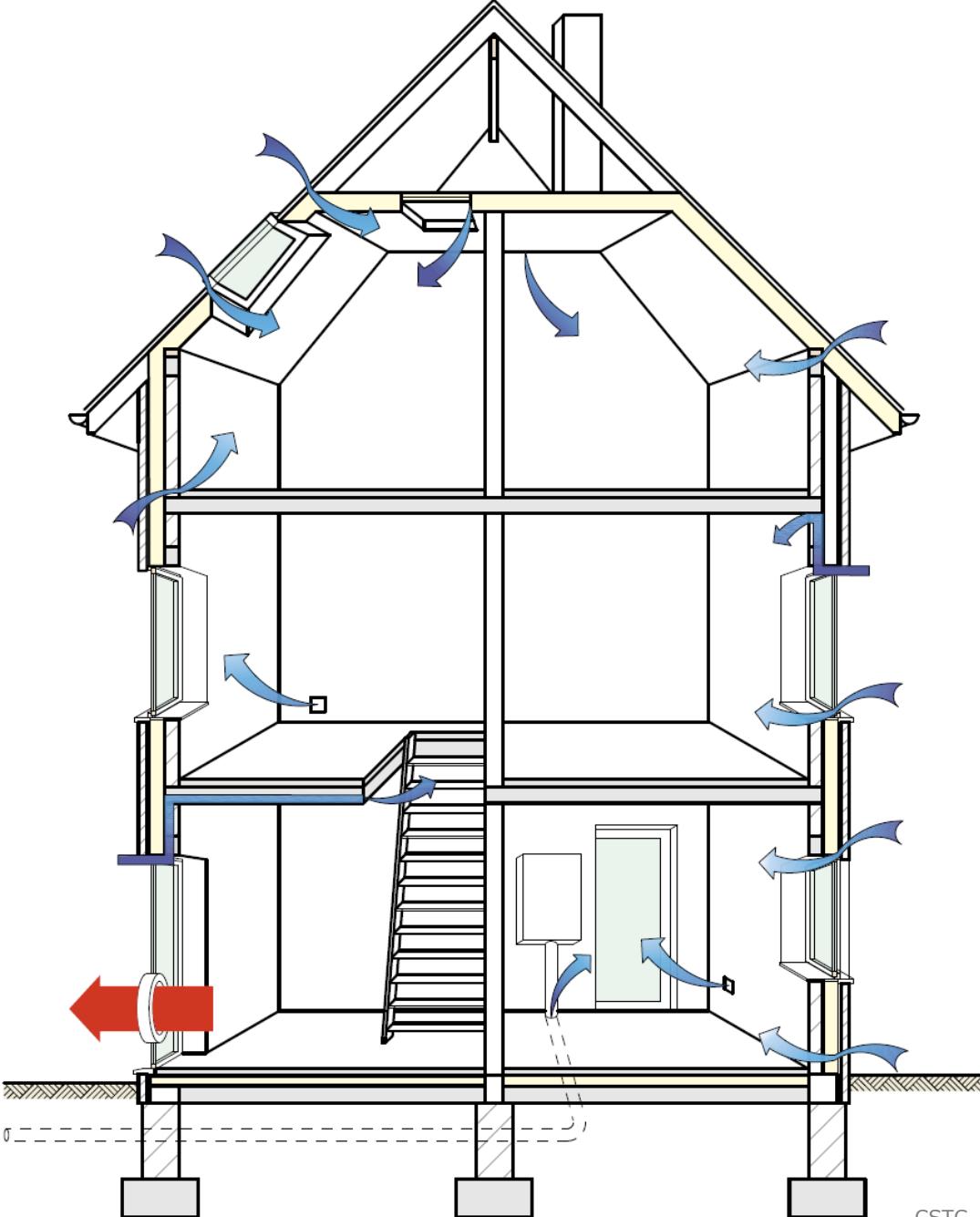
$$\vec{q} = U \cdot (T_{ext} - T_{int})$$



Etanchéité à l'air

- Evaluation – sur site

- ‘Blowerdoor’
 - Mise en (dé)pressurisation du volume à mesurer
 - Utilisation d'une porte à ventilateur
 - Règles spécifiques à suivre!

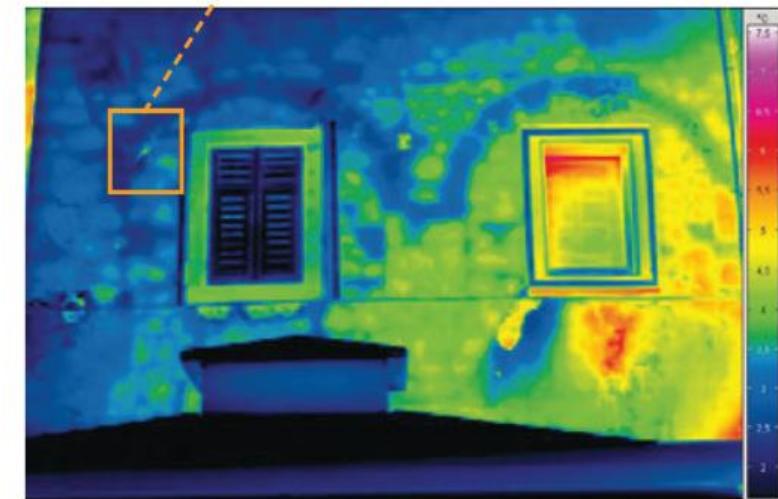


Relation ‘état-performance’

- La dernière étape consiste à mettre en relation les pathologies observées et les performances hygrothermiques
 - Performance théorique vs performance réelle
 - Qu'est-ce qui explique les (mauvaises) performances actuelles ?
 - Quelles sont les priorités absolues d'intervention?
 - Ou y-a-t-il le plus à gagner?
 - ...

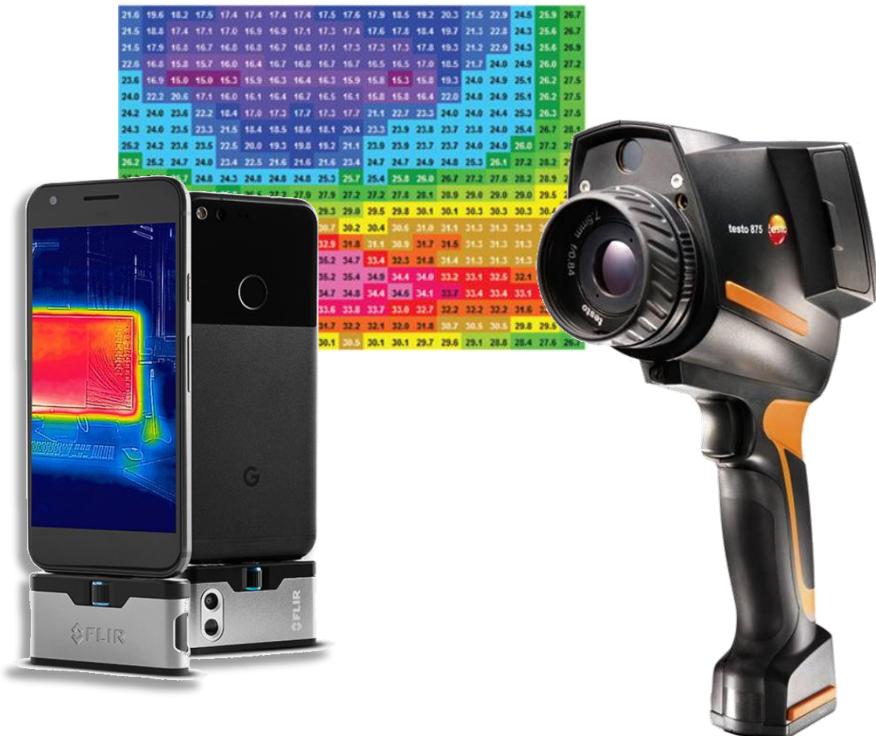


[Troi]



