

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

GESTION DE L'ÉNERGIE :
RESPONSABLE ÉNERGIE

AUTOMNE 2024

Points d'attention relatifs à l'enveloppe
Isolation, étanchéité à l'air et ventilation hygiénique



- ▶ Passer rapidement en revue les principaux fondements théoriques nécessaires à la compréhension de la suite de l'exposé (rappels)
- ▶ Rappeler les enjeux des thématiques durables en lien avec la rénovation énergétique du bâti
- ▶ Détailler les étapes de la réalisation d'une étude de conception énergétique / d'un audit énergétique
- ▶ Aborder quelques combinaisons courantes et "sensibles" d'opérations dépendantes dans le cadre d'une rénovation par phases



RAPPELS THÉORIQUES

► Isolation

- Etanchéité à l'air
- Ventilation

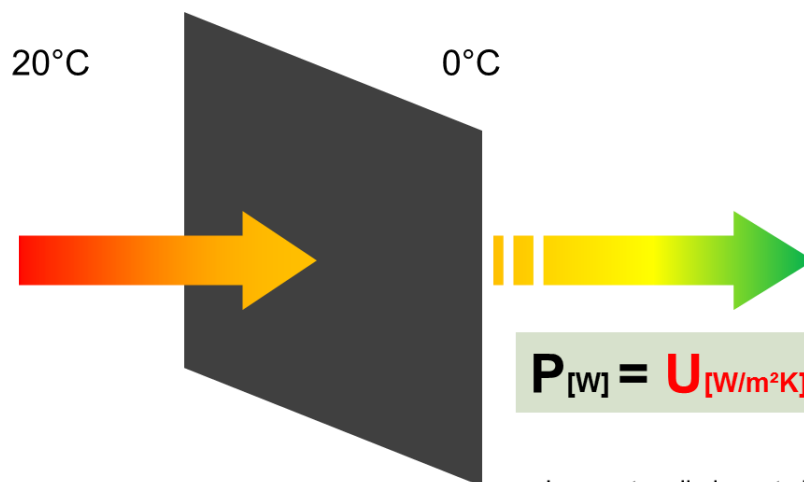
ENJEUX

RÉFLEXION GLOBALE

OPERATIONS DÉPENDANTES



Valeur U [$\text{W/m}^2\text{k}$] d'une paroi opaque



$$P_{[W]} = U_{[W/m^2K]} \times S_{[m^2]} \times \Delta T_{[K]}$$

- Les pertes diminuent si U diminue.
- U [$\text{W/m}^2\text{K}$] = le coefficient de transmission thermique de la paroi



Exigences PEB

- ▶ L'exigence relative aux valeurs U/R admissibles est d'application pour
 - Toutes les affectations
 - Toutes les natures de travaux

ELEMENT DE CONSTRUCTION		U_{max} (W/m²K)
1.	PAROIS DELIMITANT LE VOLUME PROTEGE, à l'exception des parois formant la séparation avec un volume protégé adjacent	
2021	1.1. PAROIS TRANSPARENTES/TRANSLUCIDES, à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3.), des murs-rideaux (voir 1.4.) et des briques en verre (voir 1.5.)	$U_{W,max} = 1.5^{(1)}$ àpd 2021 $U_{g,max} = 1.1^{(2)}$
	1.2. PAROIS OPAQUES, à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3.) et des murs-rideaux (voir 1.4.)	
	1.2.1. Toitures et plafonds	$U_{max} = 0.24$
	1.2.2. Murs non en contact avec le sol, à l'exception des murs visés en 1.2.4.	$U_{max} = 0.24$
2021	1.2.3. Murs en contact avec le sol	$U_{max} = 0.24^{(3)}$ àpd 2021
	1.2.4. Parois verticales et en pente en contact avec un vide sanitaire ou avec une cave PEB en dehors du volume protégé	$U_{max} = 0.24$ àpd 2021
	1.2.5. Planchers en contact avec l'environnement extérieur ou au-dessus d'un espace adjacent non-chauffé	$U_{max} = 0.24$ àpd 2021
	1.2.6. Autres planchers (planchers sur terre-plein, au-dessus d'un vide sanitaire ou au-dessus d'une cave PEB en dehors du volume protégé, planchers de cave enterrés)	$U_{max} = 0.24^{(3)}$ àpd 2021

Source / Bron : [Bruxelles Environnement](#)

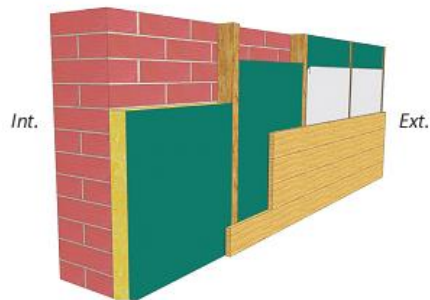
[Vademecum réglementation travaux PEB à partir de juillet 2017 \(version mars 2023\)](#)



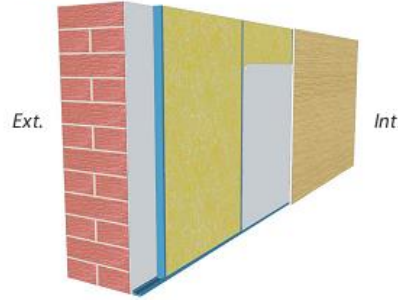
Comment isoler un mur ?

- Isolation par l'extérieur, par l'intérieur et/ou de la coulisse

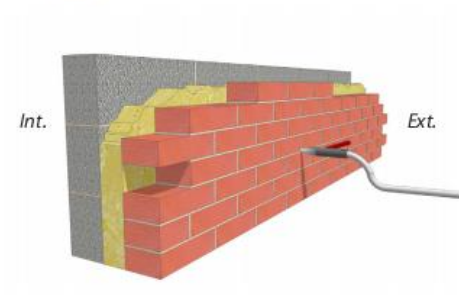
□ Isolation par l'extérieur



□ Isolation par l'intérieur



□ Isolation par la coulisse

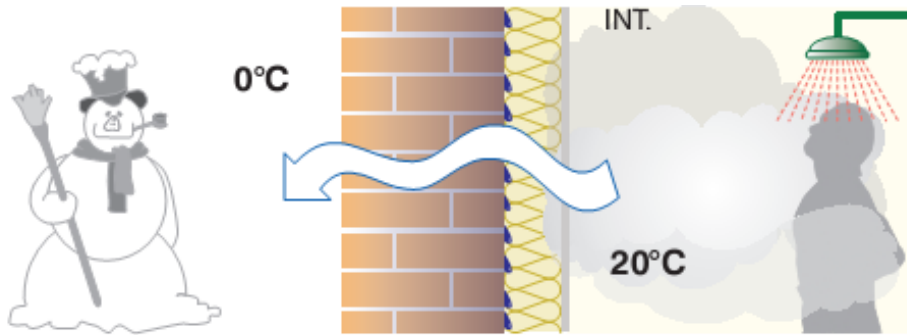


Source / Bron : brochure audit PAE2 région Wallonne, 2013



Comment isoler un mur ?

- Isolation par l'intérieur
 - Risque principal > condensation interne



Source / Bron : outil Isolin (Architecture et Climat)

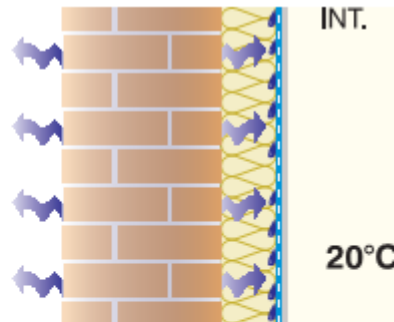
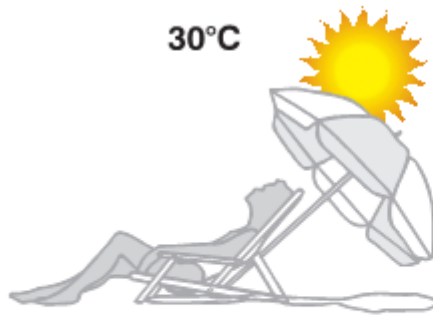


Exemple de moisissures dues à la condensation.



Comment isoler un mur ?

- Isolation par l'intérieur
 - Risque secondaire



Risque de condensations internes en été si une membrane pour réguler la vapeur empêche la migration de vapeur vers l'intérieur..

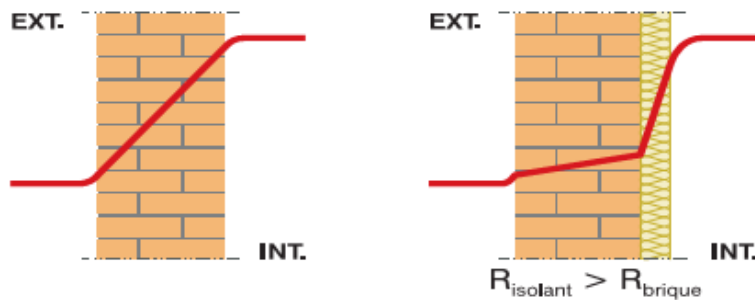
Exemple de moisissures à l'arrière de la membrane pour réguler la vapeur.

Source / Bron : outil Isolin (Architecture et Climat)



Comment isoler un mur ?

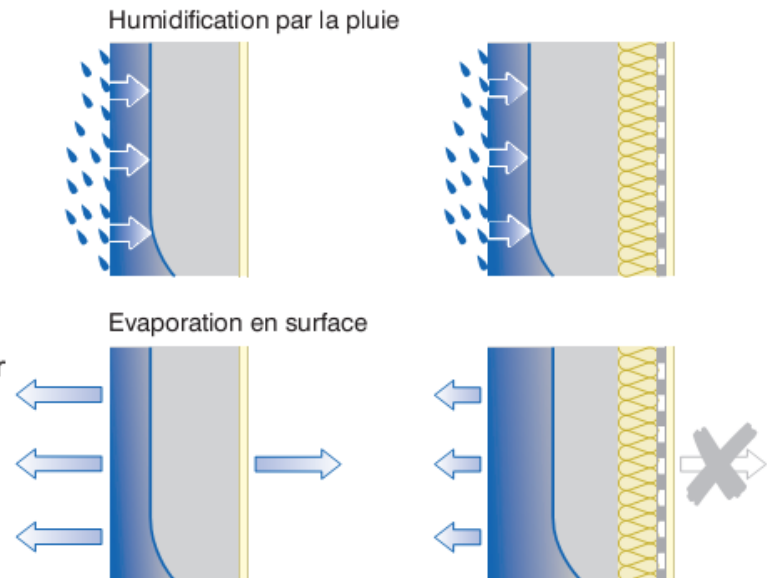
- Isolation par l'intérieur
 - Réduction du potentiel de séchage
 - Paroi soumise aux cycles gel/dégel



Refroidissement dur mur par l'application d'une isolation par l'intérieur.



Exemple de briques gélives soumises au gel.

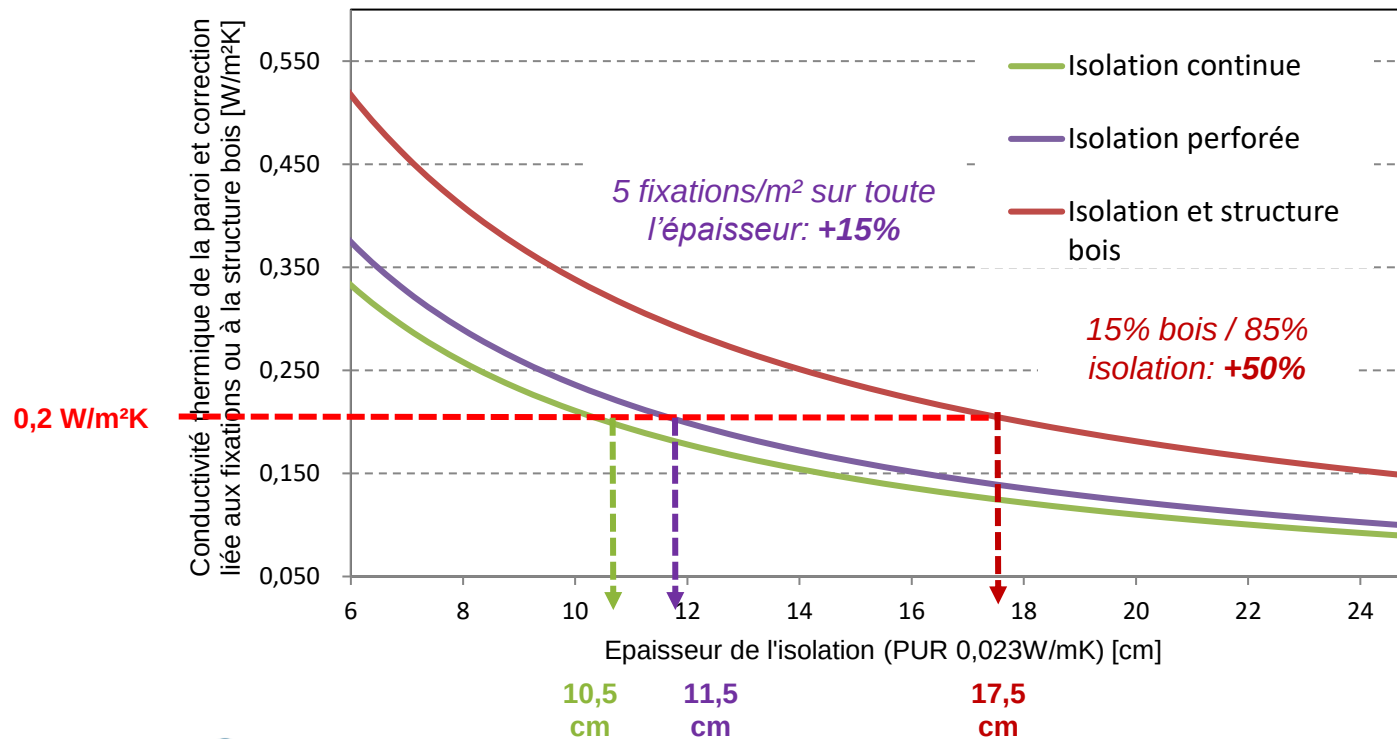


Humidification du mur due à la réduction du potentiel de séchage causée par l'application d'une isolation par l'intérieur et d'un pare-vapeur.



Comment isoler un mur ?

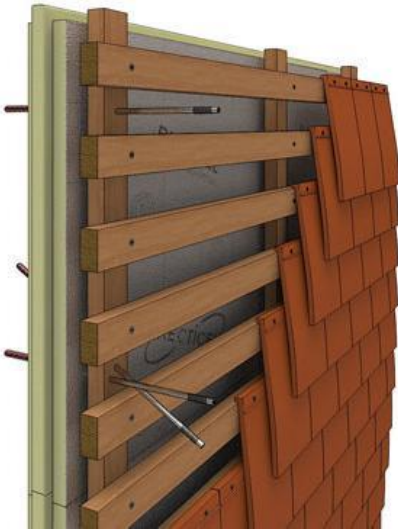
- Mise-en-œuvre
 - Couche continue
 - Couche fixée mécaniquement
 - Structure bois



Comment isoler un mur ?

- Mise-en-œuvre
 - Couche fixée mécaniquement

⇒ **Fixation mécanique spécifique: couche quasi continue...**



Source / Bron : <http://www.isofinish.be/fr/produits/borgh>

<http://www.etanco.be/fr/assortiment-produits/facade/bois/marcovis-eisys/>

ecorce



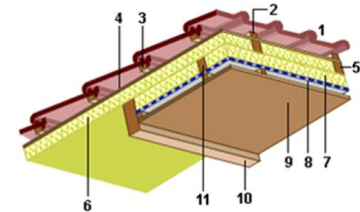
Comment isoler une toiture ?

► Toiture inclinée



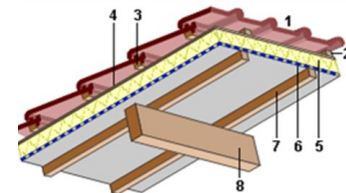
- Isolation par l'intérieur

- Diffusion de vapeur d'eau à gérer
- Présence/absence de sous-toiture
- Mise en œuvre : Continuité de l'isolant ET du pare-vapeur parfois difficiles à assurer
- Finition : Finitions intérieures à refaire



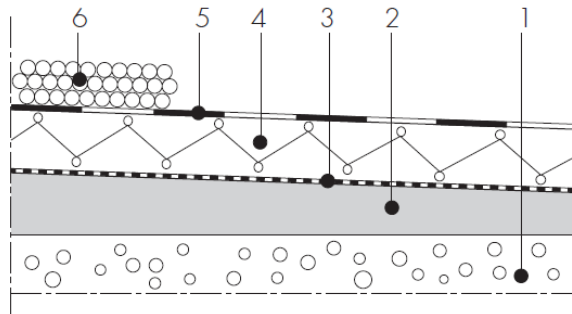
- Isolation type « Sarking »

- Bonne continuité de l'isolant
- Mise en œuvre : Adaptation nécessaire des rives de toiture (gouttières, solins, raccords divers de la toiture)
- Finition : La couverture de toiture doit être refaite

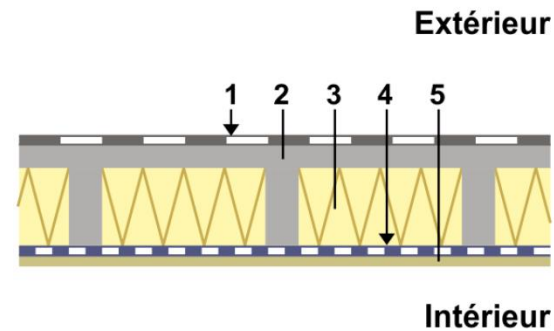


Comment isoler une toiture ?

- Toiture plate
- Toiture chaude à privilégier
- Toiture compacte à mettre en œuvre uniquement dans certaines conditions !!



- | | |
|-------------------------------|---------------------|
| 1. Plancher de toiture | 4. Isolation |
| 2. Forme de pente (cf. § 5.2) | 5. Étanchéité |
| 3. Pare-vapeur éventuel | 6. Lestage éventuel |



Source / Bron : Energie +

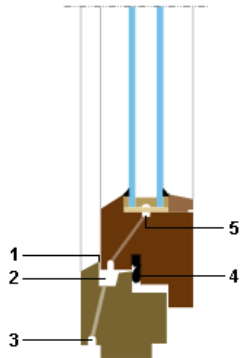


Valeur U [$\text{W/m}^2\text{k}$] d'une paroi transparente/translucide

- ▶ Déperdition globale U_w (window)
 - U_f (frame)
 - U_g (glass)
 - Intercalaire
- ▶ Mise-en-œuvre > pont thermique
- ▶ Mais aussi
 - Gain solaire/surchauffe > facteur solaire
 - Confort visuel > facteur de transmission lumineuse

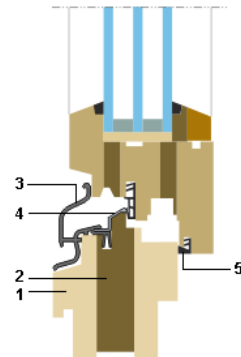


Valeur U [$\text{W/m}^2\text{K}$] d'une paroi transparente/translucide



Châssis double vitrage

→ $U \approx 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$



Châssis triple vitrage

→ $U \approx 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

⇒ beaucoup plus déperditif!



RAPPELS THÉORIQUES

- Isolation
- **Etanchéité à l'air**
- Ventilation

ENJEUX

RÉFLEXION GLOBALE

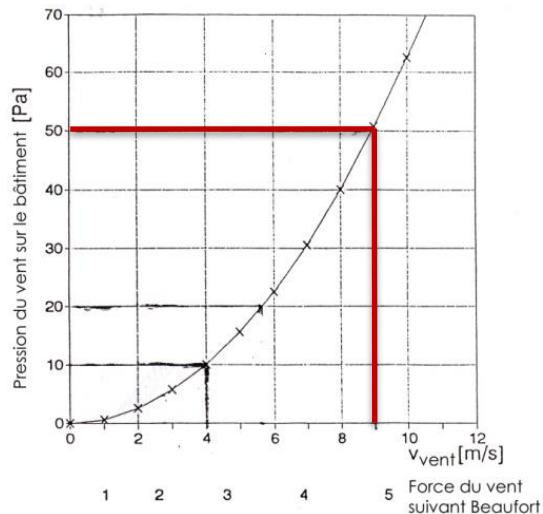
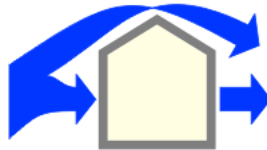
OPERATIONS DÉPENDANTES



ÉTANCHÉITÉ A L'AIR

V_{50} [m³/h]

- Débit de fuite d'air total sous une différence de pression à **50 Pascals**
- Moyenne du débit mesuré en **surpression** et en **dépression**



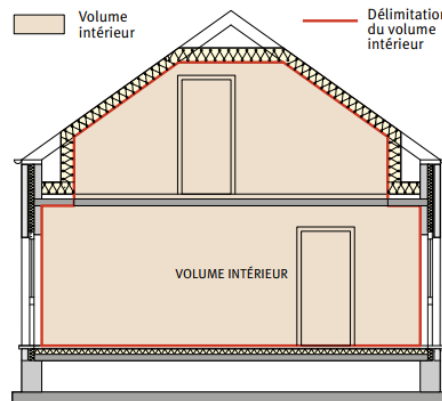
Force du vent (Echelle de Beaufort)	Vitesse du vent en m/s	Reconnaissable par:
0	0,00 - 0,45	Absence de vent, ascension verticale de la fumée.
1	0,45 - 1,50	La direction du vent n'est visible que par la fumée, mais pas par une girouette.
2	1,60 - 3,30	Le vent est ressenti au visage; des feuilles frémissent; la girouette bouge.
3	3,40 - 5,40	Des feuilles et des brins minces bougent; le vent étire un fanion.
4	5,50 - 7,90	Soulève de la poussière et du papier dissocié; bouge des brins et des branches minces.
5	8,00 - 10,70	Des branches et des petits arbres bougent.
6	10,80 - 13,80	La force du vent devient audible. Sifflement auprès de cables et coins de maisons; de fortes branches bougent.
9	20,80 - 24,40	Peut être considéré comme tempête, des tuiles de toiture mal fixées se détachent et tombent.
12	32,80 - 36,90	Essentiellement au littoral, des murs s'effondrent, grande dévastation.



n_{50} [$\text{m}^3/\text{h.m}^3$ ou $1/\text{h}$]

- ▶ Nombre de volumes d'air renouvelés par heure sous une différence de pression de 50 Pascals
- ▶ $n_{50} = V_{50} / V_{\text{intérieur}}$
 - $V_{\text{intérieur}}$ = volume intérieur net
 - Définition : *Espace volontairement climatisé à l'intérieur d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment soumis à essai, ne comprenant en général ni les combles, ni le sous-sol ni les structures annexes*

NBN
EN 13.829



Source / Bron : CSTC NIT255



- ▶ Pour respecter les critères du standard passif : $n_{50} < 0,6$
- ▶ En le divisant par 20, on obtient une approximation des débits d'infiltration moyens sur l'année




 $\dot{V}_{50} [\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2]$

- ▶ Débit de fuite d'air total par m^2 de surface de déperdition $A_t [\text{m}^2]$ sous une différence de pression à 50 Pascals
- ▶ Valeur que l'on encode dans le logiciel PEB
- ▶ Correspond à V_{50}/A_t

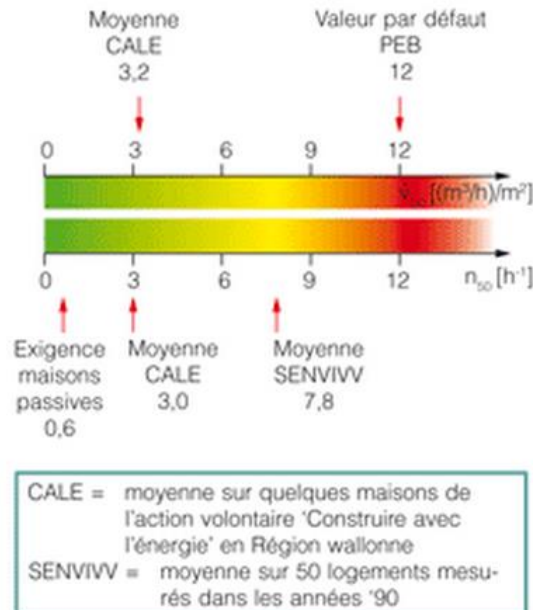


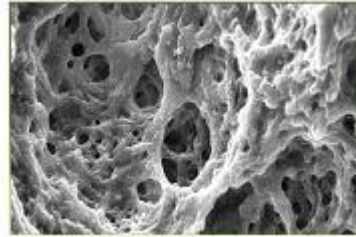
Fig. 1 Valeurs repères pour $\dot{V}_{50}$ et n_{50} .



ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

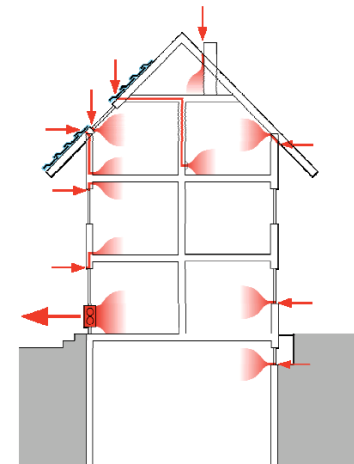
D'où viennent les fuites ?

- Porosité des matériaux



Source/Bron : photo microscopique d'un tissu

- Non-continuité entre éléments de construction
 - Jonctions entre parois / matériaux / châssis
 - Défauts de construction
 - Châssis de portes et de fenêtres > ouvrant/dormant
 - Percements
 - ...



Source : energie+



RAPPELS THÉORIQUES

- Isolation
- Etanchéité à l'air
- **Ventilation**

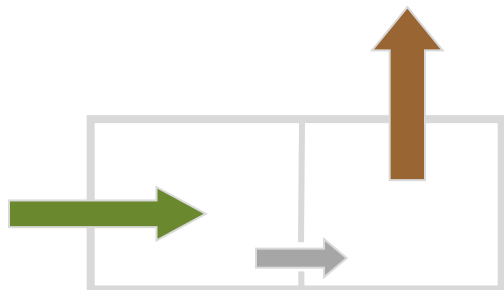
ENJEUX

RÉFLEXION GLOBALE

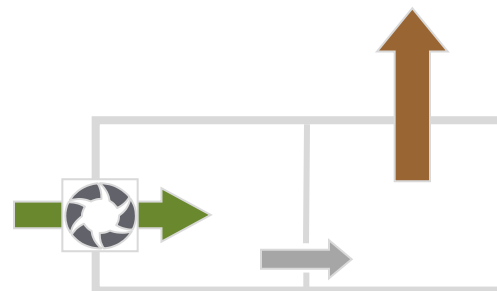
OPERATIONS DÉPENDANTES



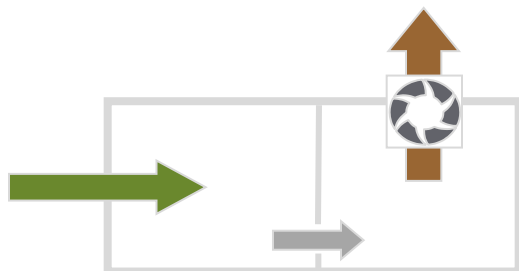
- A.** alimentation naturelle
+ évacuation naturelle



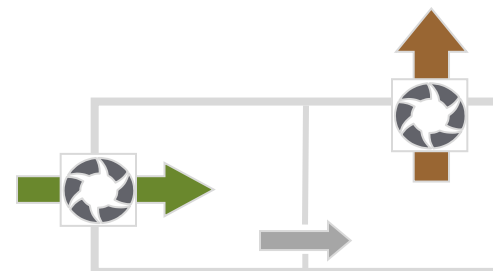
- B.** alimentation mécanique
+ évacuation naturelle



- C.** alimentation naturelle
+ évacuation mécanique



- D.** alimentation mécanique
+ évacuation mécanique



Système C

+	-
• Contrôle des débits d'air extraits (et des débits pulsés dans une moindre mesure) • Bâtiment en dépression • Mise en œuvre flexible de l'extraction • Possibilité de régulation de l'extraction selon la qualité et/ou la présence (C+) • Moins coûteux qu'un système D à l'exploitation • Possibilité de récupérer l'énergie de l'air vicié (via une PAC)	• Consommations électriques • Nécessité d'entretien • Réglage manuel et grille/grille (Filtration de l'air entrant) • (Bruits extérieurs) • Air entrant « froid » = perte d'énergie et inconfort • Immeubles à appartements : risque de déséquilibre de pressions entre logements • Distribution uniforme de l'air entrant moins assurée (pièce centrale)



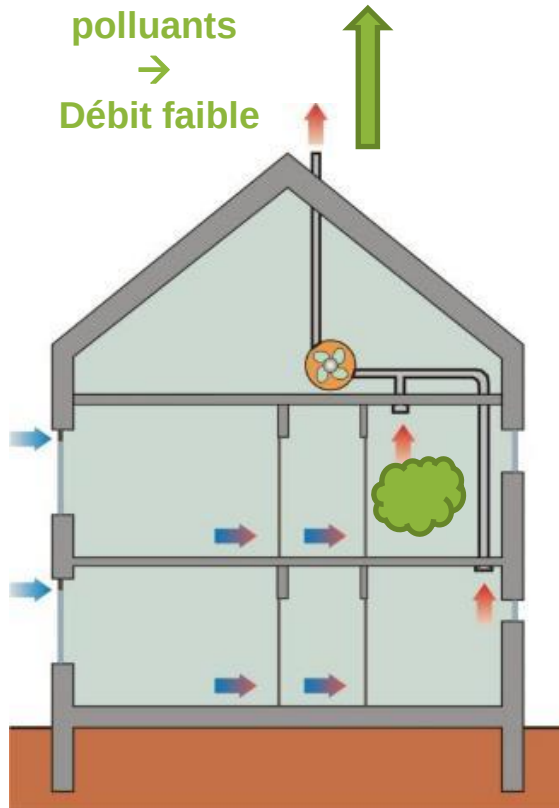
Système C+

- Régulation sur base de sondes (HR, CO₂, COV, présence)

⇒ Réduction des pertes et des consommations

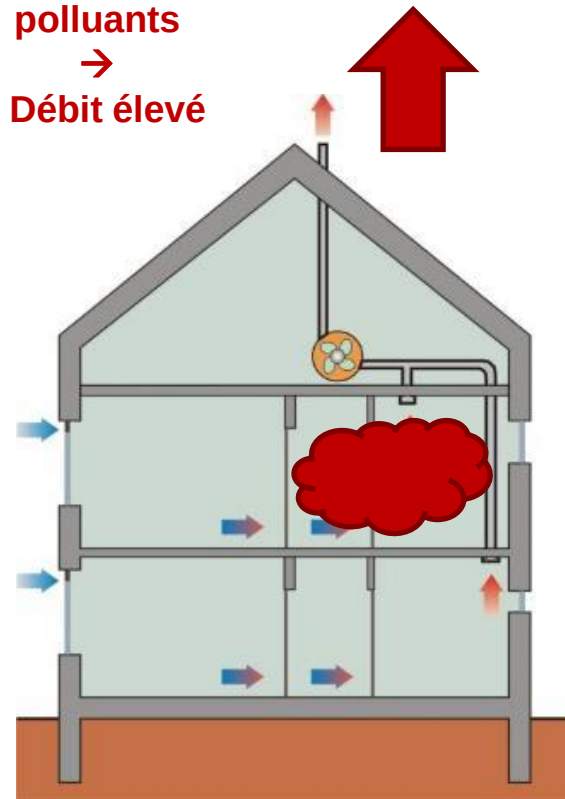
Faible concentration en
polluants
→

Débit faible



Forte concentration en
polluants
→

Débit élevé



Système D

+	-
• Contrôle des débits (indépendance vis-à-vis des conditions climatiques et régulation possible) • Air entrant « préchauffé » = récupération d'énergie (bilan « conso énergétique <> réduction des besoins » positif) et confort • Pas de transmission des bruits extérieurs • Filtration de l'air neuf, de manière globale	• Consommations électriques • Nécessité d'entretien • Coût (celui du système C n'est pas nul) • Encombrement des gaines et du groupe (parfois complexe en rénovation)



Centralisé ou décentralisé ?

- ▶ Par pièce et pour des petits débits (quelques personnes)
- ▶ Dans les murs extérieurs ou au-dessus des châssis



Centralisé ou décentralisé ?

- ▶ Par pièce et pour des plus gros débits (entre 10 et 30 personnes)
- ▶ Au plafond ou sous forme d'armoire



Extra-plat



Centralisé ou décentralisé ?