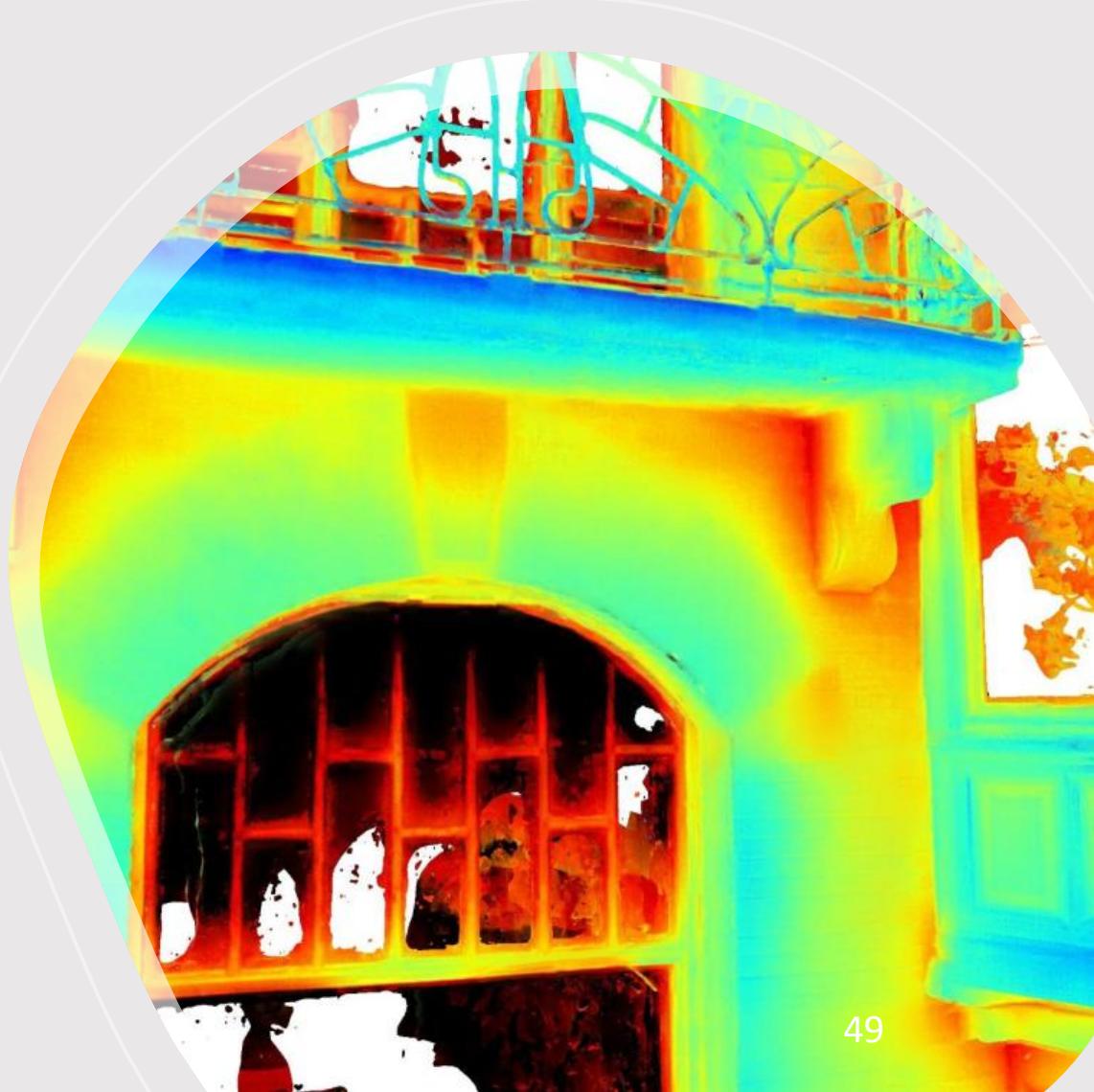
Relation ‘état-performance’

Caméra thermographique



Maison Billiet, Brugge (arch. Huib Hoste)

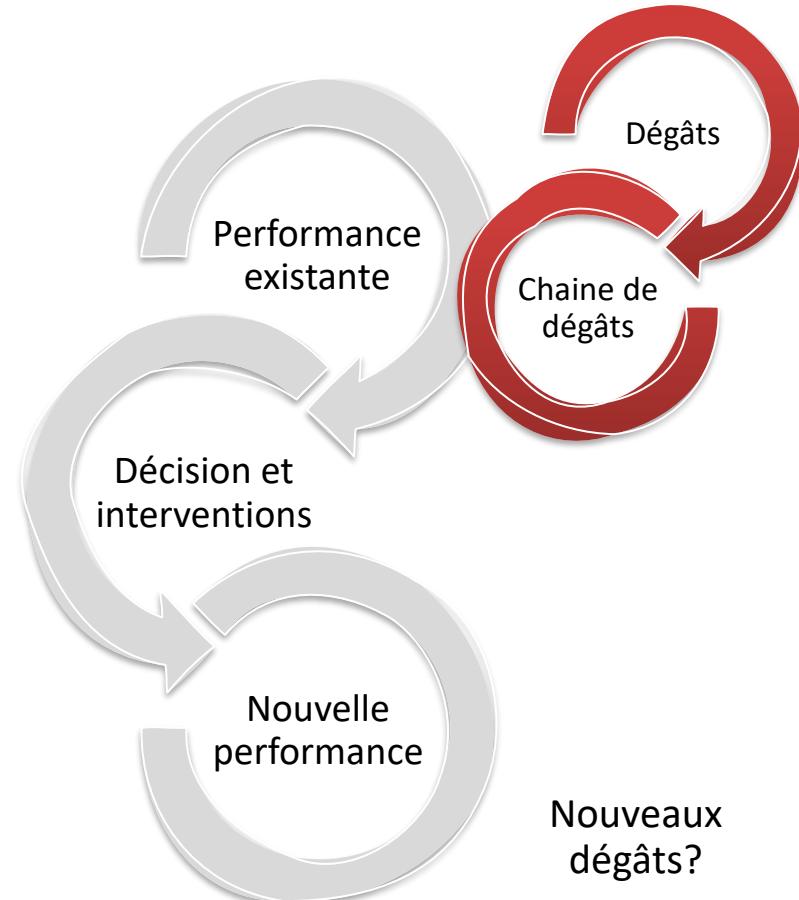




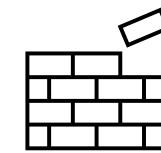


Mettre en place un programme d'intervention

- Une intervention énergétique peut fortement empirer la situation existante si:
 - Aucune remédiation n'est envisagée à une pathologie existante
 - L'impact hygrothermique de la mesure n'est pas anticipé

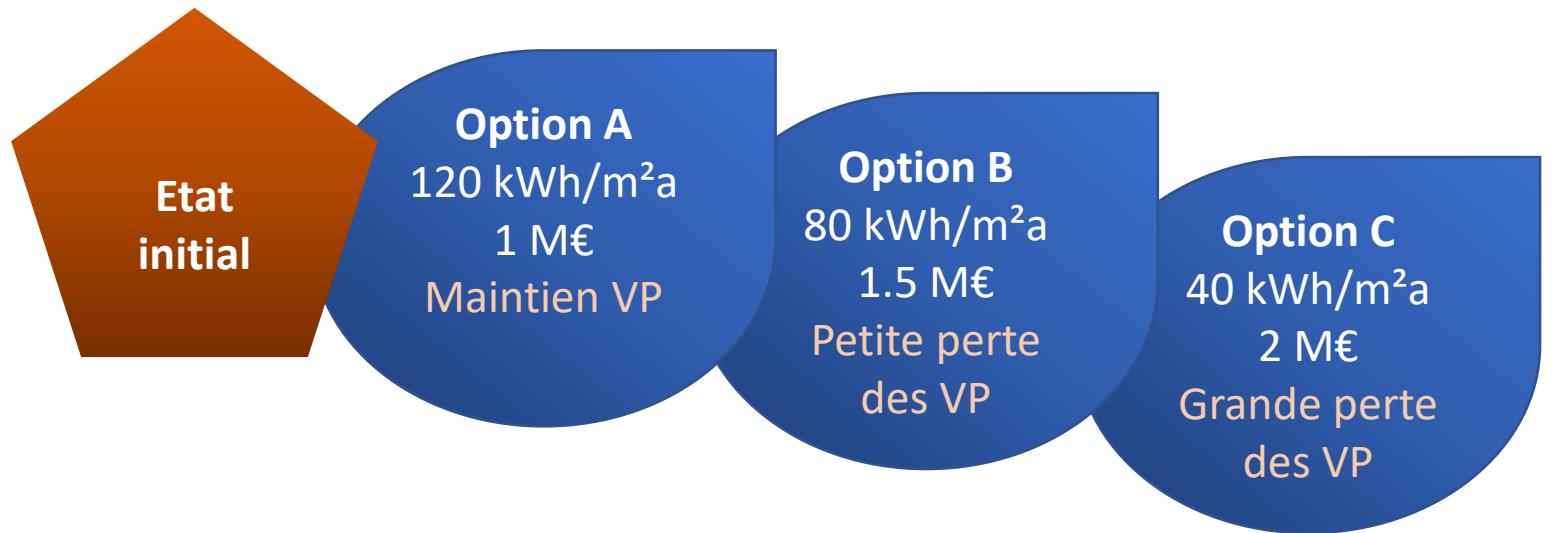


L'isolation des murs



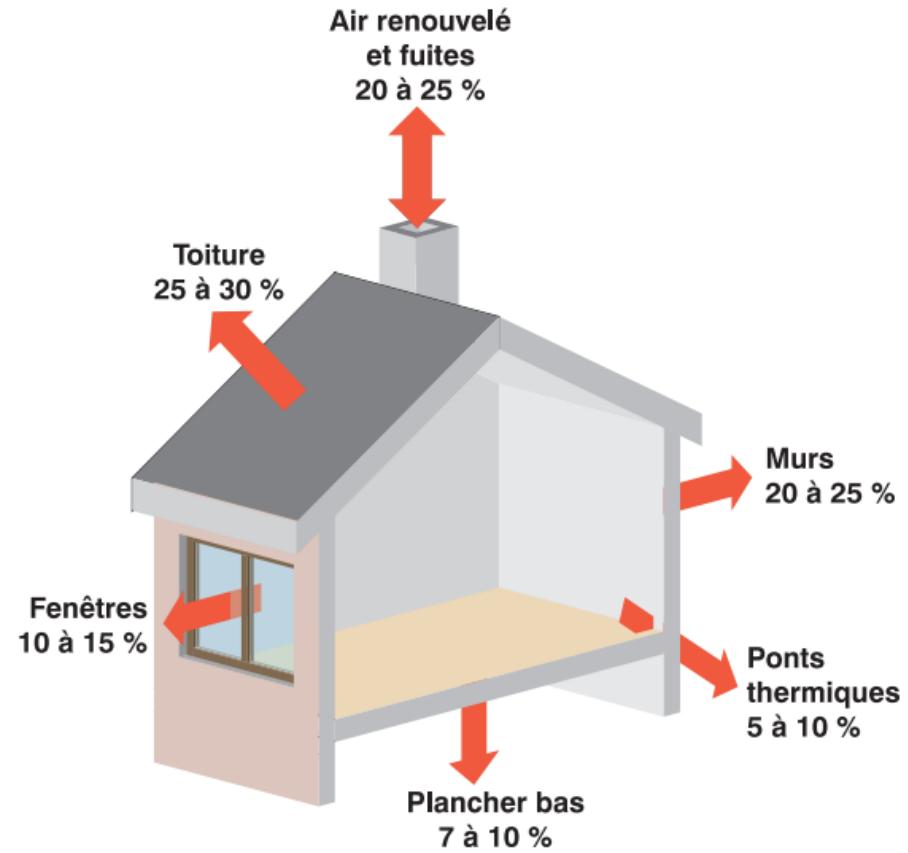
Stratégies

- Les interventions énergétiques peuvent avoir différents niveaux d'impact!
 - Impact esthétique
 - Interventions irréversibles
 - ...
- Plusieurs stratégies associées à plusieurs niveaux de perte des valeurs patrimoniales