- Pour une habitation, du petit non-résidentiel ou une partie de bâtiment



- Pour de très gros débits



RAPPELS THÉORIQUES

ENJEUX

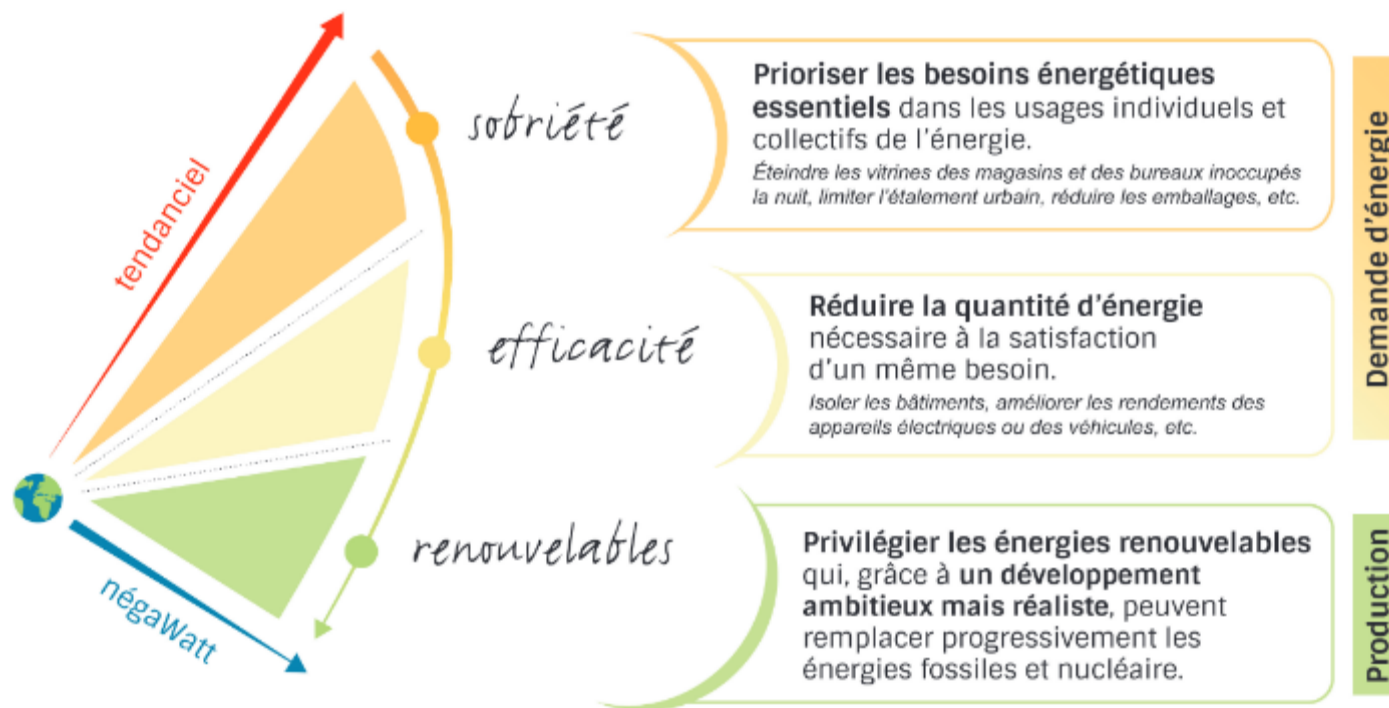
- ▶ **Energie**
- ▶ Santé et préservation du bâti
- ▶ Matériaux

RÉFLEXION GLOBALE

OPÉRATIONS DÉPENDANTES



Quels sont les enjeux ?



Source / Bron : © Association négaWatt



Quels sont les enjeux ?

► Sobriété

- Le confort doit être atteint là où il est nécessaire
- Il n'est pas nécessaire partout et/ou en tout temps
- Il peut (doit?) être adapté à l'espace (couloir >< salle blanche)



Quels sont les enjeux ?

- ▶ Efficacité
 - Limiter les déperditions calorifiques en **période de chauffe**
 - Concevoir un bâtiment favorisant les solutions de climatisation passive pour garantir le confort en **saison chaude**
 - Concevoir un bâtiment favorisant l'apport d'**éclairage naturel**
 - Choisir des **technologies performantes** et **adaptées aux besoins**



RAPPELS THÉORIQUES

ENJEUX

- Energie
- **Santé et préservation du bâti**
- Matériaux

RÉFLEXION GLOBALE

OPÉRATIONS DÉPENDANTES



Quels sont les enjeux ?

- ▶ En lien avec l'amélioration la performance de l'enveloppe
 - Ventiler efficacement
 - Traiter les problèmes d'humidité préexistants
 - Assurer une étanchéité à l'air continue
 - Concevoir des parois pérennes sur le plan de la diffusion de vapeur d'eau
 - Protéger les façades des pluies



Pourquoi mettre en place un système de ventilation ?

- ▶ L'environnement intérieur est le lieu de diverses pollutions dues
 - à l'occupation humaine
 - Odeurs
 - Fumée de cigarette
 - Humidité
 - CO₂
 - au bâtiment et à ses équipements
 - à l'environnement
- ▶ Celles-ci sont préjudiciables
 - à la santé, au confort et à la productivité des occupants
 - à la salubrité du bâti

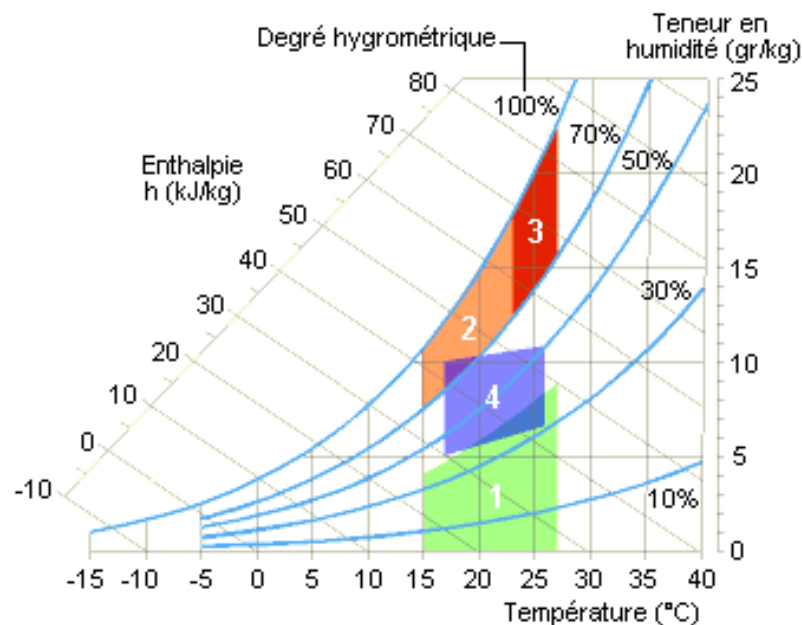


Source / Bron: écorce



Pourquoi mettre en place un système de ventilation ?

- En rendant le bâtiment plus étanche, l'humidité s'évacue moins facilement



Zone 1 : problèmes de sécheresse.

Zones 2 et 3 : développements de bactéries et de micro-champignons.

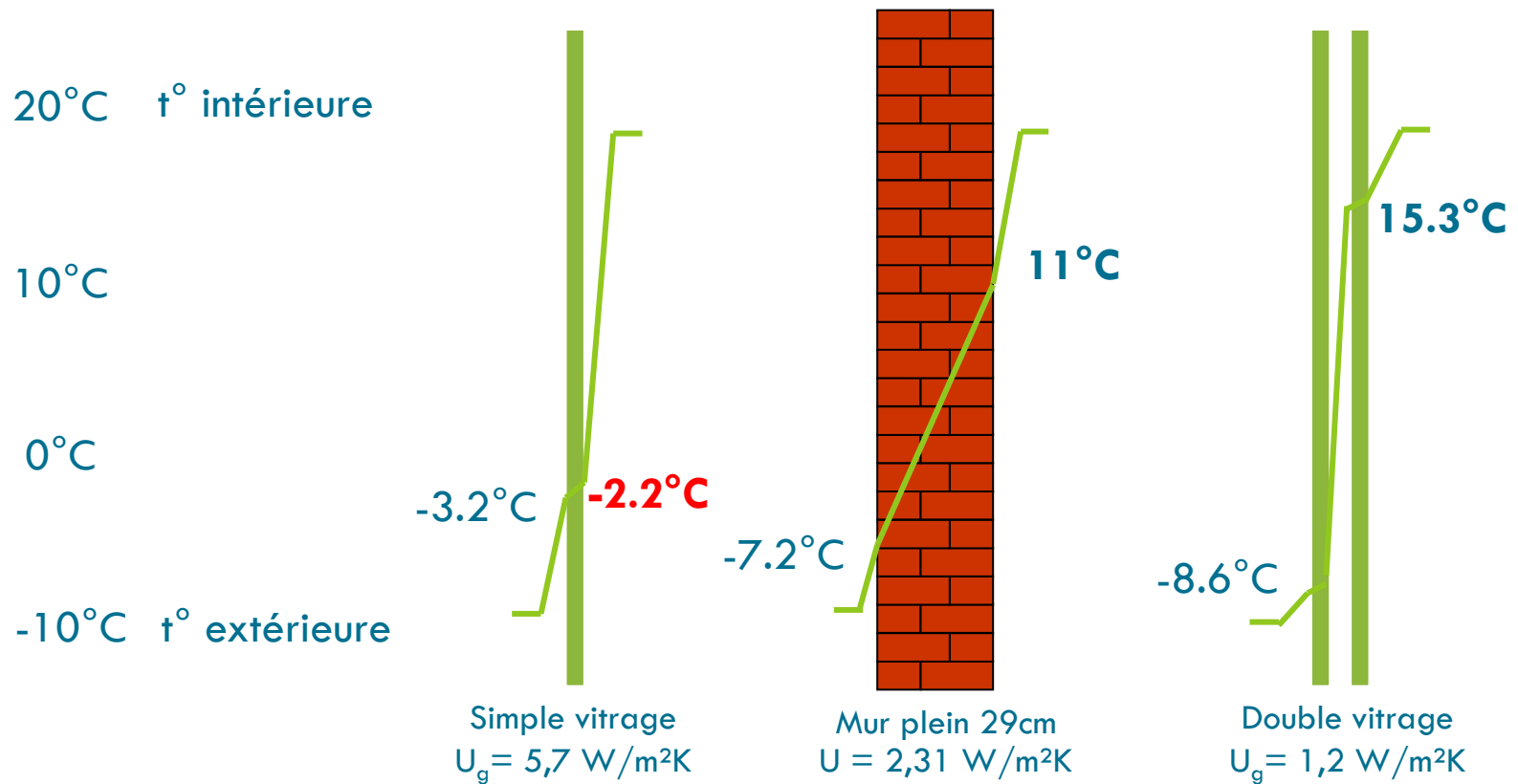
Zone 3 : développements d'acariens.

Zone 4 : polygone de confort hygrothermique



Pourquoi mettre en place un système de ventilation ?

- En remplaçant les châssis, le phénomène de condensation sur paroi froide évolue...



RAPPELS THÉORIQUES

ENJEUX

- Energie
- Santé et préservation du bâti
- **Matériaux**

RÉFLEXION GLOBALE

OPÉRATIONS DÉPENDANTES



Quels sont les enjeux ?

- Autour de la **conception d'un projet**
 - Utiliser la matière de manière rationnelle
 - Intégrer la notion de cycle de vie



- Intégrer la notion de hiérarchie constructive (réversibilité)
- Concevoir pour déconstruire



Quels sont les enjeux ?

- ▶ En ce qui concerne le **choix des matériaux et produits de construction**
 - Recours à des matériaux issus de la récupération
 - Choisir des produits à faible impact environnemental et sanitaire
 - matières premières disponibles localement
 - production / exploitation durable
 - matières premières renouvelables
 - contenu recyclé
 - faible impact sur la santé humaine
 - Prendre en compte la durée de vie prévisible d'un matériau/produit
 - Porter une attention particulière à la fin de vie



Source / Bron: ROTOR



RAPPELS THÉORIQUES

ENJEUX

RÉFLEXION GLOBALE

► Définitions

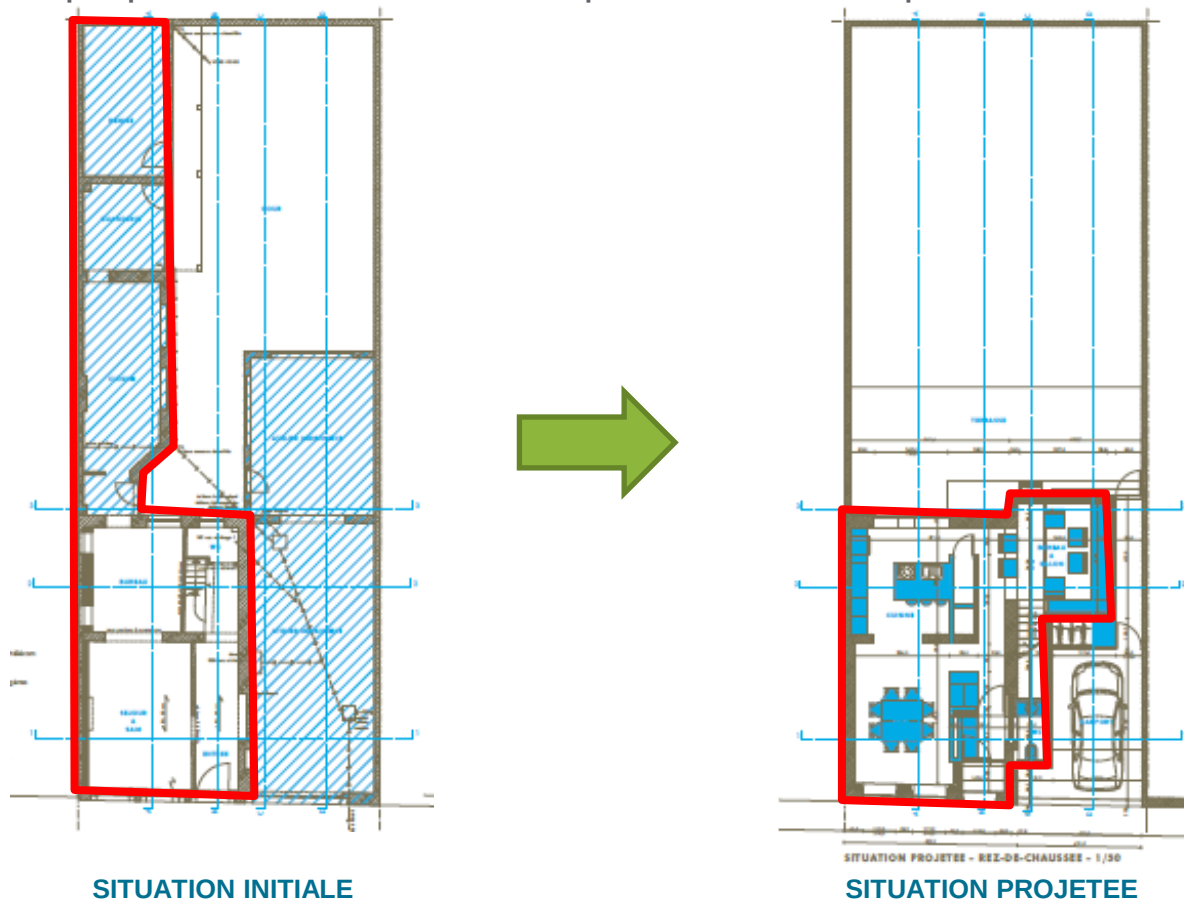
- Approche énergétique
- Etapes de la réalisation d'une étude de conception énergétique / d'un audit énergétique
- Plan d'action

OPÉRATIONS DÉPENDANTES



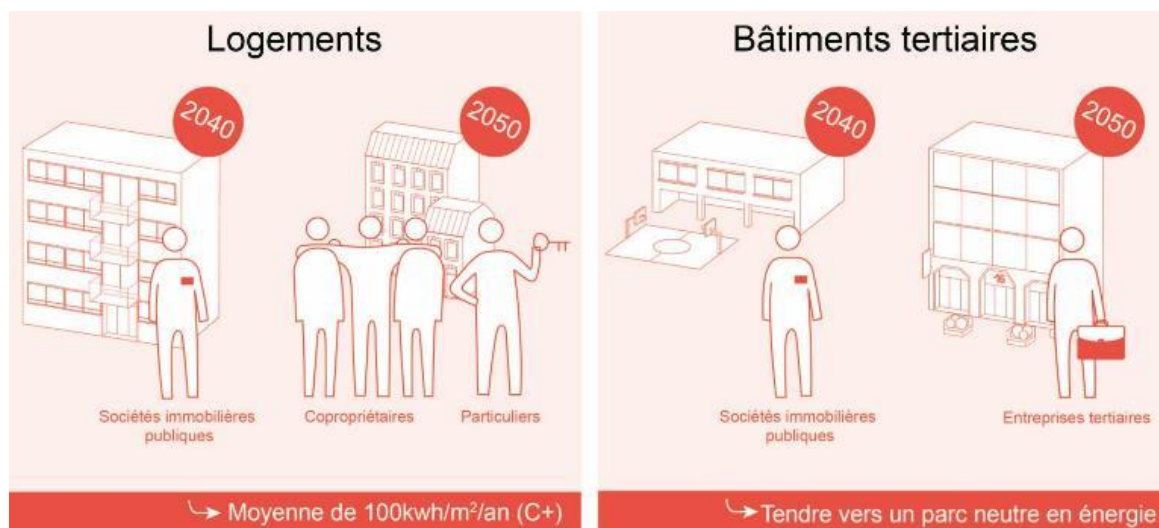
Quelle est la différence entre un audit et une étude de conception énergétique ?

- Les propositions d'amélioration prennent en compte la situation projetée



Qu'entend-on par « rénovation performante » ?

- Rénovation permettant au minimum* d'atteindre l'objectif régional issu de la Stratégie de rénovation **RENOLUTION**



* Pour certaines typologies de logements, cet objectif n'est pas très ambitieux !



Qu'entend-on par « rénovation performante » ?



- ▶ Rénovation qui présente une **très bonne performance énergétique** et qui permet en outre
 - de **préserver le bâti** de toute pathologie liée aux travaux (comportement hygrothermique)
 - d'**assurer le confort** (thermique, respiratoire, acoustique) des occupants sans mettre leur santé en danger
 - l'**utilisation rationnelle des ressources** et de manière plus générale la prise en compte des enjeux d'**économie circulaire**

⇒ **Les autres enjeux ne sont pas abordés dans le cadre de cette présentation car très peu en lien avec les interventions relatives à l'enveloppe**



RAPPELS THÉORIQUES

ENJEUX

RÉFLEXION GLOBALE

- Définition
- **Approche énergétique**
- Etapes de la réalisation d'une étude de conception énergétique / d'un audit énergétique
- Plan d'action

OPÉRATIONS DÉPENDANTES



Choix d'un niveau de performance

La meilleure énergie est celle que l'on ne consomme pas

- ⇒ **S'inspirer des principes du standard passif**
- ⇒ **Avoir une approche globale des besoins énergétiques (chaud – froid – électriques)**
- ⇒ **Prendre en compte les consommations converties en énergie primaire**



Choix d'un niveau de performance

Rénover aujourd'hui à la hauteur des exigences de demain

- ⇒ **S'inspirer**
des futures réglementations (exemple: interdiction de vente des chaudières atmosphériques)
ou des réglementation pour les bâtiments neufs...
- ⇒ **Anticiper l'évolution**



Vision à long terme

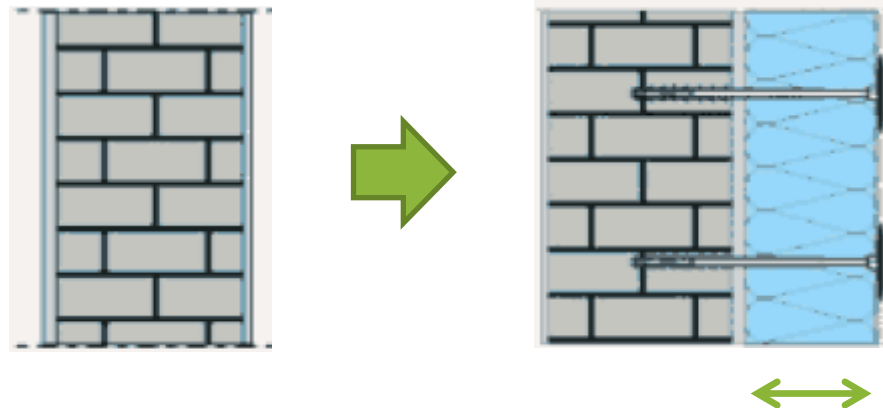
**En rénovation, ne pas « tuer le gisement » d'économie d'énergie
et éviter le 'saupoudrage'**

⇒ **Illustration du propos au moyen d'un exemple...**



Exemple 1 : Rénovation d'une façade existante crépie

- Postulat de départ : Une intervention est nécessaire (peinture abîmée, crépis fissuré...)
- Quelles sont les possibilités?
 - Rénovation simple sans isolation (crépi et/ou peinture)
 - Crépi sur isolant ($\lambda = 0,032\text{W/m}^2\text{K}$) teinté dans la masse



⇒ Quelle épaisseur?

⇒ Quelle est l'épaisseur d'isolation requise pour respecter la réglementation ?



Exemple 1 : Rénovation d'une façade existante crépie



016

- Application chiffrée au projet Batex LOOSSENS
 - Duplex n°2 (surface de référence énergétique : 105 m²)
 - 123 m² de façades (nord – est – sud) à isoler
 - Chauffage au gaz naturel (rendement global saisonnier de 85%)
 - Coût de l'énergie : 13,2c€/kWh – source: energiecommune.be, février 2023)
 - $U_{\text{toit}} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - $n_{50} = 0,6 \text{ vol/h}$



Exemple 1 : Rénovation d'une façade existante crépie



016

- Application chiffrée au projet Batex LOOSSENS

	U paroi	Besoin chauffage	Besoin annuel chauffage	Coût chauffage	Economie	Coût mesure (avec éch.)	Coût mesure (avec installation)	Temps retour simple
Cas	W/(m²K)	kWh/m²an	kWh/an	€/an	€/an	€/m² (HTVA)	€ (TVAC)	an
Enduit	2,93	286	30 039	4 668	0	90	14 527	-
12 cm	0,24	21	2 206	343	4 325	150	23 327	5,4
20 cm	0,16	15	1 575	245	4 424	155	24 147	5,5
25 cm	0,12	13	1 365	212	4 456	165	25 639	5,8

Source / Bron: écorce

⇒ Un isolant plus épais est à peine plus cher

⇒ Une part importante des coûts d'investissement est fixe : l'installation de chantier (850 €), l'échafaudage (15 €/m²), un nouvel enduit, l'ajustement des détails, une peinture éventuelle...



Exemple 1 : Rénovation d'une façade existante crépie



016



- Application chiffrée au projet Batex LOOSSENS

- Si on veut améliorer l'isolation « plus tard » (passer de 12 à 20 cm d'isolant), quel serait le temps de retour ?

Économie de chauffage : $343 - 245 = 98\text{€/an}$

Coût : 24.147 € TVAC

TR simple : $24.147\text{ €} / 98 = 246\text{ ans}$!

- ⇒ Si on veut améliorer l'isolation "plus tard", il faut repayer les coûts fixes. Ce n'est alors jamais plus rentable!
- ⇒ Il ne faut pas économiser sur l'épaisseur d'isolant
- ⇒ Le calcul du besoin de chauffage permet d'avoir une vision globale et de faire des choix éclairés



RAPPELS THÉORIQUES

ENJEUX

RÉFLEXION GLOBALE

- Définition
- Approche énergétique
- **Etapas de la réalisation d'une étude de conception énergétique / d'un audit énergétique**
- Plan d'action

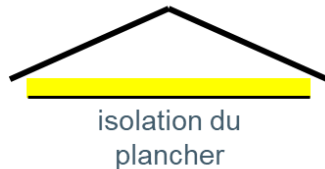
OPÉRATIONS DÉPENDANTES



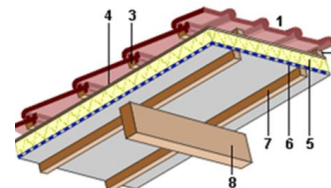
Première étape

→ Définir le volume chauffé

- ▶ Espaces à sortir du volume chauffé
 - Garages/parkings
 - Locaux nécessitant (parfois) une ventilation (local poubelle, local compteur, chaufferie...)
 - Espaces adjacents non chauffés au sens de la PEB (combles, cage d'escalier, couloir...)
 - ...



OU



Première étape

→ Définir le volume étanche

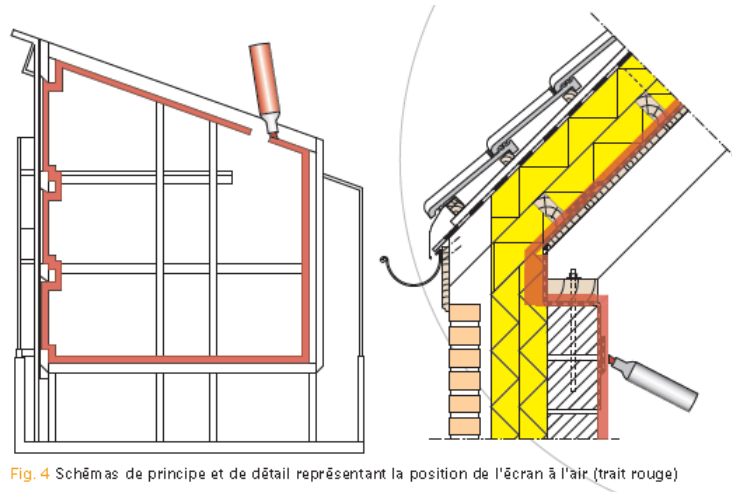


Fig. 4 Schémas de principe et de détail représentant la position de l'écran à l'air (trait rouge)

Source / Bron : CSTC Contact n°33 (1-2012)

⇒ Sur chaque plan et coupe du bâtiment, pouvoir faire un trait continu indiquant la limite d'étanchéité à l'air

?

⇒ Volume isolé = volume étanche à l'air



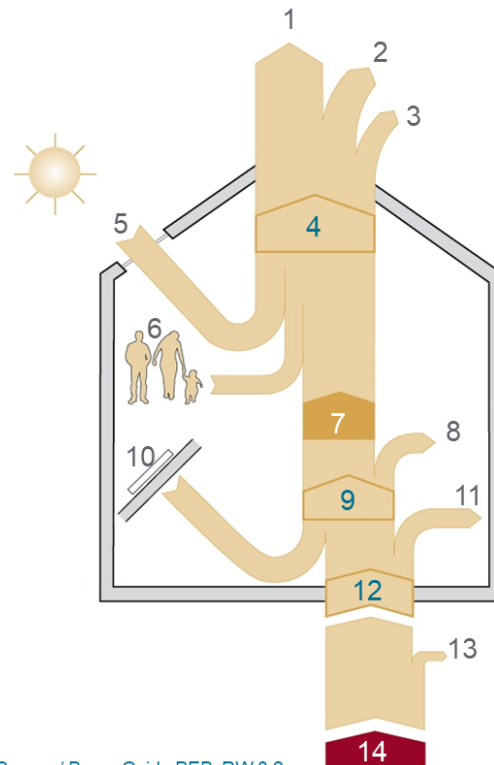
Deuxième étape

- Faire un diagnostic de l'existant
 - Evaluation des performances paroi par paroi
 - Estimation du niveau d'étanchéité à l'air
 - Quel type de système de ventilation ?



Troisième étape

- Evaluer la performance énergétique initiale
- Calcul du besoin de chauffage pour garantir un bon niveau de précision



Source / Bron : Guide PEB RW 3.2

	1. Déperditions par transmission
+	2. Déperditions par ventilation volontaire
+	3. Déperditions par in/exfiltration
=	4. Déperditions totales de l'enveloppe
-	5. Apports solaires
-	6. Apports internes
=	7. Besoins nets en énergie pour le chauffage
+	8. Pertes du système
=	9. Besoins bruts en énergie pour le chauffage
-	10. Solaire thermique éventuel
+	11. Pertes de production
=	12. Consommation finale pour le chauffage
+	13. Pertes de transformation
=	14. Consommation d'énergie primaire pour le chauffage

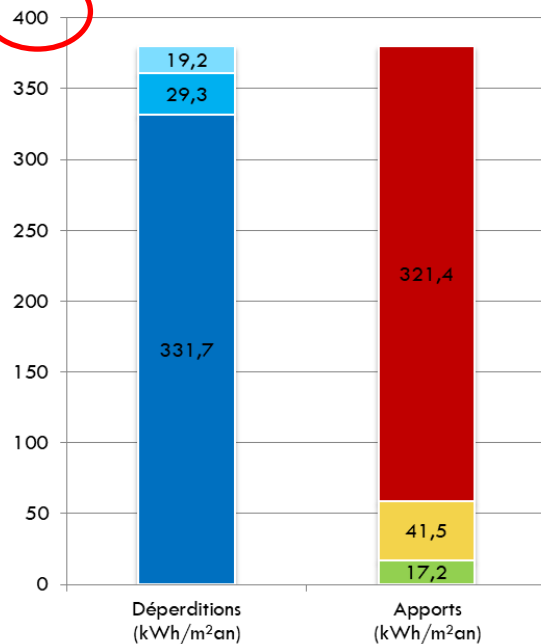


Troisième étape

→ Evaluer la performance énergétique initiale

Bilan thermique de l'enveloppe en hiver

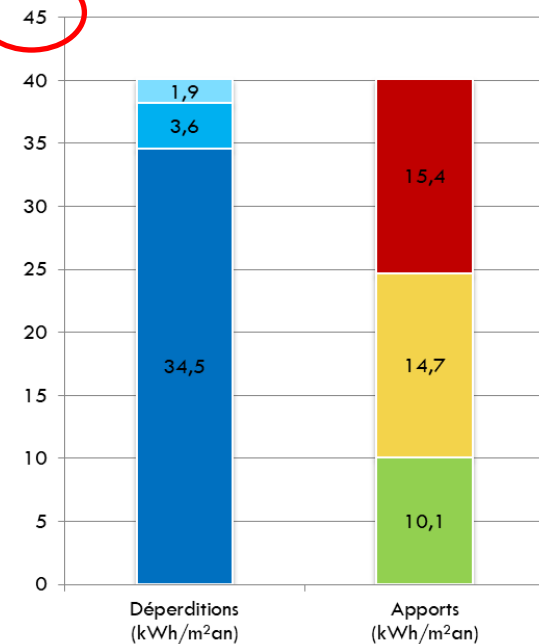
Source / Bron : écorce



Bâtiment non rénové

$U_{\text{moyen}} = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
 type de ventilation : non conforme
 étanchéité = 7,8

- Besoins en énergie de chauffage
- Apports solaires
- Apports internes
- Pertes par infiltrations
- Pertes par ventilation
- Pertes par transmission



Bâtiment passif

$U_{\text{moyen}} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$
 type de ventilation : D (88%)
 étanchéité = 0,6



Quatrième étape

→ Proposer des améliorations – approche par paroi : Quelle épaisseur d'isolant ?



► Pour un mur...

- 30 cm de laine minérale (LM) ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$) fixée mécaniquement
→ $U \approx 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 20 cm de polyuréthane (PUR) ($\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$) fixé mécaniquement
→ $U \approx 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 25 cm de polystyrène expansé (EPS) ($\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$) collé (avec finition crépi)
→ $U \approx 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 40 cm de laine de cellulose ($\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$) dans une ossature bois (13%)
→ $U \approx 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$

⇒ **Se fixer un objectif ambitieux > U entre 0,1 et 0,2 W/m²K**



Quatrième étape

→ Proposer des améliorations – approche par paroi : Quelle épaisseur d'isolant ?



► Pour un toit...

- 18 cm de LM ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$) dans ossature en bois (7%)
→ $U \approx 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 45 cm de laine de cellulose ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$) dans ossature en bois (7%)
→ $U \approx 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 22 cm de PUR ($\lambda = 0,023 \text{ W/mK}$) collé sur toit plat
→ $U \approx 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

⇒ **Se fixer un objectif ambitieux $> U$ entre 0,1 et 0,2 $\text{W/m}^2\text{K}$**



Quatrième étape

→ Proposer des améliorations – approche par paroi : Quelle épaisseur d'isolant ?



► Pour un plancher...