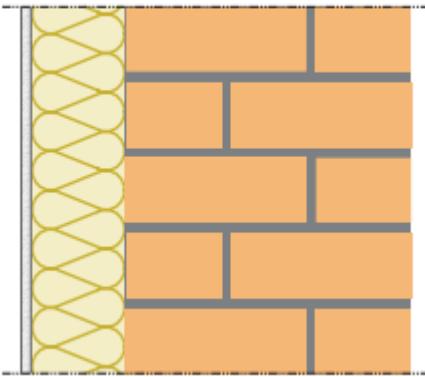
Profil type des déperditions

- **Priorité = toiture (particulièrement si espaces occupés)**
- Châssis → maintien de l'occupation!
- Façade arrière et annexes
- Façade avant en dernier?



Isolation par l'extérieur

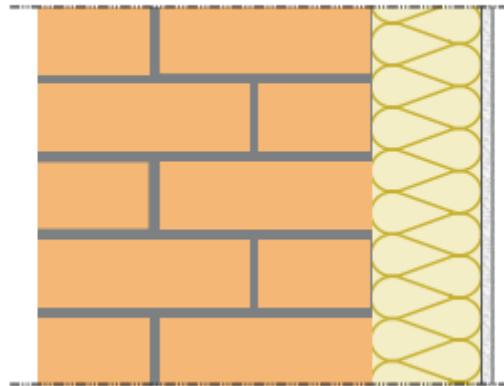
EXT. INT.



Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Continuité de l'isolant : supprime les risques de ponts thermiques locaux- Amélioration de l'étanchéité de la façade- Protège le mur du gel et de la fissuration.- Améliore l'aspect extérieur en cas de revêtement abîmé ou pas assez homogène- Masse thermique et finitions intérieures préservées- Pas de perte de surface habitable à l'intérieur	<ul style="list-style-type: none">- Modification de l'aspect extérieur et , si maisons mitoyennes, modification de l'alignement des façades : nécessité d'introduire un permis d'urbanisme dans la plupart des cas- Retours de baies doivent être isolés, seuils remplacés, etc. (diminution de la surface vitrée)- Déplacement/remplacement/adaptation des descentes d'eau, gouttières, cheneaux, etc.- Nécessité de faire appel à une entreprise spécialisée ; Coût élevé

Isolation par l'intérieur

EXT. INT.

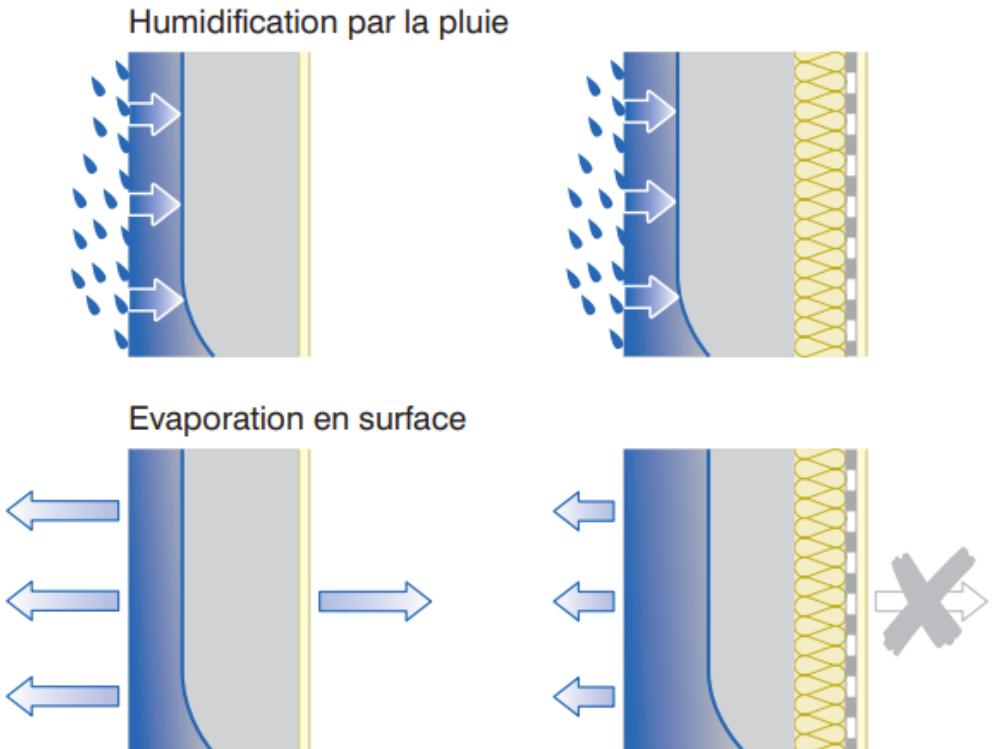


La température chute derrière
l'isolant!

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Aspect extérieur maintenu- Réalisation sans échafaudages- Grande diversité de choix au niveau des isolants- Chantier à l'abri des intempéries- Réalisation possible pièce par pièce : phasage du chantier et des dépenses- Coût moindre- Pas de permis d'urbanisme à introduire	<ul style="list-style-type: none">- Diminution de la surface habitable- Finitions intérieures (et éventuellement installations électriques ou de chauffage) à déplacer ou remplacer- Augmentation des sollicitations hygrothermiques dans le mur : risque de condensation interne, de gel, de dilatations de la maçonnerie et d'efflorescences de sels- Ponts thermiques difficiles à résoudre : risque de condensation superficielle et de formation de moisissures- Diminution de l'inertie thermique : risque de surchauffe

Isolation par l'intérieur *les principaux risques*

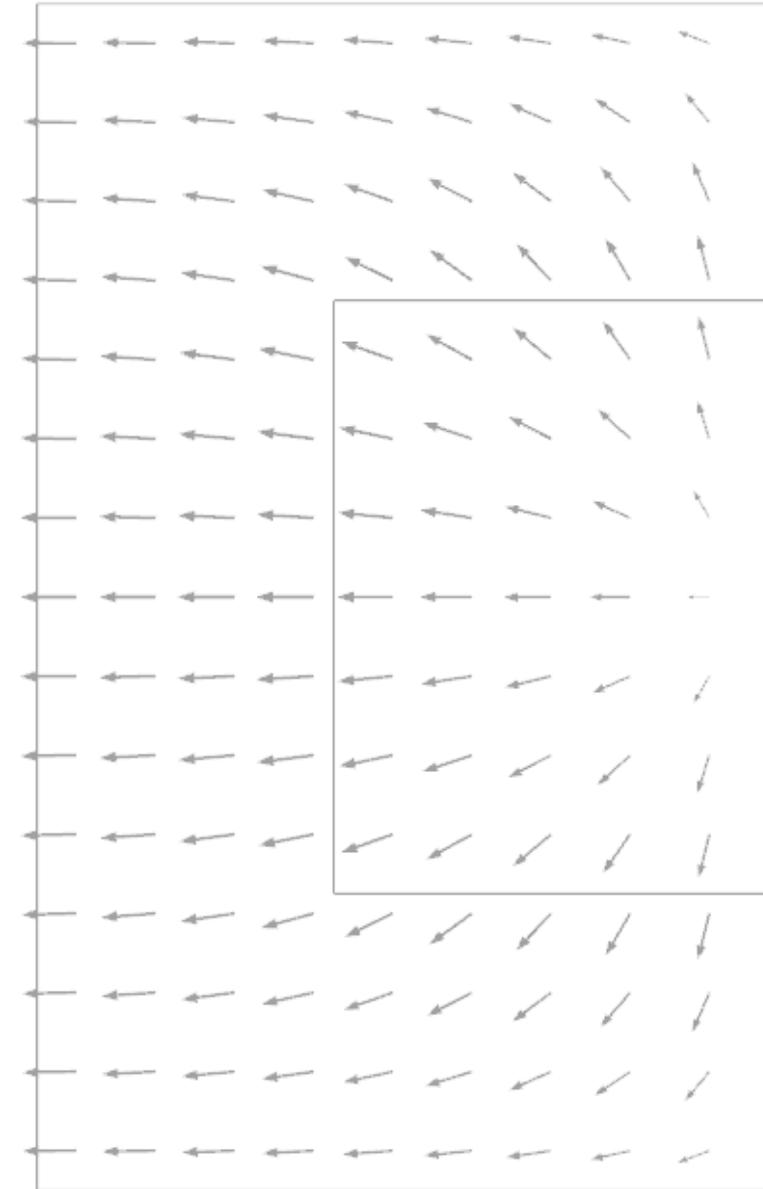
- Accentuation des dégâts dus au gel
 - Attention à l'effet sur les sels!
 - La sensibilité de la maçonnerie au gel devrait idéalement être évaluée!
 - Une plus faible épaisseur d'isolant peut modérer le risque (mais quid de la PEB...)
 - **L'application d'un hydrofuge ne fonctionnera que sur une maçonnerie en bon état**



Mur plus froid et sèche moins bien

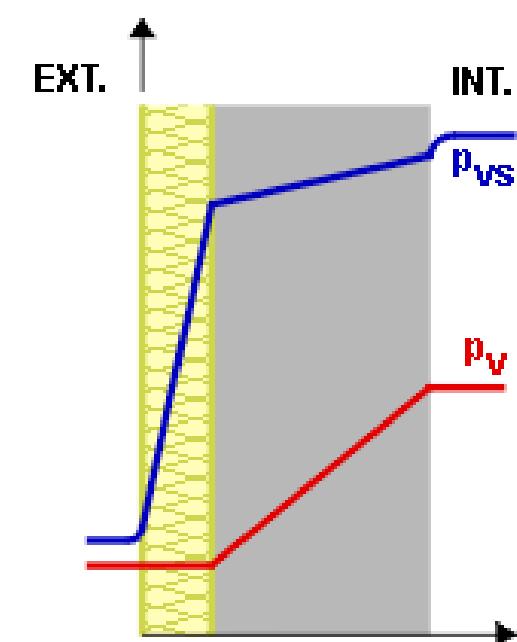
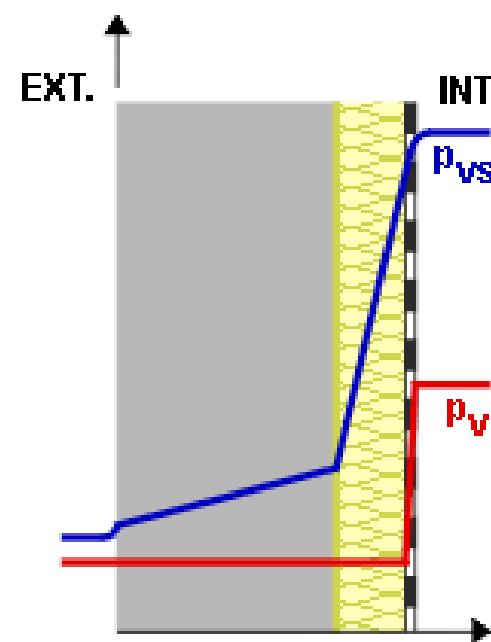
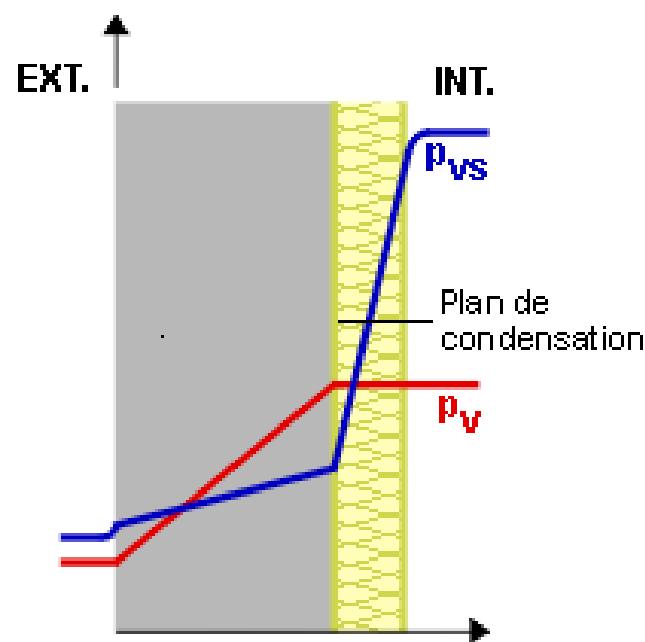
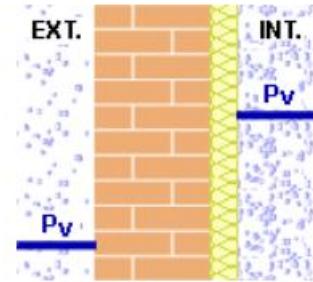
Isolation par l'intérieur *les principaux risques*

- Le mouvement de la vapeur d'eau à travers les parties de la construction est un élément clé lorsqu'on envisage l'amélioration thermique
- Changer le comportement thermique d'un mur ancien n'est pas anodin!
- Pour les bâtiments anciens il n'existe pas de solution unique, chaque bâtiment doit être considéré dans sa spécificité



Isolation par l'intérieur: *les principaux risques*

- Transport de vapeur par diffusion
 - Risque de condensation interne et position de l'isolant



Isolation par l'intérieur: *les principaux risques*

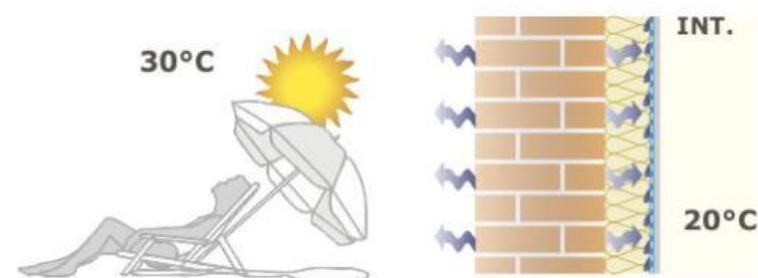
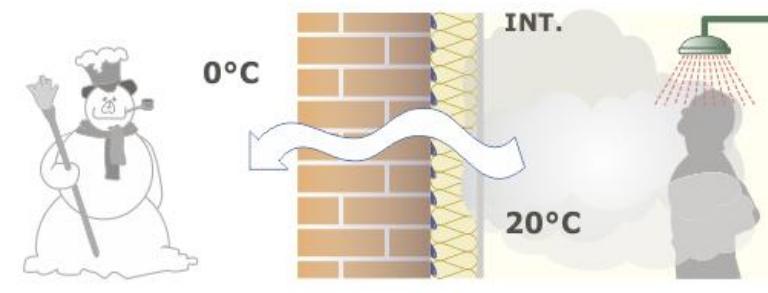
- Le transfert de vapeur au travers d'une paroi – Les classes de climat

Définition du bâtiment	Exemples	Classe	
Bâtiment avec une production de vapeur nulle ou faible.	<ul style="list-style-type: none">• lieux de stockage pour marchandises sèches• églises• salles de sport d'utilisation modérée	I	
Bâtiment bien ventilé avec une production de vapeur limitée.	<ul style="list-style-type: none">• habitations de grande dimension• écoles• magasins• bureaux non climatisés• unités de soins hospitaliers	II	
Bâtiment d'utilisation intense.	<ul style="list-style-type: none">• habitations sociales• flats• maisons de soins• bâtiments faiblement climatisés ($HR < 60\%$)	III	
Bâtiment avec une production de vapeur élevée.	<ul style="list-style-type: none">• piscines• locaux industriels humides• blanchisseries• bâtiments fortement climatisés ($HR > 60\%$)	IV	

Isolation par l'intérieur: *les principaux risques*

- Transport de vapeur par diffusion

- Risque primaire:
 - Migration de la vapeur due aux activités de l'intérieur vers l'extérieur
- Risque secondaire:
 - Séchage du mur en été et migration de vapeur depuis le mur vers le pare-vapeur



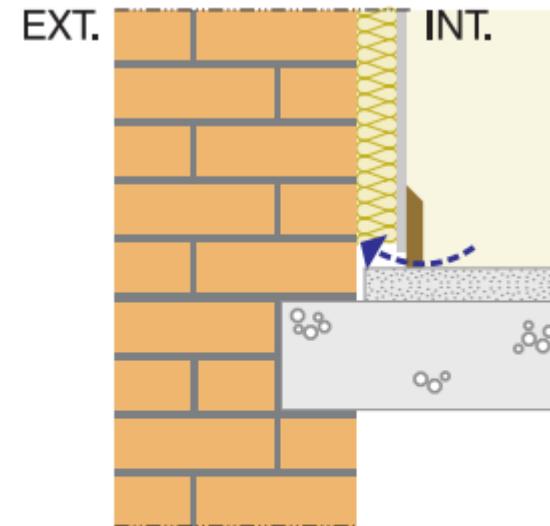
Isolation par l'intérieur: *les principaux risques*