- 22 cm de laine de cellulose ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$) dans ossature en bois (11%)
→ $U \approx 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 14 cm de PUR ($\lambda = 0,022 \text{ W/mK}$)
→ $U \approx 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 17 cm de PUR projeté ($\lambda = 0,027 \text{ W/mK}$)
→ $U \approx 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$



⇒ **Se fixer un objectif ambitieux $> U$ entre 0,1 et 0,2 $\text{W/m}^2\text{K}$**

⇒ **Importance plus ou moins grande selon que le sol est sur cave, sur vide-ventilé ou en contact avec le sol**

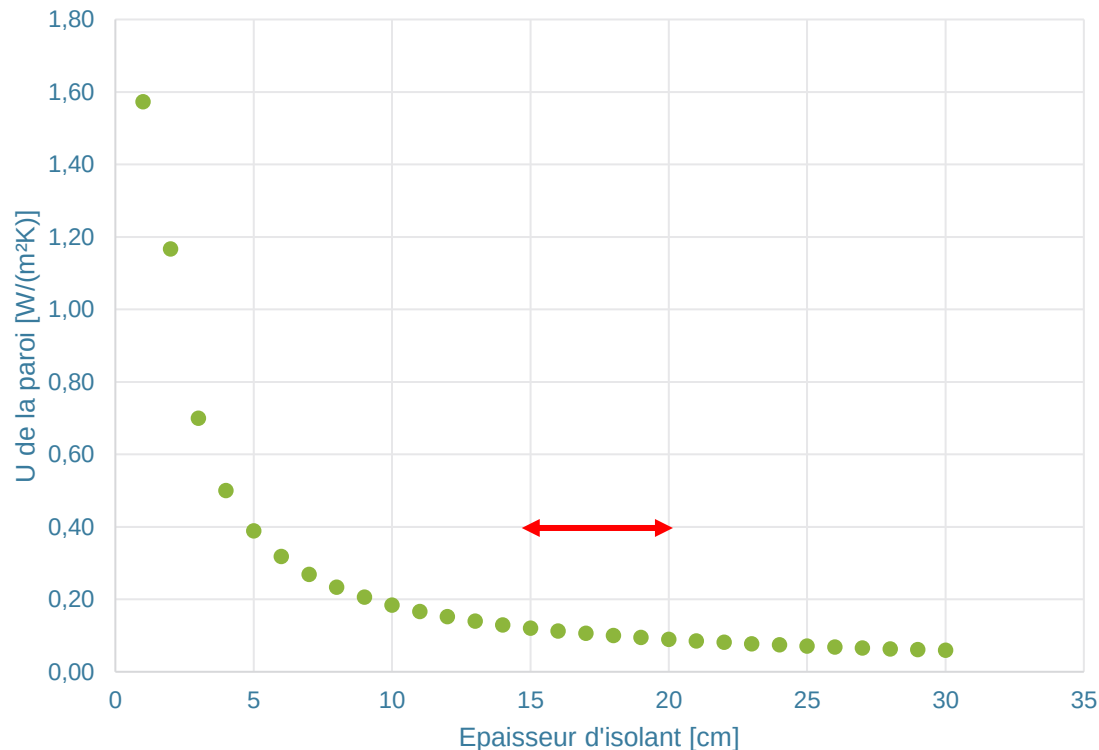


Quatrième étape

→ Proposer des améliorations – approche par paroi : Quelle épaisseur d'isolant ?

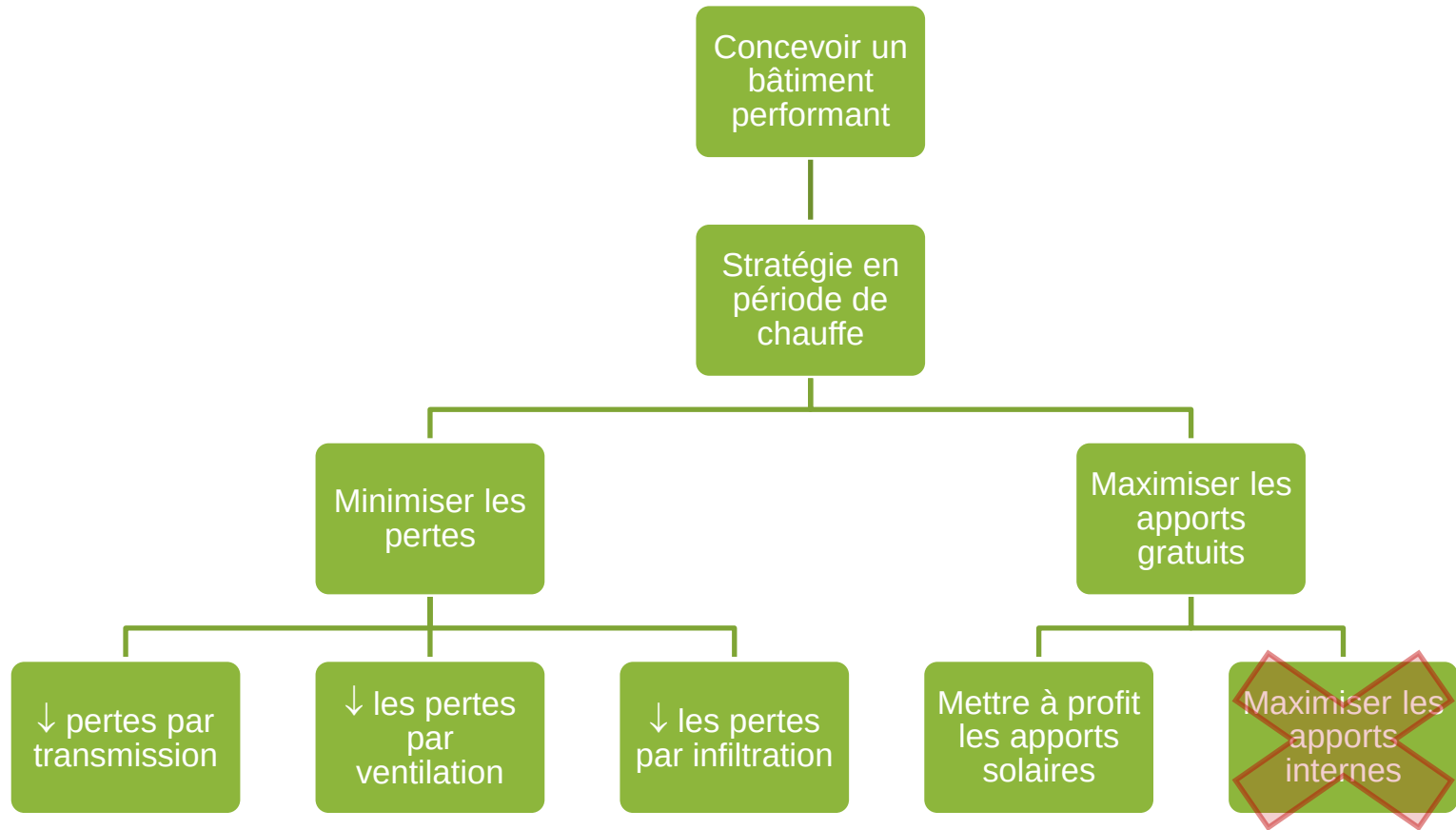
⇒ Viser un optimum (efficacité/coût)

Variation de U en fonction de l'épaisseur d'isolant



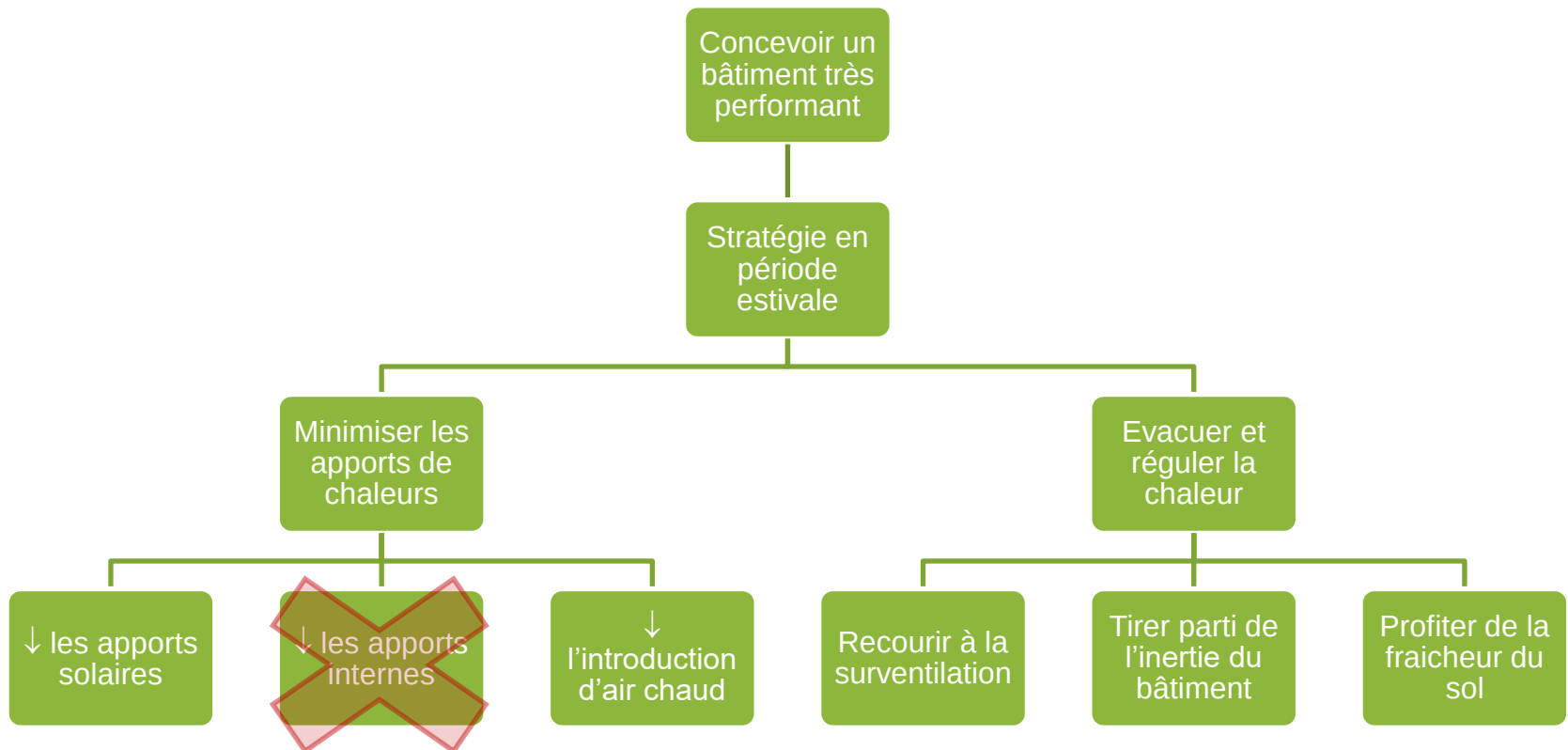
Quatrième étape

→ Proposer des améliorations – stratégie de conception en hiver



Quatrième étape

→ Proposer des améliorations – stratégie de conception en été



Quatrième étape

→ Proposer des améliorations

→ Calcul du besoin de chauffage pour une **approche globale**



	Châssis SV > DV	Châssis et vitrage	Châssis TV (Ug=0,8 et Uf=0,8)	Isolation des murs extérieurs (cm)	Isolation des sols sur VV (cm)	Isolation de la toiture (cm)	Isolation dalle de cave (cm)	VMC double-flux (rdmt 75%)	Étanchéité à l'air (valeur n50)	Facilité de mise en œuvre (+ / ++ / +++)	Coût de l'amélioration (€ TVAC - \$%)	Performance énergétique (kWh/m².an)	Economies par rapport au cas de base	Réduction de la consommation de gaz (m³/an)	Réduction de la facture énergétique (€/an)	Réduction convertie en énergie primaire (kWh)	Réduction convertie en émissions de CO2 (kg/an)	Temps de retour sur investissement
Cas base									7.8			386	-					
AM1	X								7.8	++	30 685 €	368	5%	431	220 €	4738	1081	139.7
AM2		X							7.8	++	55 933 €	355	8%	742	378 €	8160	1862	147.8
AM9						15			7.8	++	20 257 €	273	29%	2 704	1 379 €	29746	6787	14.7
Minimum réglementaire	X			7	7	12	7		3.5		116 781 €	81	79%	7 299	3 722 €	80288	18320	31.4
Optimal+DV		X		8	10	15	7		3		145 608 €	57	85%	7 873	4 015 €	86605	19762	36.3
Optimal+DV+VMC		X		8	10	15	7	X	1.5		178 108 €	38	90%	8 328	4 247 €	91607	20903	41.9
Optimal+TV			X	8	10	15	7		3		184 612 €	52	87%	7 993	4 076 €	87922	20062	45.3
Optimal+TV+VMC			X	8	10	15	7	X	1.5		217 112 €	33	91%	8 448	4 308 €	92923	21203	50.4

Source : écorce



Cinquième étape

→ Combiner des mesures pour atteindre un objectif

	Châssis SV > DV	Châssis et vitrage	Châssis TV (Ug=0,8 et Uf=0,8)	Isolation des murs extérieurs (cm)	Isolation des sols sur VV (cm)	Isolation de la toiture (cm)	Isolation dalle de cave (cm)	VMC double-flux (rdmt 75%)	Étanchéité à l'air (valeur n50)	Facilité de mise en œuvre (+ / ++ / +++)	Coût de l'amélioration (€ TVAC - \$%)	Performance énergétique (kWh/m².an)	Economies par rapport au cas de base	Réduction de la consommation de gaz (m³/an)	Réduction de la facture énergétique (€/an)	Réduction convertie en énergie primaire (kWh)	Réduction convertie en émissions de CO2 (kg/an)	Temps de retour sur investissement
Cas base									7.8			386	-					
AM1	X								7.8	++	30 685 €	368	5%	431	220 €	4738	1081	139.7
AM2		X							7.8	++	55 933 €	355	8%	742	378 €	8160	1862	147.8
AM9						15			7.8	++	20 257 €	273	29%	2 704	1 379 €	29746	6787	14.7
Minimum réglementaire	X			7	7	12	7		3.5		116 781 €	81	79%	7 299	3 722 €	80288	18320	31.4
Optimal+DV		X		8	10	15	7		3		145 608 €	57	85%	7 873	4 015 €	86605	19762	36.3
Optimal+DV+VMC		X		8	10	15	7	X	1.5		178 108 €	38	90%	8 328	4 247 €	91607	20903	41.9
Optimal+TV			X	8	10	15	7		3		184 612 €	52	87%	7 993	4 076 €	87922	20062	45.3
Optimal+TV+VMC			X	8	10	15	7	X	1.5		217 112 €	33	91%	8 448	4 308 €	92923	21203	50.4

Source : écorce



RAPPELS THÉORIQUES

ENJEUX

RÉFLEXION GLOBALE

- Définition
- Approche énergétique
- Etapes de la réalisation d'une étude de conception énergétique / d'un audit énergétique
- **Plan d'action**

OPÉRATIONS DÉPENDANTES



A priori, c'est toujours plus efficace et simple d'envisager une intervention globale en une seule phase...

Le phasage des travaux peut avoir différentes raisons

- Capacité financière limitée
- Nécessité de maintenir une certaine occupation du bâtiment
- Urgence à occuper le bâtiment
- Souhait de maintenir (quelques temps) des installations/équipements qui ne sont pas en fin de vie
- ...

⇒ **Dans le cas d'une rénovation phasée, la réalisation d'un plan d'action est requise**



Une rénovation est performante si à terme toutes les parois sont traitées

- ▶ Parois opaques
 - Sols
 - Toitures ou planchers de combles
 - Murs
 - Parois contre espaces adjacents non chauffés
- ▶ Menuiseries extérieures



Quelles sont les conditions de réussite nécessaires à la réalisation d'une rénovation performante ?

- ▶ Avoir une vision globale > savoir de quoi on parle, quels objectifs viser
- ▶ Traiter l'ensemble des postes (enveloppes et techniques)
- ▶ Traiter les interactions entre les postes (opérations dépendantes et nœuds constructifs)
- ▶ Assurer une bonne exécution des travaux et un suivi dans le temps



Comment y parvenir ?

- ▶ Réfléchir avant d'agir
- ▶ Définir un plan d'action



Si j'isole mes parois, je dois ...

... assurer une continuité d'isolation et d'étanchéité à l'air



Que la rénovation soit ou non phasée !

► Raccords

- sol/mur
- toiture/mur
- plancher intermédiaire/mur
- châssis/mur
- ...