- Condensation interne derrière l'isolant



Isolation par l'intérieur: *les principaux risques*

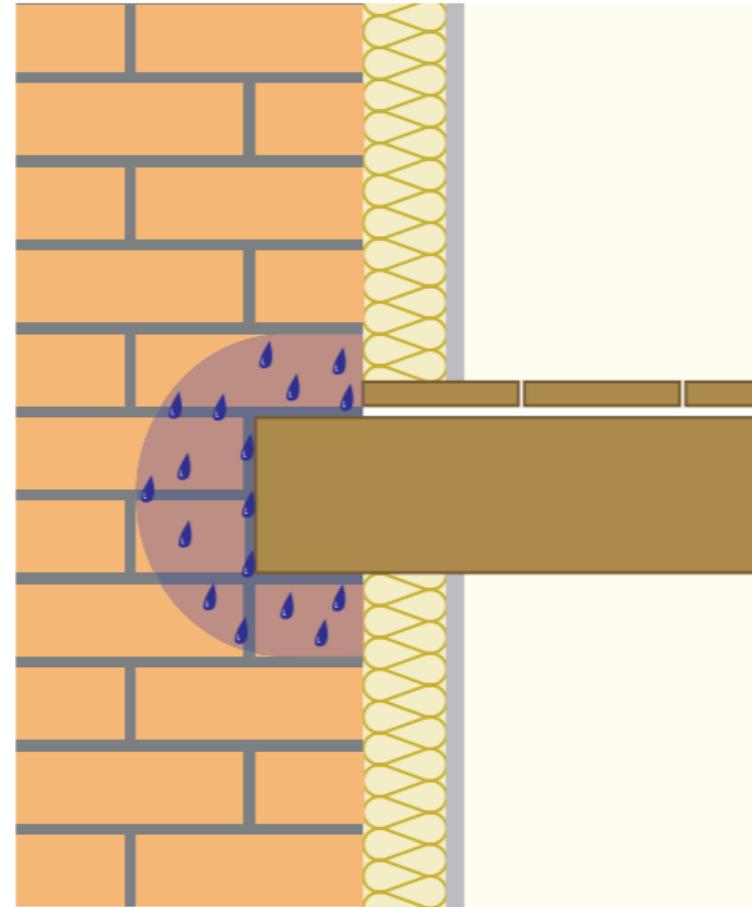
- Transport de vapeur par convection
 - Implique un mouvement d'air!
 - Lié aux défauts d'étanchéité à l'air
 - Concentration locale → dégâts importants!
 - Cause?
 - Mauvaise conception
 - Mauvaise exécution
 - Percements...



Effet de convection entre l'ambiance intérieure et l'arrière du complexe isolant.

Isolation par l'intérieur: *les principaux risques*

- Dégâts cachés
 - Isoler une paroi n'est pas un acte anodin!
 - C'est dans l'isolant que se produit la chute de température la plus importante
 - Toujours réfléchir aux impacts cachés!



Isolation par l'intérieur: *les principaux risques*

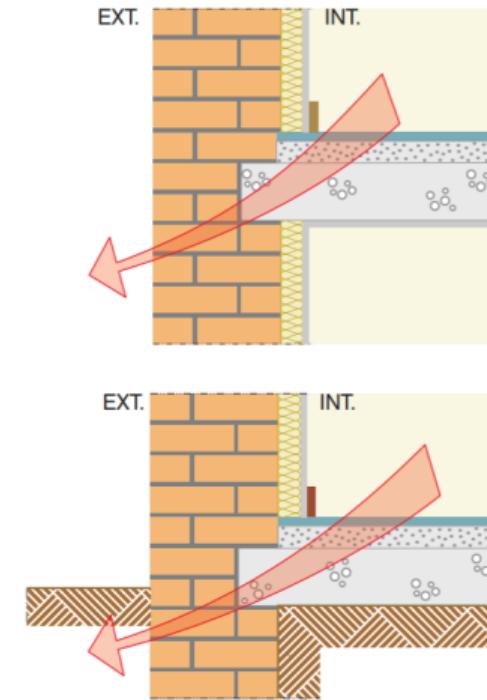
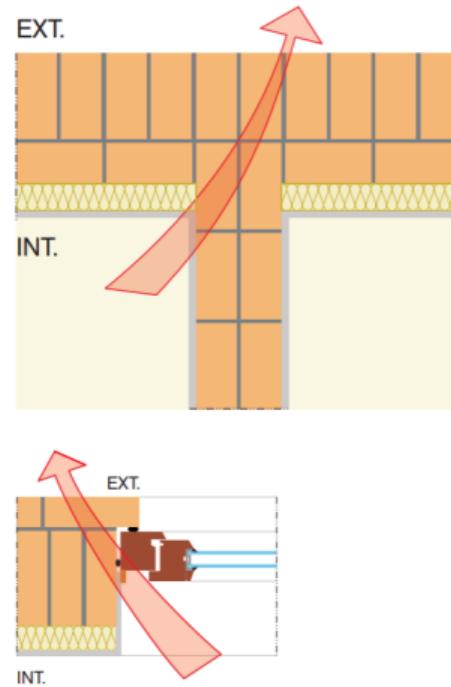
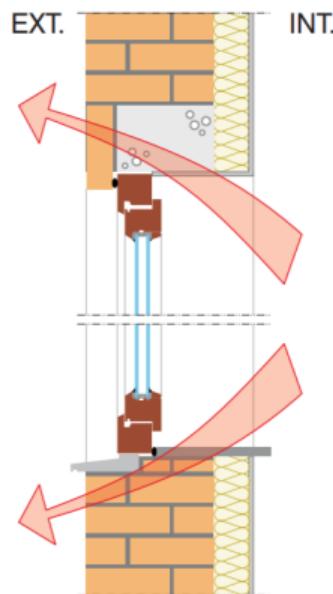
- Dégâts cachés
 - Isoler une paroi n'est pas un acte anodin!
 - C'est dans l'isolant que se produit la chute de température la plus importante
 - Toujours réfléchir aux impacts cachés!



Fraunhofer IBP

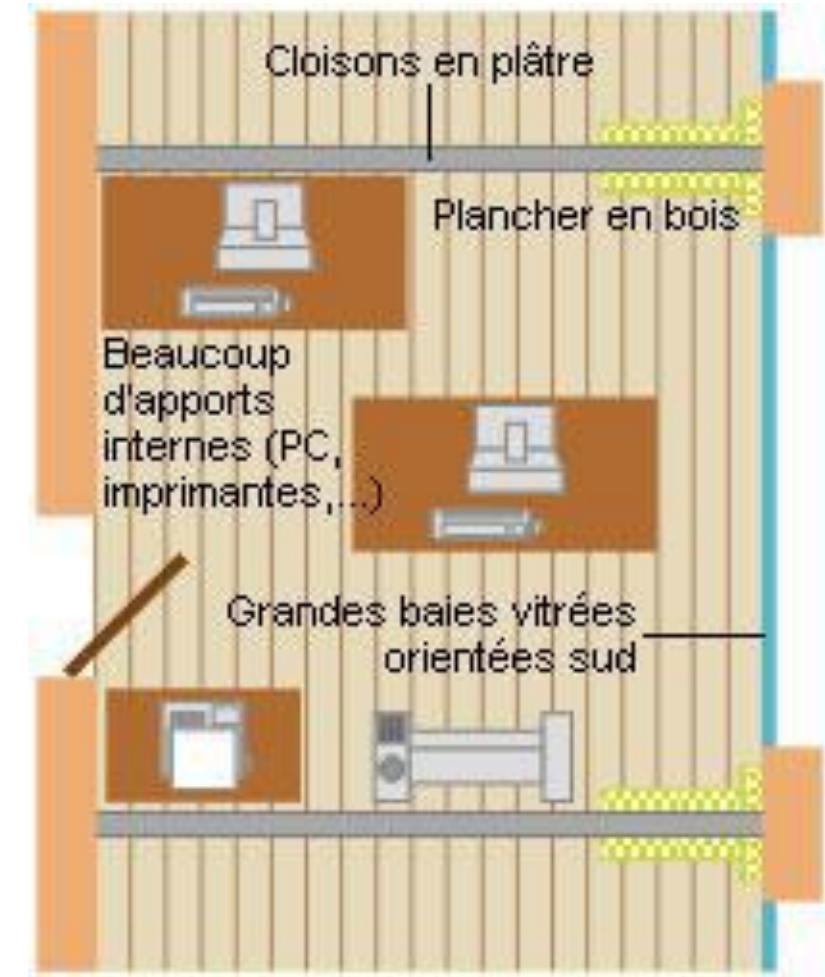
Isolation par l'intérieur: *les principaux risques*

- Exemples de ponts thermiques liés à la réalisation d'une isolation par l'intérieur



Isolation par l'intérieur: *les principaux risques*

- Gains internes et perte d'inertie
→ Surchauffe!



Analyse de faisabilité – les grandes questions

Est-ce que l'isolation des murs est la priorité?

L'objectif est-il énergétique, hygrothermique, ou de confort ?

Est-ce que les pierres de façade ont des sensibilités connues?

Est-ce que les murs présentent des pathologies?

Est-ce que les climats intérieur et extérieur (local) sont ‘à risque’?

Analyse de faisabilité

- Les critères à considérer!