⇒ **Identifier tous les nœuds constructifs**



Définir des bouquets de travaux, en veillant à limiter le nombre d'étapes, avec à chacune d'elle, trois focus



- Performance(s) à atteindre à terme



- Qualité du bâti



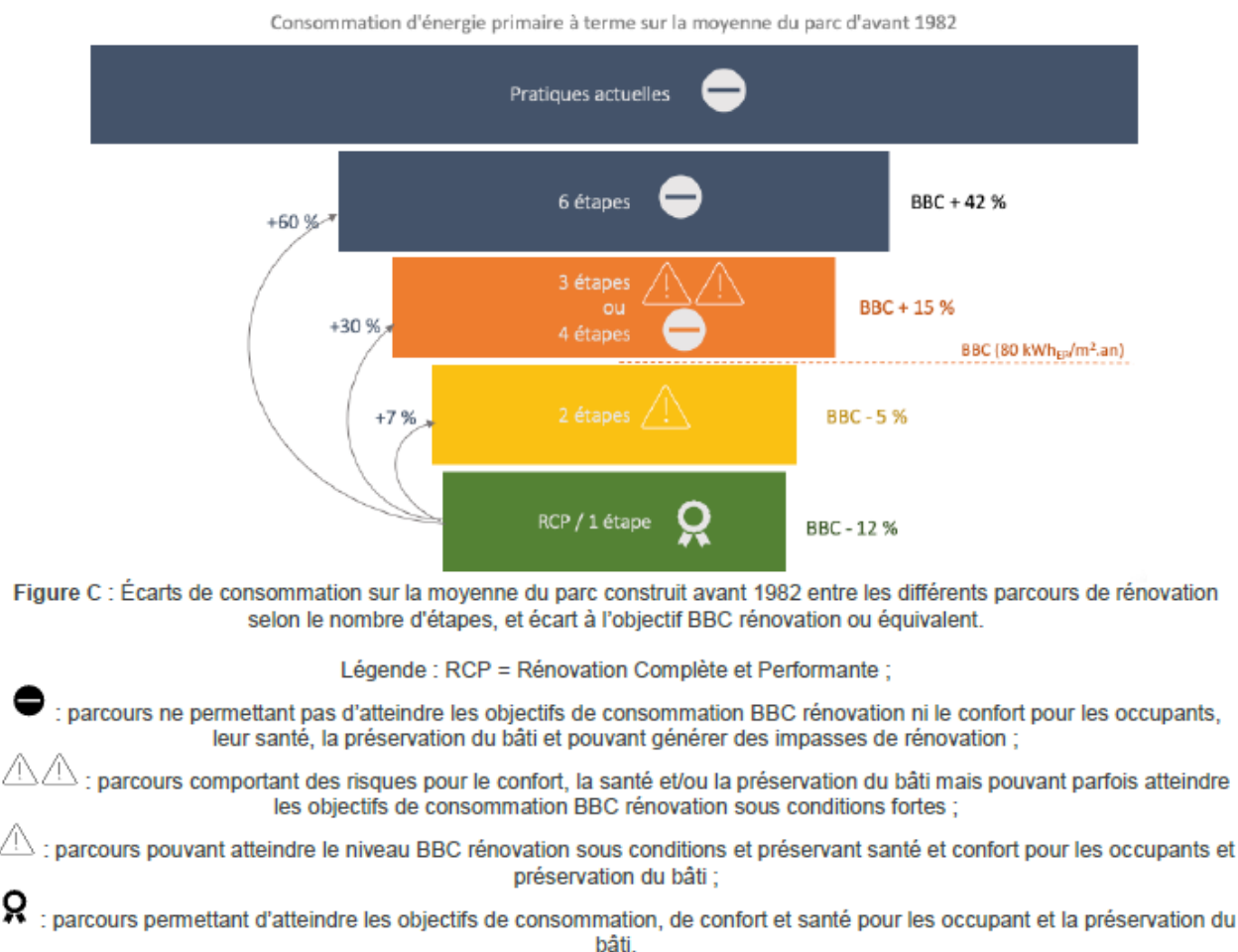
- Confort et santé des occupants



... sans oublier les autres enjeux !



Pourquoi limiter le nombre d'étapes ?



Source / Bron : Adem – La rénovation performante par étapes



RAPPELS THÉORIQUES

ENJEUX

RÉFLEXION GLOBALE

OPÉRATIONS DÉPENDANTES

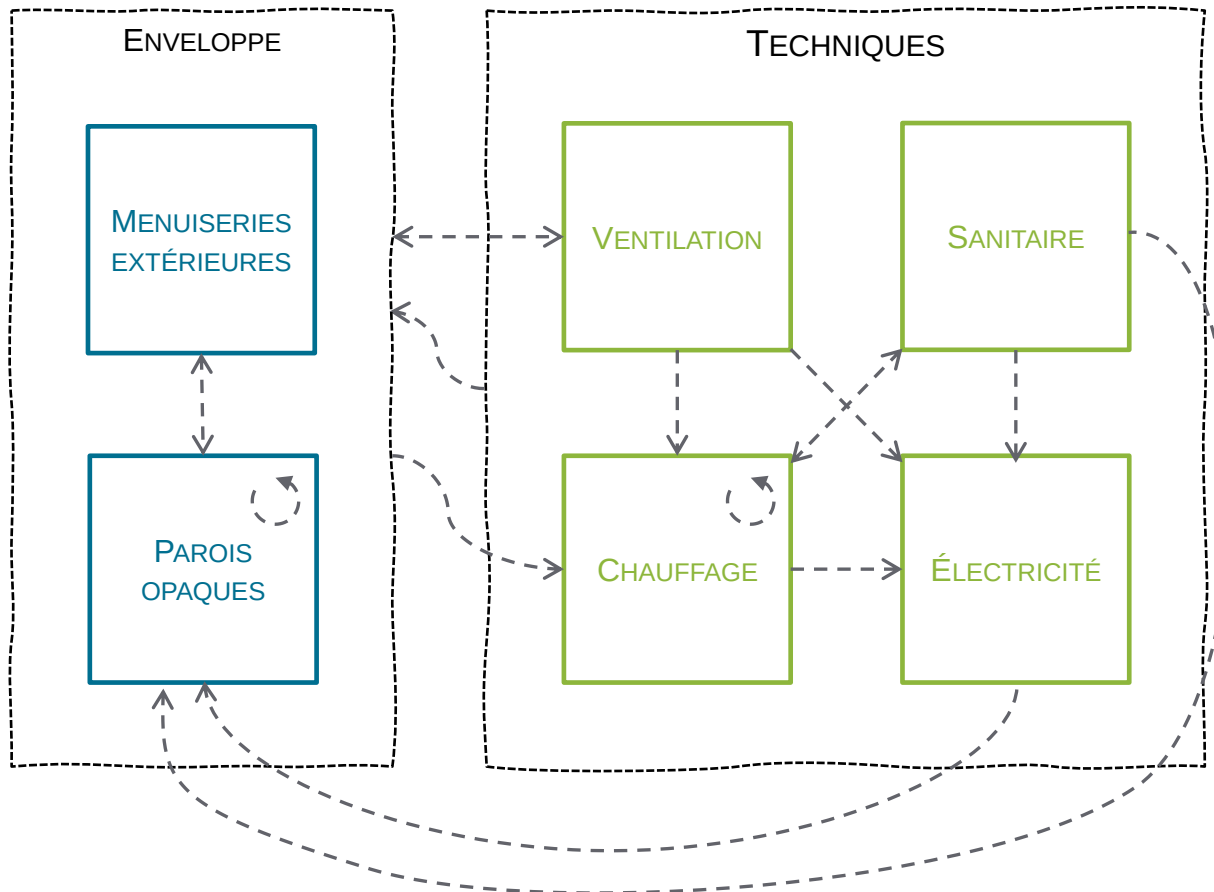




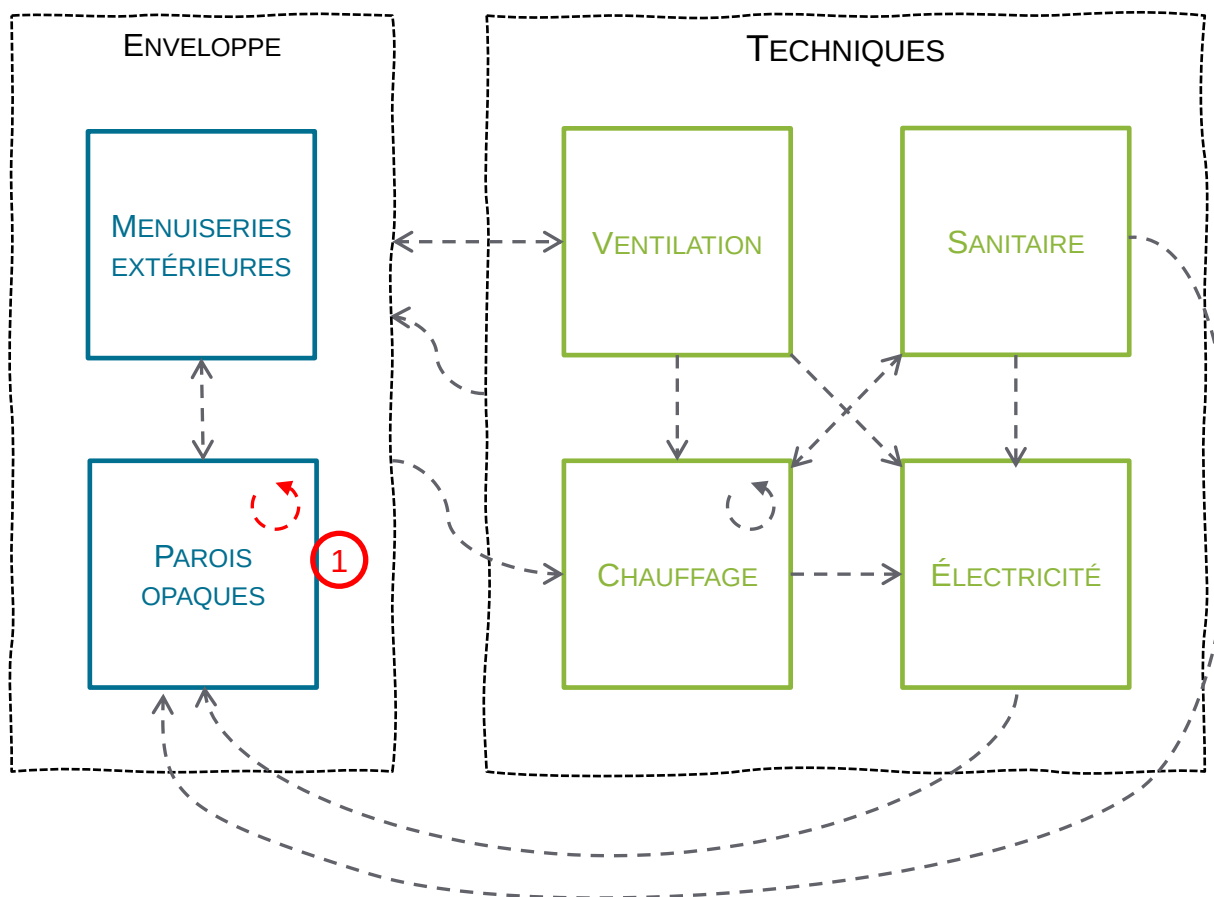
Les actions décrites ci-après ne constituent pas une liste exhaustive...



INTERDÉPENDANCE DES OPÉRATIONS



PAROI OPAQUE <> PAROI OPAQUE



PAROI OPAQUE <> PAROI OPAQUE

Si une paroi est rénovée lors d'une phase antérieure à celle d'une autre paroi, il faut anticiper la continuité d'isolation et d'étanchéité à l'air

Selon que les interventions se font par l'intérieur ou l'extérieur et les parois concernées, la complexité peut être plus ou moins élevée

Extrait d'une matrice de synthèse des complexités

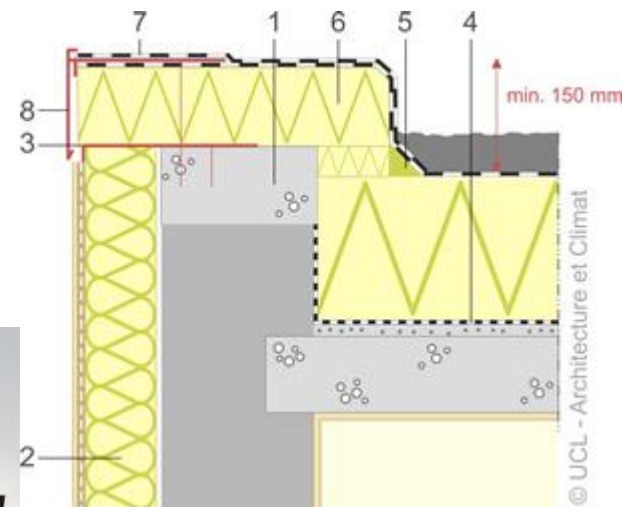
Réalisé en 1er :		Isolation des murs		Isolation de toiture		
Réalisé à une étape ultérieure :		ITI	ITE	Combles perdus	Rampants	Serling
Isolation des murs	ITI	Si plancher intermédiaire en bois	Si plancher intermédiaire en bois	Si faux-plafond	Si pied-droit sur plancher bois	
	ITE					
Isolation de toiture	Combles perdus	Si faux-plafond	Si débord de toit maçonné			
	Rampants		Si débord de toit maçonné ou toiture en appui			

Source / Bron: Adem – La rénovation performante par étapes



PAROI OPAQUE <> PAROI OPAQUE

Si la toiture est rénovée lors d'une première phase, anticiper l'isolation future du mur et la continuité d'étanchéité à l'air



Si la toiture est rénovée lors d'une première étape, prévoir la pose du par-vapeur, même si les travaux de finition sont prévus lors d'une autre étape



moisissures



ÉTANCHÉITÉ A L'AIR <> DIFFUSION DE VAPEUR D'EAU

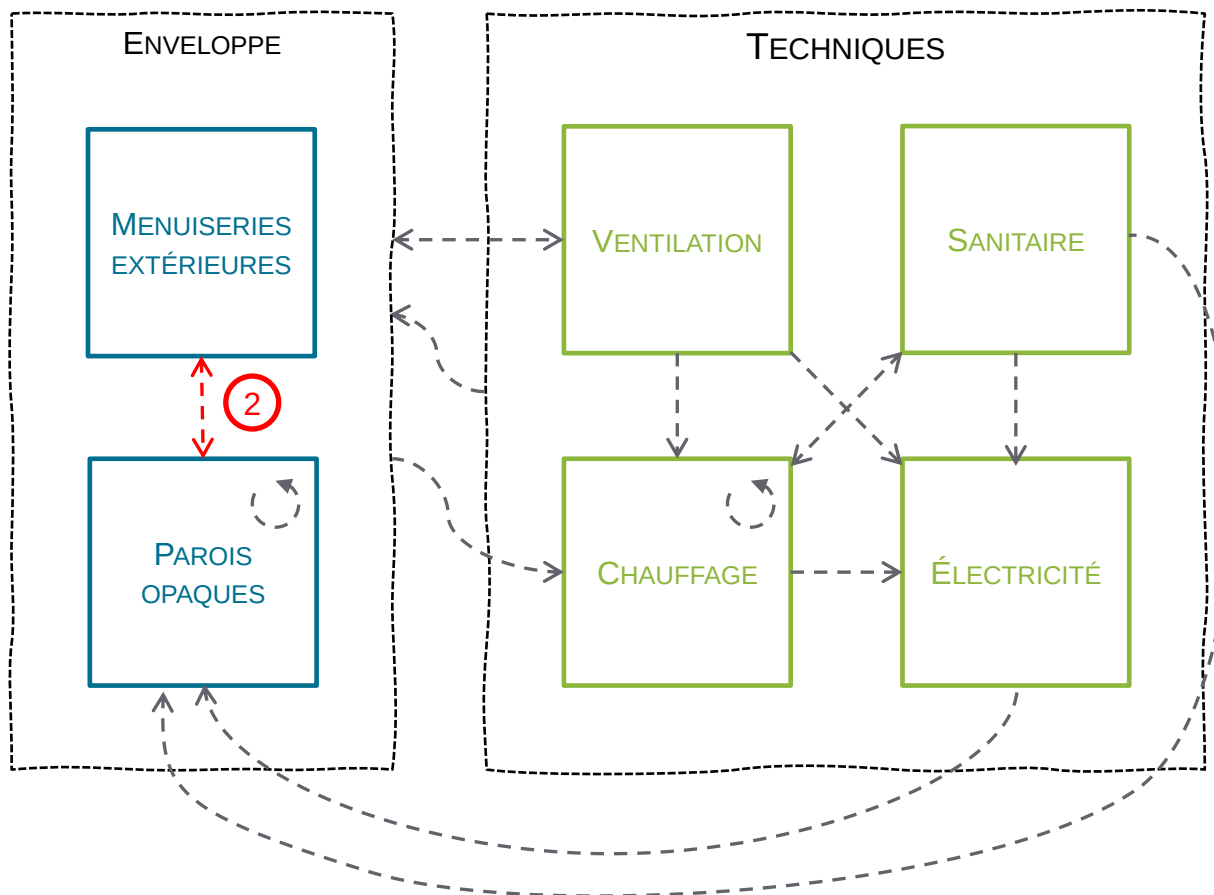
Si le pare-vapeur est placé lors d'une phase antérieure à celle des parachèvements, la durabilité dans le temps des éléments mis en œuvre doit être prise en considération