↓ Etat	Technique applicable	Applicabilité inconnue (contrôles ou études complémentaires nécessaires)	Technique déconseillée en l'état (des interventions visant à corriger les défauts constatés peuvent rendre la technique applicable)
Dégâts visibles	Pas de dégâts visibles et pas de source d'humidité (mesure du taux d'humidité)	Pas de dégâts visibles, mais présence d'humidité (mesure du taux d'humidité) susceptible d'en provoquer après la pose de l'isolation	Présence de taches d'humidité, front d'humidité, sels efflorescents, algues, fissures, écaillage superficiel des briques à l'extérieur (sensibilité au gel)
Typologie de la façade et exposition à la pluie			
	Maçonnerie pleine dont l'épaisseur est constituée d'au moins deux briques (une brique et demie ou moins si exposition limitées à la pluie) ²	Maçonnerie pleine dont l'épaisseur est constituée d'une brique et demie en cas d'exposition à la pluie d'intensité moyenne ou élevée ²	Maçonnerie pleine dont l'épaisseur est constituée d'une seule brique en cas d'exposition à la pluie d'intensité moyenne à élevée ²
	Mur massif en béton armé		
	Mur creux		
	Mur intérieur		
Installations techniques			
	Pas de conduites d'eau ou d'autres conduites sensibles à l'humidité ou au gel dans la façade		Présence de conduites d'eau ou d'autres conduites sensibles à l'humidité ou au gel dans la façade
	Absence d'installations techniques nécessitant le percement de l'isolant (mise en œuvre facilitée)		
Planchers intermédiaires			
	Plancher en béton ou structure en bois non encastrée dans la façade à isoler	Structure portante en bois sans dégradation encastrée dans la façade à isoler	Structure portante en bois avec dégradation encastrée dans la façade à isoler
¹ L'isolation par l'intérieur accentuera les sollicitations thermiques et donc les effets liés au gel. Des dégâts pourraient survenir après l'isolation des façades. Ceux-ci concerteront essentiellement les zones fortement humidifiées et les façades exposées aux pluies battantes. Seule l'application d'une protection extérieure étanche à l'eau permettra d'éviter ce risque.			
² On considère que l'exposition à la pluie est limitée pour les façades orientées du nord-ouest au sud-est (en passant par le nord).			

Le choix d'un système

SYSTÈMES HYGROSCOPIQUES PERMÉABLES À LA VAPEUR AVEC OU SANS STRUCTURE PORTEUSE

Charge de pluie battante	Type de maçonnerie	KK I – KK II	KK III
Négligeable	Tous types	R ≤ 4	R ≤ 4
Faible	Maçonnerie de briques d'une épaisseur d'une brique (~19 cm)	R ≤ 2	R ≤ 0,5
	Maçonnerie de briques d'une épaisseur d'une brique et demie (~29 cm)	R ≤ 4	R ≤ 0,5
	Maçonnerie de briques d'une épaisseur de deux briques ou plus (~39 cm) ou avec une composition de mur favorable (voir tableau 5.2, p. 50)	R ≤ 4	R ≤ 1
Élevée	Maçonnerie de briques d'une épaisseur d'une brique (~19 cm)	Déconseillé	Déconseillé
	Maçonnerie de briques d'une épaisseur d'une brique et demie (~29 cm)	R ≤ 4	R ≤ 0,5
	Maçonnerie de briques d'une épaisseur de deux briques ou plus (~39 cm)	R ≤ 4	R ≤ 1

Choisir un isolant

- La sainte valeur lambda

Type d'isolant	Epaisseur d'isolant en cm																
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
MW									$\lambda = 0,04$			$\lambda = 0,05$					
EPS							$\lambda = 0,031$					$\lambda = 0,05$					
PUR	$\lambda = 0,023$							$\lambda = 0,035$									
PF	$\lambda = 0,021$										$\lambda = 0,045$						
WF								$\lambda = 0,039$				$\lambda = 0,06$					
CG							$\lambda = 0,038$				$\lambda = 0,055$						
XPS			$\lambda = 0,029$						$\lambda = 0,045$								
MW						$\lambda = 0,032$					$\lambda = 0,05$						
EPS						$\lambda = 0,032$					$\lambda = 0,05$						
PUR			$\lambda = 0,023$				$\lambda = 0,035$										
PF			$\lambda = 0,021$							$\lambda = 0,045$							
WF							$\lambda = 0,038$				$\lambda = 0,06$						
CEL								$\lambda = 0,039$									
XPS					$\lambda = 0,029$				$\lambda = 0,045$								

► Isolants

Densité ρ kg/m³	Epaisseur d m	Masse par m² m kg/m²	Isolation		Inertie			Humidité			Isolation		Inertie		Humidité	
			λ	C	ρC	Diffusivité m^2/s	Effusivité $J/m^2Ks^{1/2}$	μ sec	μ hum.	A	U	$d\rho C$	μd sec	μd hum.		
			W/mK	J/kgK	kJ/m³K			/	/	kg/m²s ^{1/2}	W/m²K	kJ/m²K	m	m		

ISOLANTS A BASE MINERALE

Panneau de laine de roche	100	0,12	12	0,035	1030	103,00	0,34	60,04	2	1	[0]	0,292	12,36	0,24	0,12
Panneau de laine de verre	50	0,12	6	0,035	1030	51,50	0,68	42,46	2	1	[0]	0,292	6,18	0,24	0,12
Panneau de verre cellulaire	110	0,14	15,4	0,040	1000	110,00	0,36	66,33	[∞]	[∞]	[0]	0,286	15,40	[∞]	[∞]
Panneau de silicate de calcium	270	0,25	67,5	0,070	1000	270,00	0,26	137,48	3	1	1,2	0,280	67,50	0,75	0,25

ISOLANTS A BASE SYNTHETIQUE

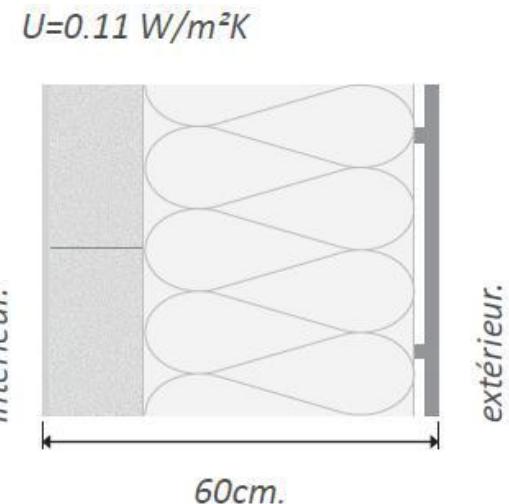
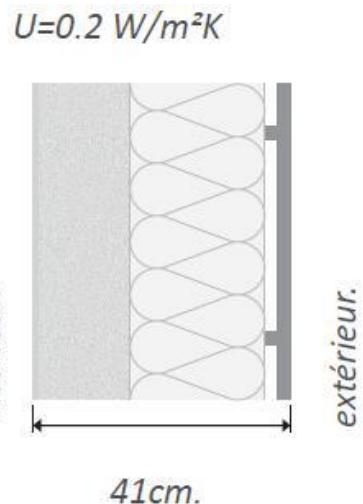
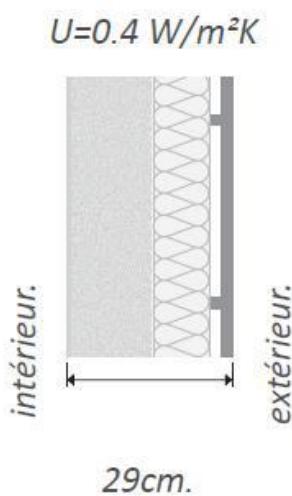
Panneau de polystyrène expansé (EPS)	25	0,12	3	0,035	1450	36,25	0,97	35,62	100	40	[0]	0,292	4,35	12,00	4,80
Panneau de polystyrène extrudé (XPS)	38	0,11	4,18	0,032	1450	55,10	0,58	41,99	200	80	[0]	0,291	6,06	22,00	8,80
Panneau de polyuréthane	30	0,08	2,4	0,023	1400	42,00	0,55	31,08	100	30	[0]	0,288	3,36	8,00	2,40

ISOLANTS A BASE DE FIBRES NATURELLES

Cellulose en vrac	40	0,14	5,6	0,041	2150	86,00	0,48	59,38	2	1	0,3	0,293	12,04	0,28	0,14
Matelas souple de cellulose	50	0,14	7	0,040	2150	107,50	0,37	65,57	2	1	0,3	0,286	15,05	0,28	0,14
Matelas souple de fibres de bois	75	0,13	9,75	0,038	2100	157,50	0,24	77,36	5	3		0,292	20,48	0,65	0,39
Panneau rigide de fibres de bois	160	0,14	22,4	0,040	2100	336,00	0,12	115,93	5	3	0,007	0,286	47,04	0,70	0,42
Panneau de liège	120	0,14	16,8	0,040	1600	192,00	0,21	87,64	30	5	[0]	0,286	26,88	4,20	0,70
Panneau semi-rigide de fibres de chanvre	30	0,14	4,2	0,040	1600	48,00	0,83	43,82	2	1		0,286	6,72	0,28	0,14
Mélange chaux-chanvre	440	0,38	167,2	0,110	1560	686,40	0,16	274,78	5	3	0,07	0,289	260,83	1,90	1,14



Mur massif :
bloc porteur béton, isolant ($\lambda=0.04$ W/mK), pare-pluie et bardage.

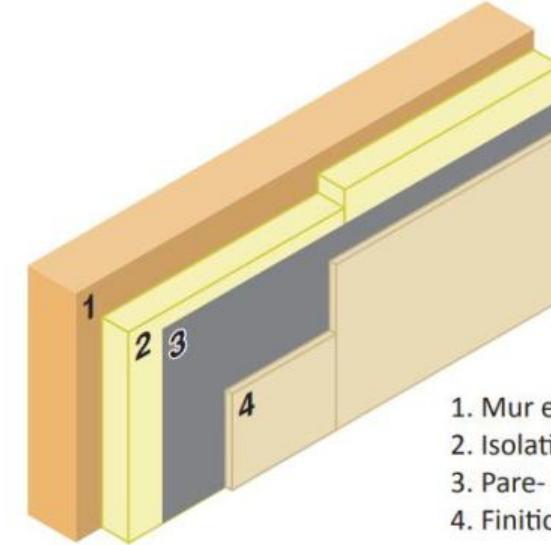
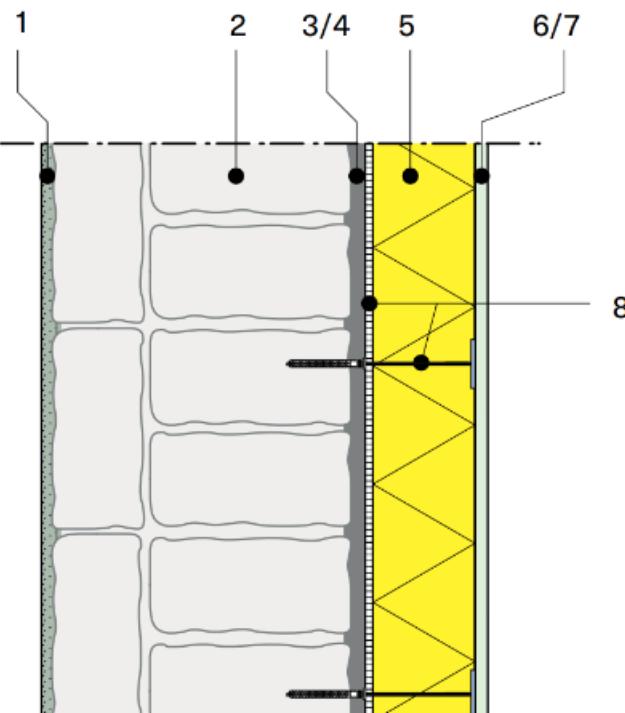


[Massart,2010]

Meilleure performance thermique = maçonnerie plus froide!

Systèmes constructifs

- Panneaux isolants collés ou fixés mécaniquement
 - EPS/XPS/PUR/Fibre de bois...
 - Les panneaux doivent être bien jointifs



1. Mur existant en briques
2. Isolation rigide collée
3. Pare- ou freine-vapeur
4. Finition intérieure

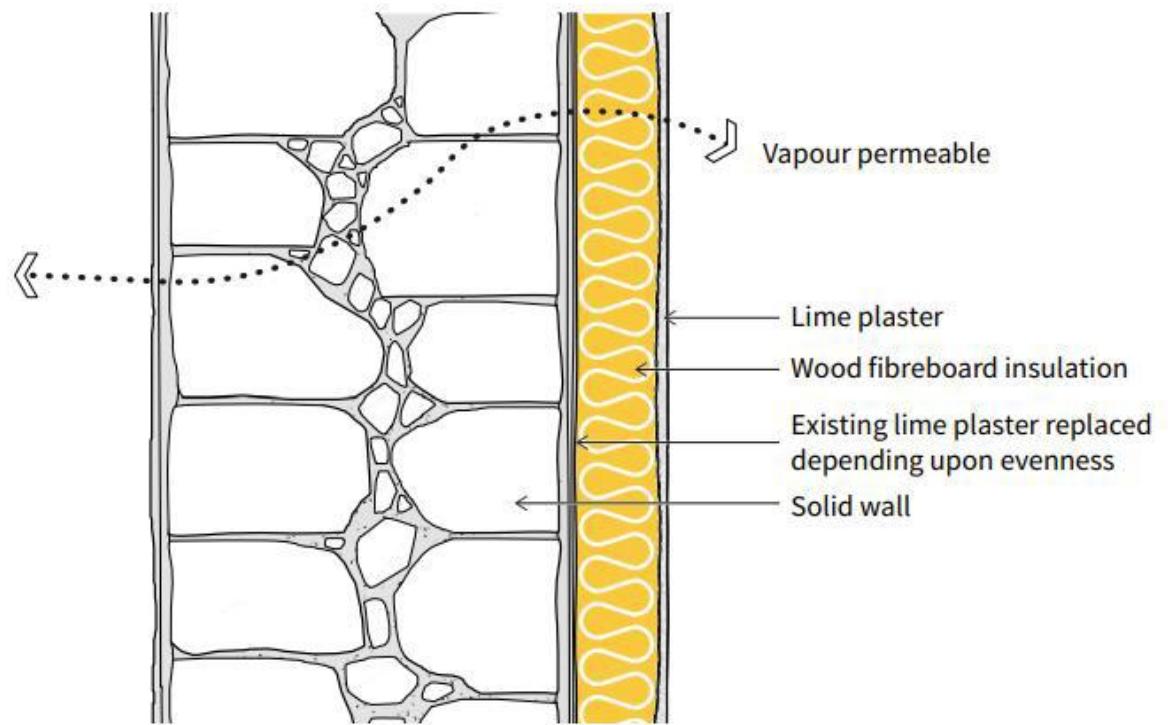
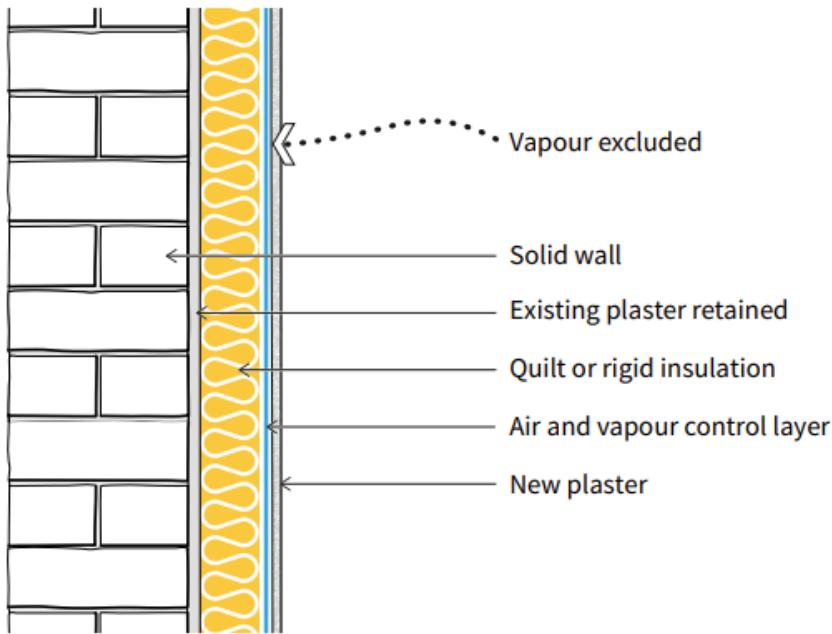


Gérôme Forthomme, architecte

Isolation réalisée à l'aide de panneaux de fibre de bois.

Systèmes constructifs

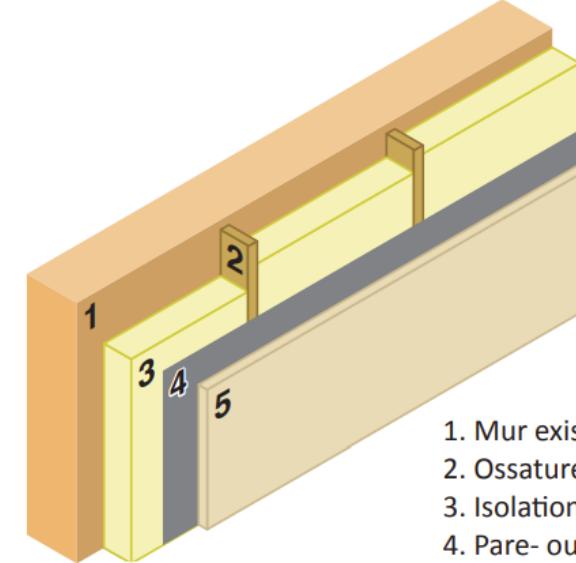
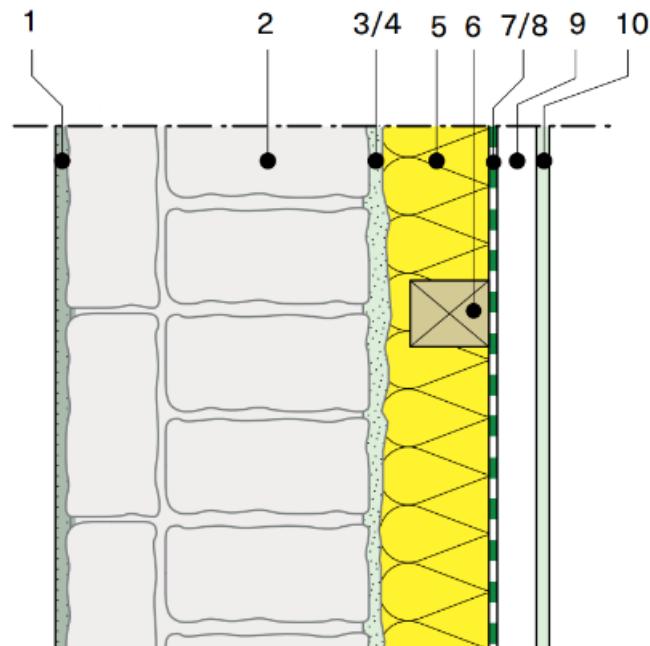
- Panneaux isolants collés
 - Approche perméable vs imperméable



Systèmes constructifs

- Système à structure

- Pour les murs avec mauvaise planéité
- Structure bois ou métal
- Laine minérale ou végétale, matériaux projetés, ...