Source / Bron : Daniel De Vroey



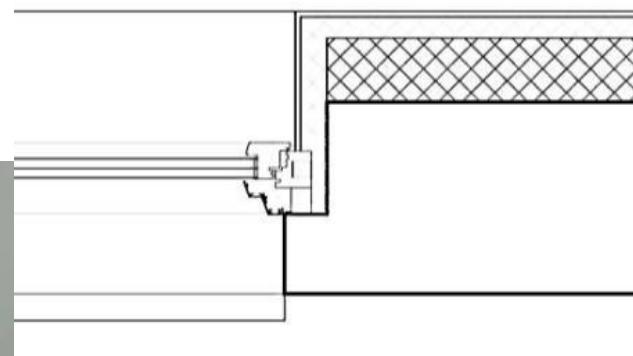
83 PAROI OPAQUE <> MENUISERIE EXTÉRIEURE



84 PAROI OPAQUE <> MENUISERIE EXTÉRIEURE

Si les châssis sont rénovés lors d'une première phase, anticiper la nécessité d'assurer la continuité d'étanchéité au raccord lors de l'isolation de la façade par l'intérieur ou la réalisation des finitions

... ou l'inverse

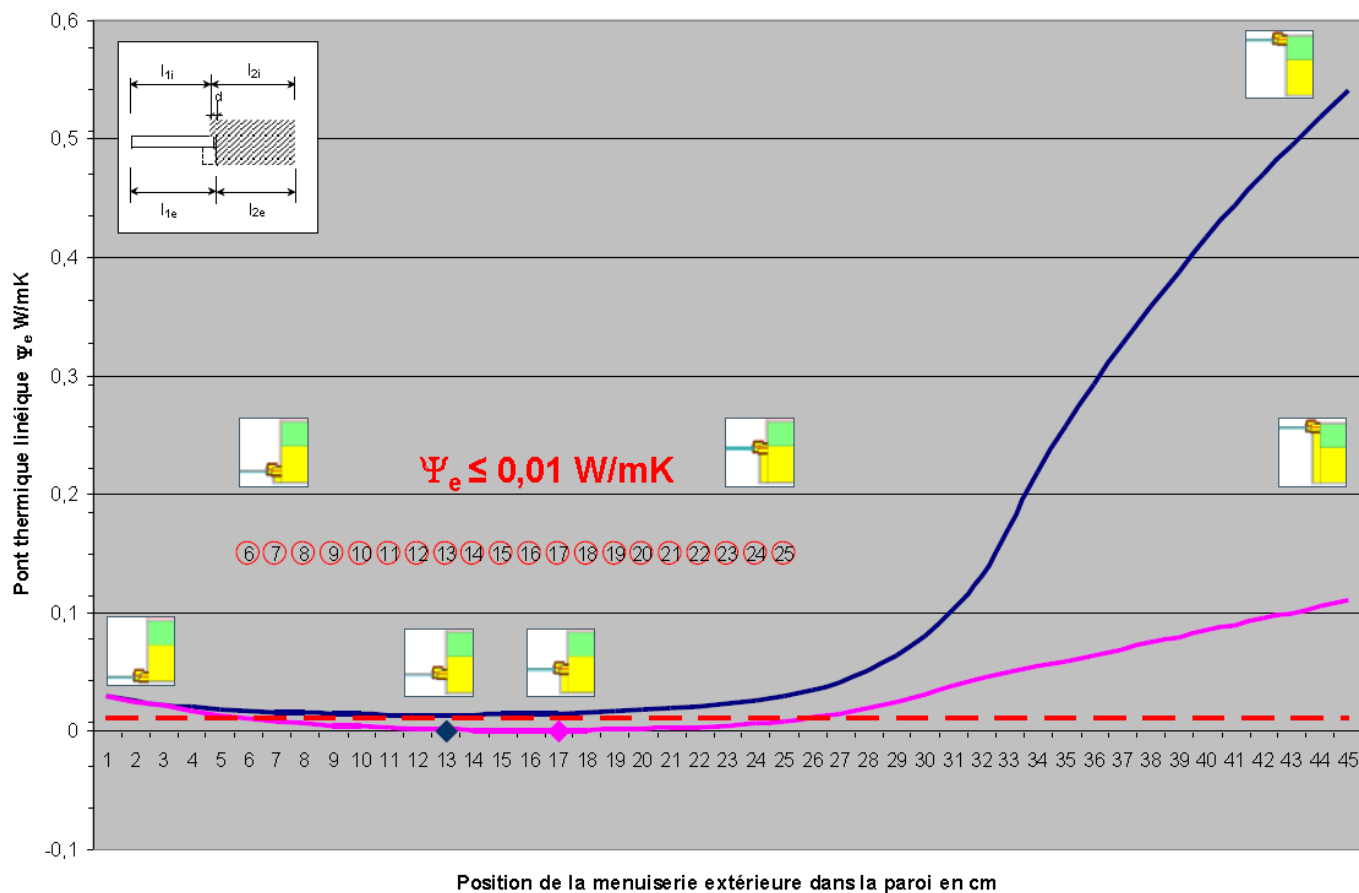


Source / Bron : J. Kessler



85 PAROI OPAQUE <> MENUISERIE EXTÉRIEURE

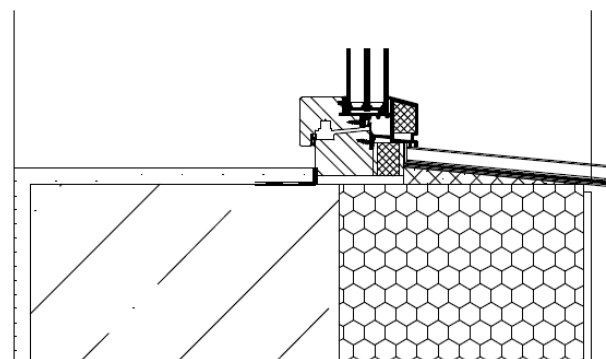
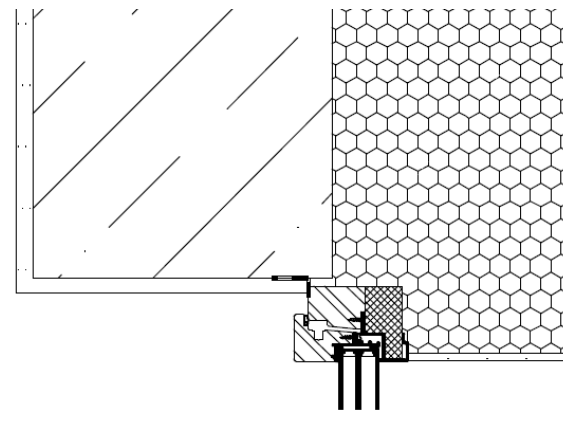
La position du châssis dans la façade influence la valeur du nœud constructif



86 PAROI OPAQUE <> MENUISERIE EXTÉRIEURE

Si les châssis sont remplacés lors d'une première phase, anticiper la gestion du pont thermique de mise en œuvre

... dans le cas d'une isolation par l'extérieur



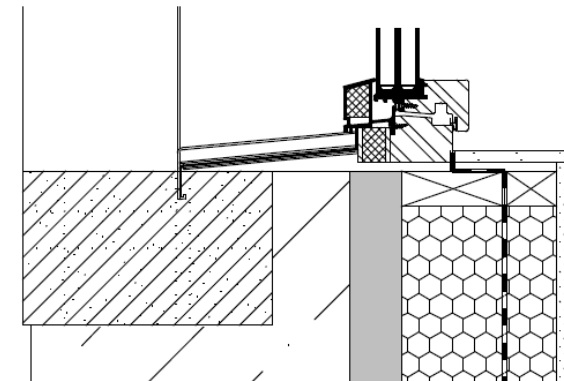
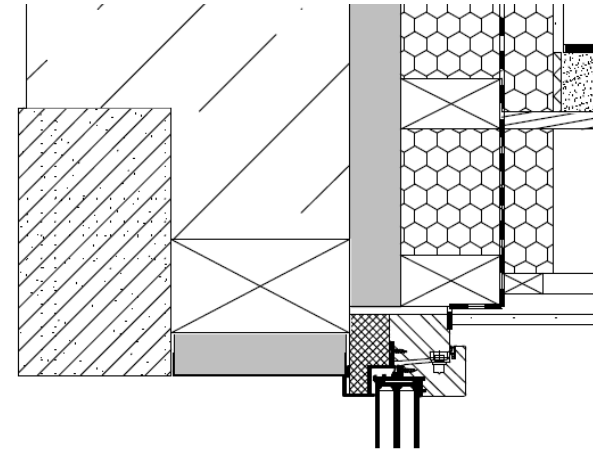
Source / Bron : écorce



87 **PAROI OPAQUE <> MENUISERIE EXTÉRIEURE**

Si les châssis sont remplacés lors d'une première phase, anticiper la gestion du pont thermique de mise en œuvre

... dans le cas d'une isolation par l'intérieur



Source / Bron : écorce



88 PAROI OPAQUE <> MENUISERIE EXTÉRIEURE

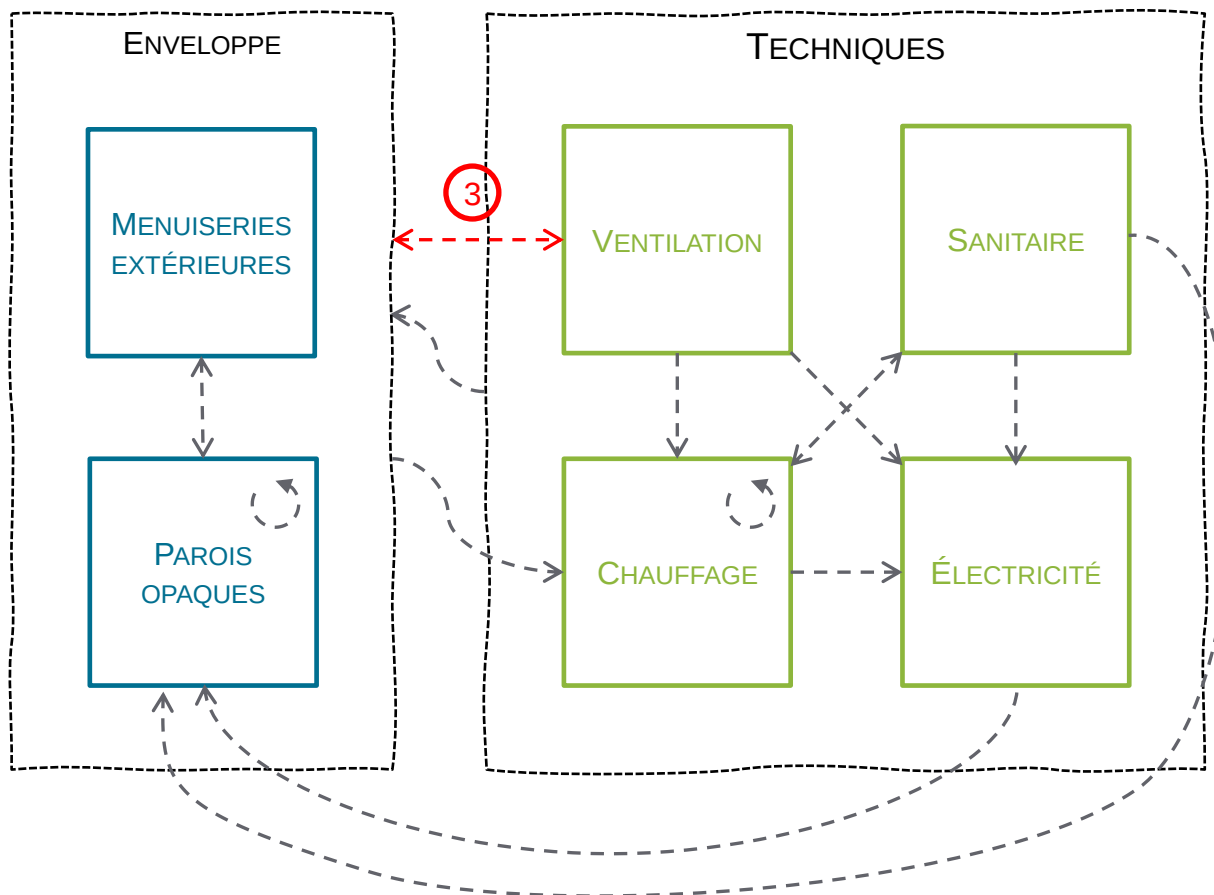
Si des protections solaires doivent être placées lors d'une phase ultérieure, anticiper leur emplacement/encombrement/fixation, leur alimentation électrique éventuelle et la gestion du pont thermique de mise en œuvre



Source / Bron : écorce



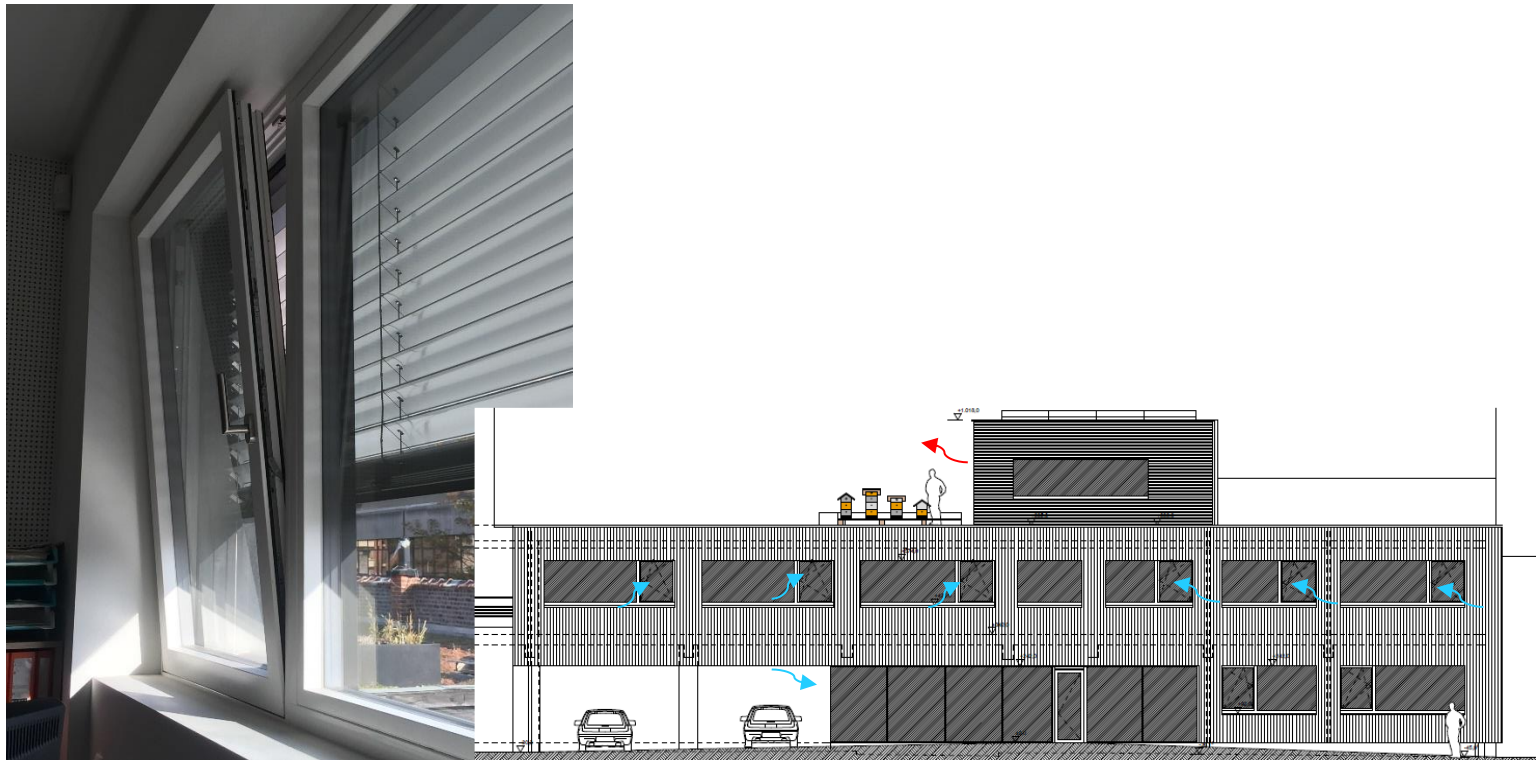
MENUISERIES EXTÉRIEURES <> VENTILATION



MENUISERIES EXTÉRIEURES <> VENTILATION

Si le recours à la ventilation naturelle est envisagé pour gérer les surchauffes, les châssis y participeront-ils ?

- La ventilation sera-t-elle manuelle ou automatique ?
- Si manuelle : quelle ouverture ?



Source / Bron : écorce



Si le recours à la ventilation naturelle est envisagé pour gérer les surchauffes, les châssis y participeront-ils ?