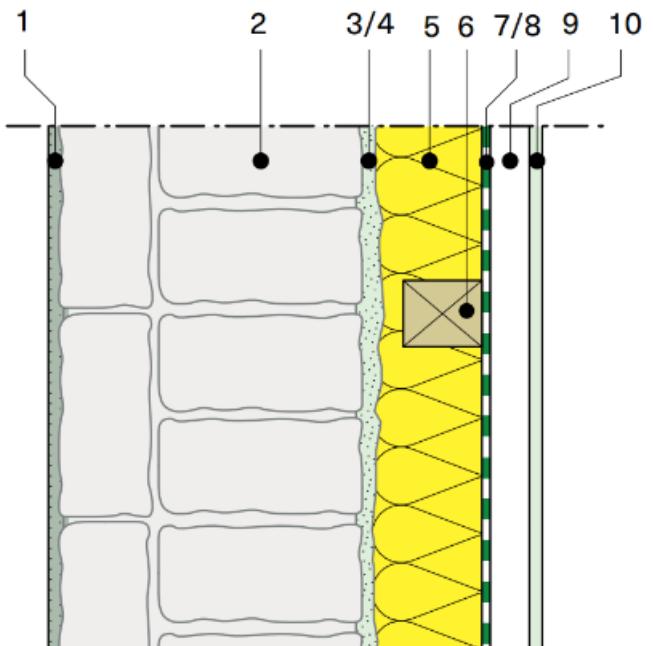


1. Mur existant en briques
2. Ossature
3. Isolation souple ou en vrac
4. Pare- ou freine-vapeur
5. Finition intérieure



Systèmes constructifs

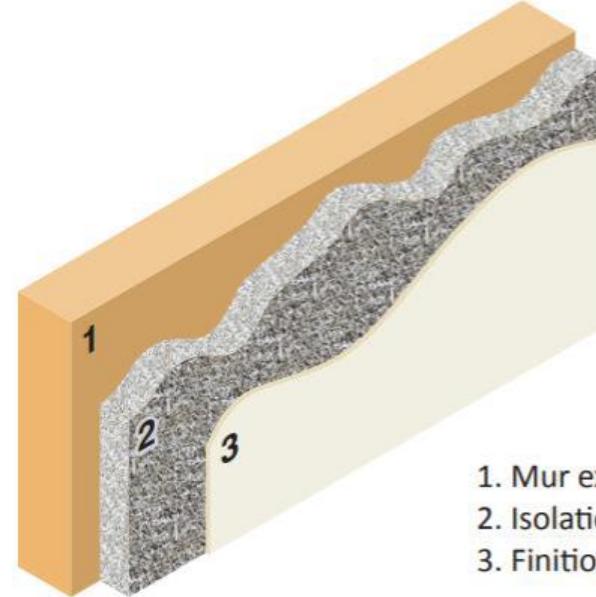
- Système à structure
 - Pour les murs avec mauvaise planéité
 - Structure bois ou métal
 - Laine minérale ou végétale, matériaux projetés, ...



Sébastien Motte

Systèmes constructifs

- Systèmes projetés
 - Permet de s'adapter aux mur les plus irréguliers
 - PUR, Chaux-chanvre, ...



1. Mur existant en briques
2. Isolation projetée
3. Finition intérieure

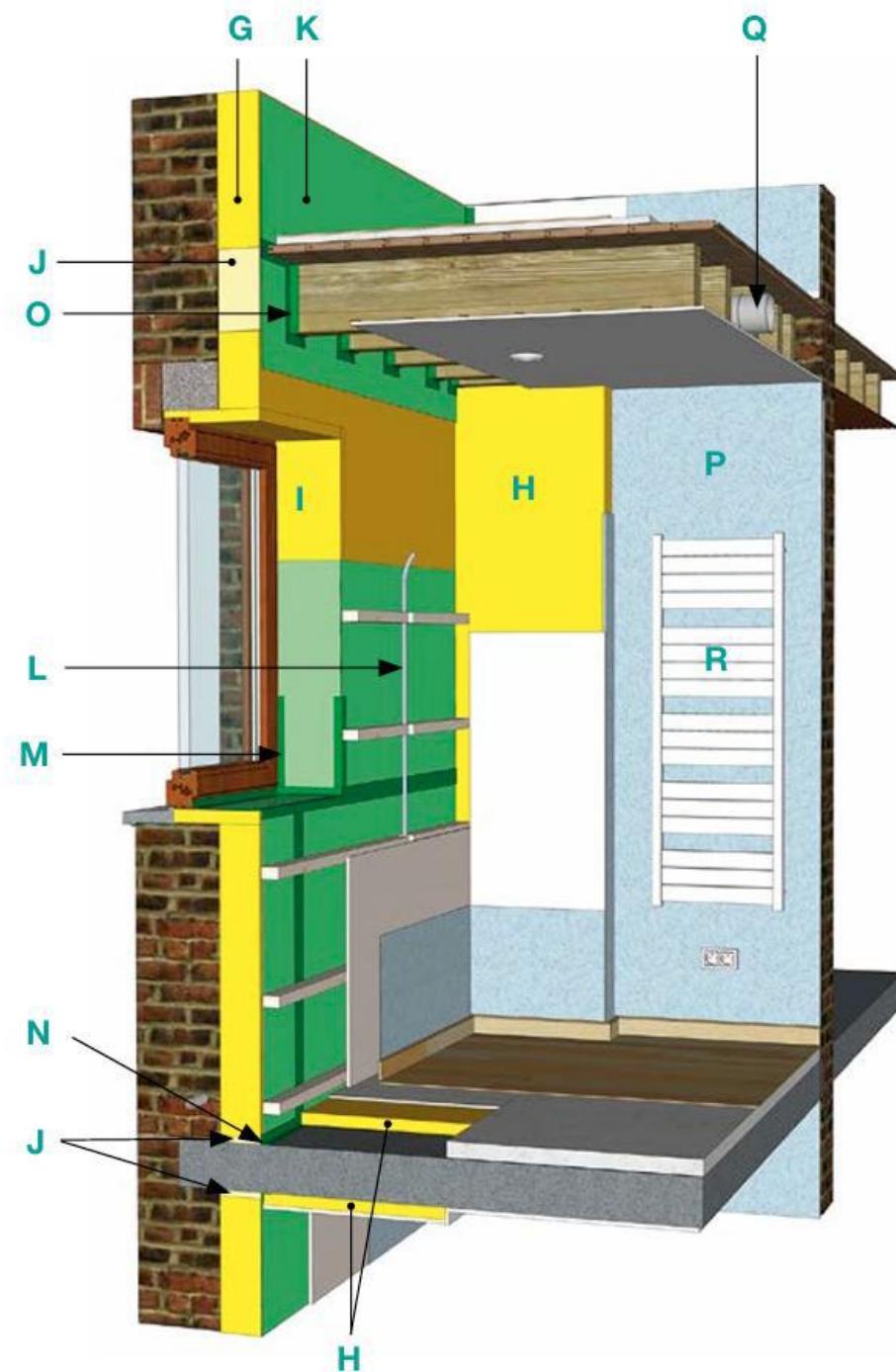
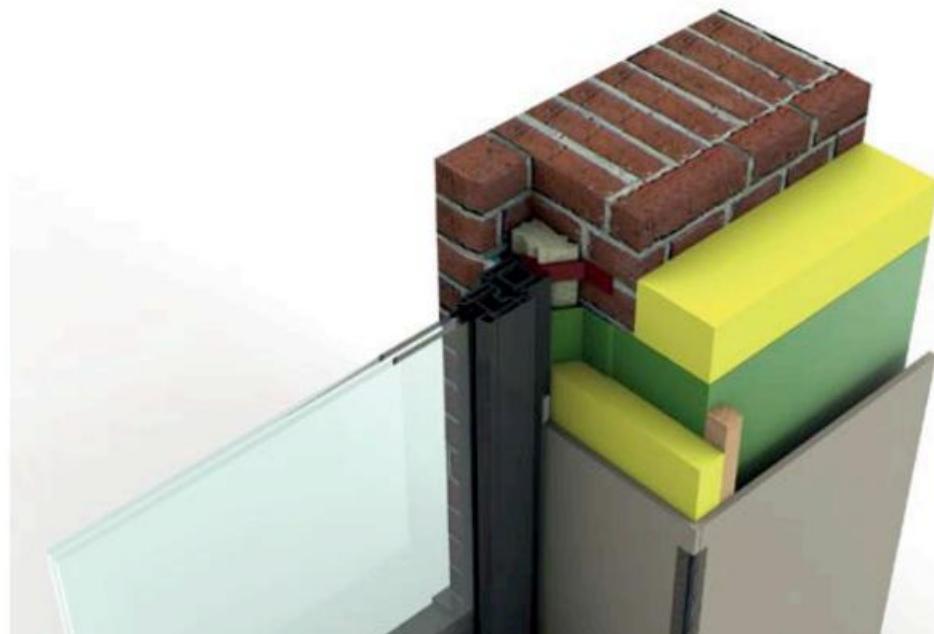


Arnaud Evrard - CeCh

Projection d'un mélange chaux-chanvre entre des structures en bois.

Des détails, encore des détails

- De l'importance de maîtriser les possibles risques de l'isolation par l'intérieur



Derniers points d'attention

- Le climat intérieur doit idéalement correspondre au plus à la classe III.
- Lorsqu'une maçonnerie humide a fait l'objet d'une intervention pour la protéger, il y a lieu d'attendre son séchage (**6 mois à plusieurs années selon le type et l'épaisseur du mur**) avant d'entamer son isolation par l'intérieur



Merci pour votre attention!



Samuel Dubois / Samuel.dubois@buildwise.be