- La ventilation sera-t-elle manuelle ou automatique?
- Si automatique: châssis permettant le placement d'un dispositif d'ouverture automatique + alimentation électrique



Source / Bron: G-U



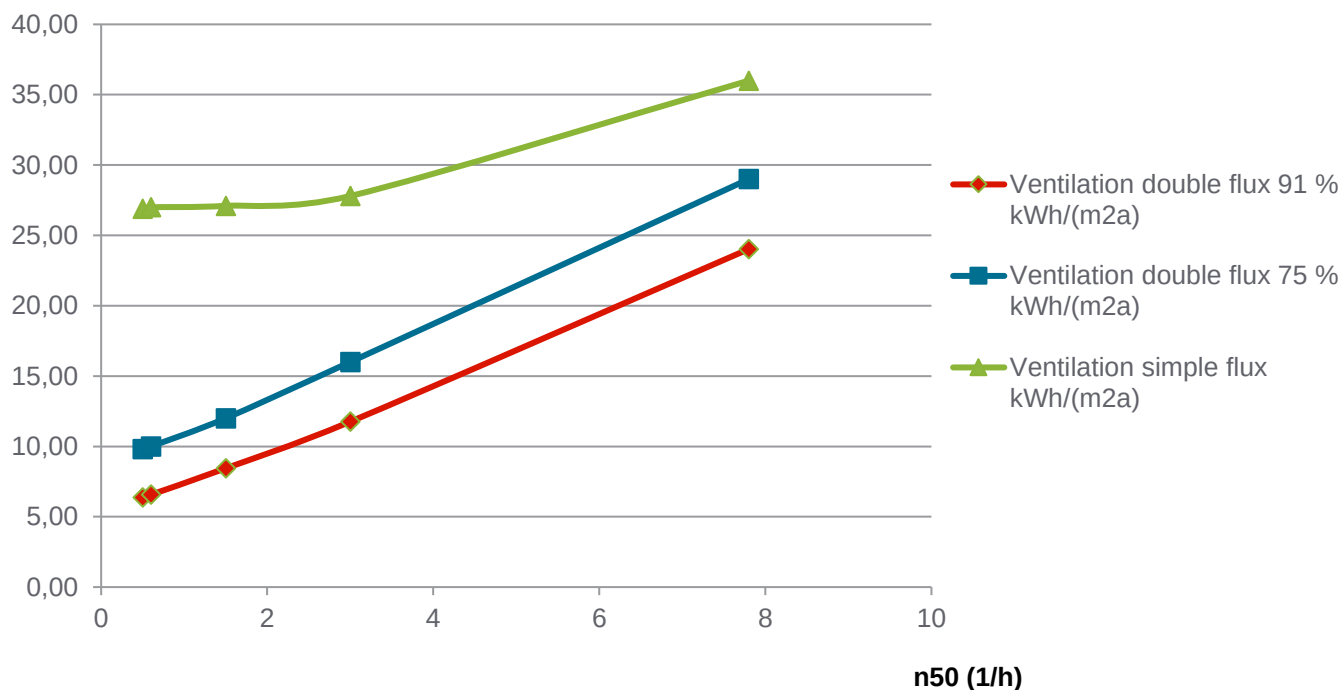
Si je remplace mes châssis, je dois mettre en place un système de ventilation...

→ Quel système (aujourd'hui et à long terme)?

→ OBJECTIF:

Atteindre une performance élevée à terme > système double flux

Besoin de chauffage (kWh/m²a)



93 MENUISERIES EXTÉRIEURES <> VENTILATION

Si je remplace mes châssis, je dois mettre en place un système de ventilation...



- Quel système (aujourd'hui et à long terme)?
- OBJECTIF: **Atteindre une performance élevée à terme**

- ▶ OPTIMUM : Prévoir un système D (double-flux) avec récupération de chaleur d'emblée



Si je remplace mes châssis, je dois mettre en place un système de ventilation...



- Quel système (aujourd'hui et à long terme)?
- OBJECTIF: Atteindre une performance élevée à terme

- ▶ INTERMEDIAIRE: Prévoir un système C (simple flux) complet/incomplet qui pourra être converti en système D
 - Evacuation : Réaliser tout ou partie du réseau d'extraction (il pourra être conservé)
 - Alimentation : Si les châssis sont remplacés dans des pièces sèches (ou de séjour) > Prévoir des ouvertures murales provisoires dans les pièces concernées qui seront obturées à terme
 - Le groupe simple flux devra être remplacé par un groupe double flux (attention à l'investissement !)



Si je remplace mes châssis, je dois mettre en place un système de ventilation...



- Quel système (aujourd'hui et à long terme)?
- OBJECTIF: **Atteindre une performance élevée à terme**

- ▶ BASE (= respect des exigences réglementaires)
 - > Ne se préoccuper que des locaux où il y a eu remplacement de châssis
 - Evacuation : Prévoir des extracteurs d'air mécaniques individuels provisoires, non asservis à l'éclairage du local
 - Alimentation : Prévoir des ouvertures murales provisoires dans les pièces concernées qui seront obturées à terme



Si je remplace mes châssis, je dois mettre en place un système de ventilation...



→ Quel système (aujourd'hui et à long terme)?

→ OBJECTIF: **Atteindre une performance moyenne à terme**

- ▶ OPTIMUM: Prévoir un système C (simple flux) d'emblée



Si je remplace mes châssis, je dois mettre en place un système de ventilation...



→ Quel système (aujourd'hui et à long terme)?

→ OBJECTIF: **Atteindre une performance moyenne à terme**

- ▶ INTERMEDIAIRE: Prévoir un système C (simple flux) partiel qui pourra être complété par la suite
 - Evacuation : Réaliser tout ou partie du réseau d'extraction (il pourra être conservé)
 - Alimentation : Si les châssis sont remplacés dans des pièces sèches (ou de séjour) > Prévoir des ouvertures murales ou dans les châssis dans les pièces concernées



Si je remplace mes châssis, je dois mettre en place un système de ventilation...



→ Quel système (aujourd'hui et à long terme)?

→ OBJECTIF: **Atteindre une performance moyenne à terme**

► BASE (= respect des exigences réglementaires)

> Ne se préoccuper que des locaux où il y a eu remplacement de châssis

- Evacuation : Prévoir des extracteurs d'air mécaniques individuels provisoires ou définitifs, non asservis à l'éclairage du local
- Alimentation : Si les châssis sont remplacés dans des pièces sèches (ou de séjour) > Prévoir des ouvertures murales ou dans les châssis dans les pièces concernées



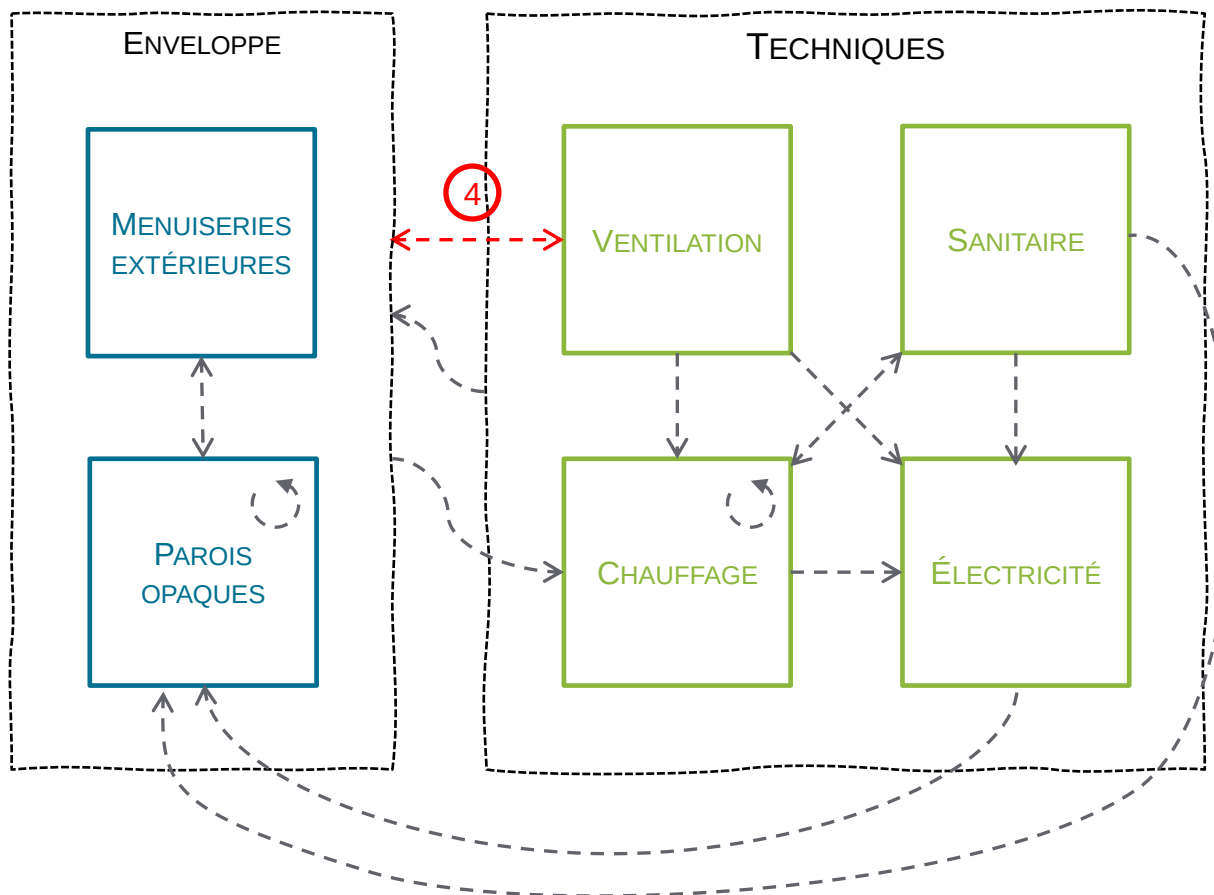
Si je remplace mes châssis, je dois mettre en place un système de ventilation...

→ Dans tous les cas (plus adapté au résidentiel)

- Dans une pièce où je souhaite avoir plus de confort > un système double-flux décentralisé peut être prévu (de manière provisoire ou définitive)



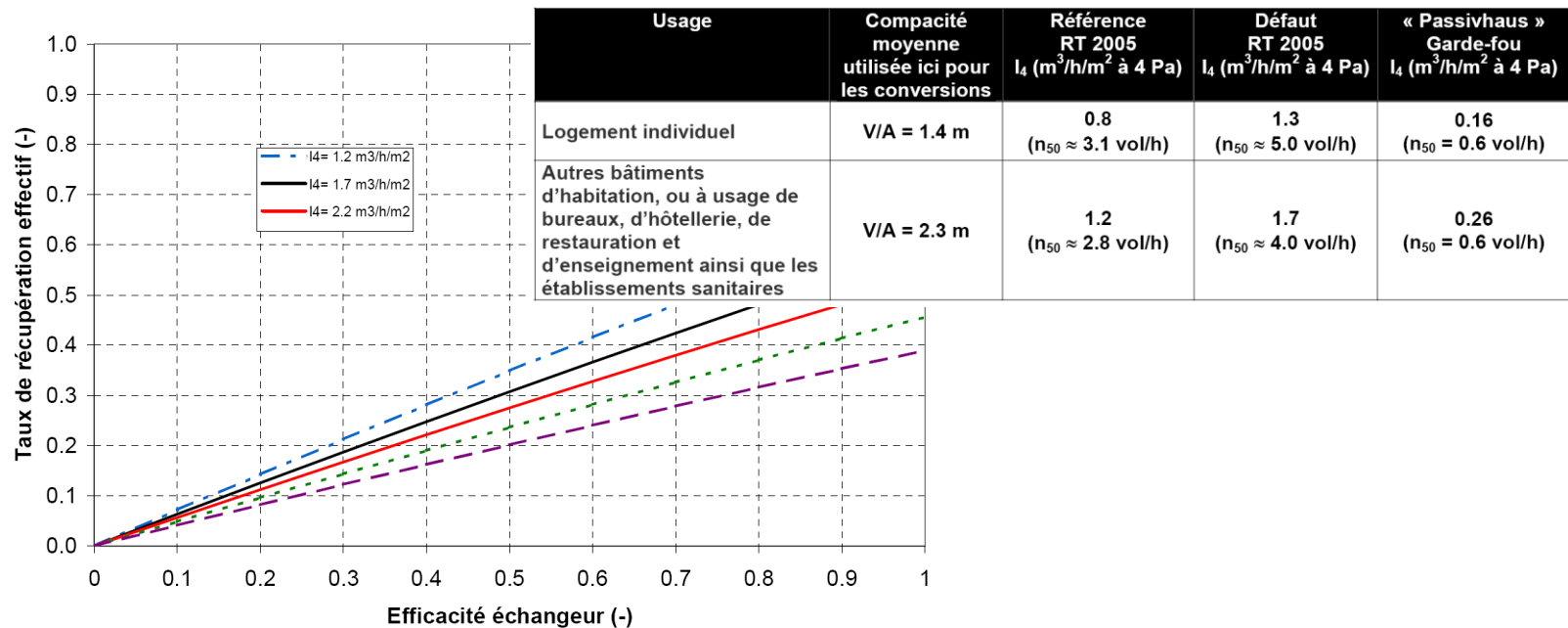
ETANCHÉITÉ A L'AIR <> VENTILATION



ÉTANCHÉITÉ A L'AIR <> VENTILATION

Une ventilation mécanique peut-elle être prévue même si l'étanchéité à l'air du bâtiment n'est pas optimale ?

- Un système de ventilation mécanique a un meilleur rendement si la ventilation involontaire est limitée
 - Si $n_{50} \nearrow > \eta_{VMC} \searrow$
 - Air repris plus froid (mélange entre air extérieur et intérieur)
 - Delta de température entre air repris et air neuf plus faible



Une ventilation mécanique peut-elle être prévue même si l'étanchéité à l'air du bâtiment n'est pas optimale ?

▮ NBN
50.001
▮

- ▶ La norme **NBN D 50-001** (§4.3.3 5 - Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation) recommande un débit de fuite maximal n_{50} de :
 - **3 vol/h** lorsque la ventilation du bâtiment est assurée par un système D
 - **1 vol/h** lorsque la ventilation du bâtiment est assurée par un système D équipé d'un récupérateur de chaleur



Une ventilation mécanique peut-elle être prévue même si l'étanchéité à l'air du bâtiment n'est pas optimale ?

▮ **NBN**
▮ **EN 13 779**
▮

- ▶ La norme **NBN EN 13 779** (bâtiments non résidentiels) recommande quant à elle :

- Bâtiments de 3 niveaux ou moins : $n_{50} \leq 2 \text{ vol/h}$
- Bâtiment de plus de 3 niveaux : $n_{50} \leq 1 \text{ vol/h}$

⇒ **SEVERE ! Mise en œuvre soignée, attention particulière aux raccords, passage de gaines ou conduites, ...**

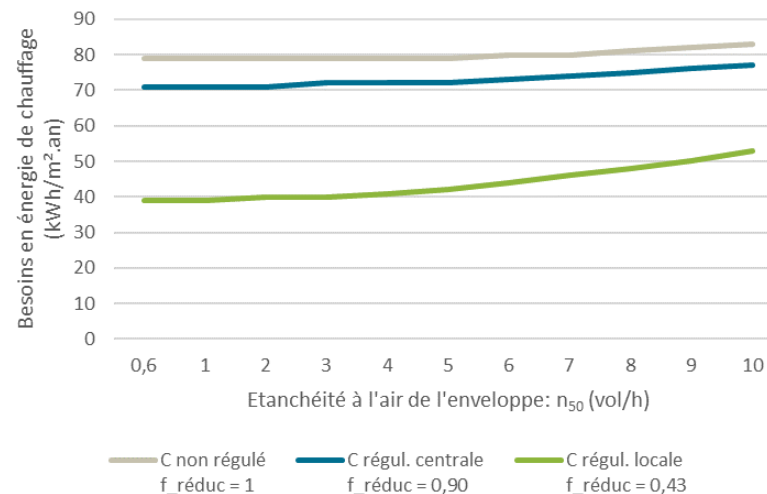


ETANCHÉITÉ A L'AIR <> VENTILATION

Une ventilation mécanique peut-elle être prévue même si l'étanchéité à l'air du bâtiment n'est pas optimale ?

- ▶ Aucune norme ne recommande un niveau d'étanchéité à atteindre lorsque la ventilation du bâtiment est assurée par un **système simple flux**.

⇒ Il semble raisonnable de conserver, dans ce cas, l'objectif d'un débit de fuite maximal de 3 l/h. Au-delà de cette valeur (plus faible), les gains énergétiques que l'on obtient avec une meilleure étanchéité sont de plus en plus faibles



Source / Bron : écorce

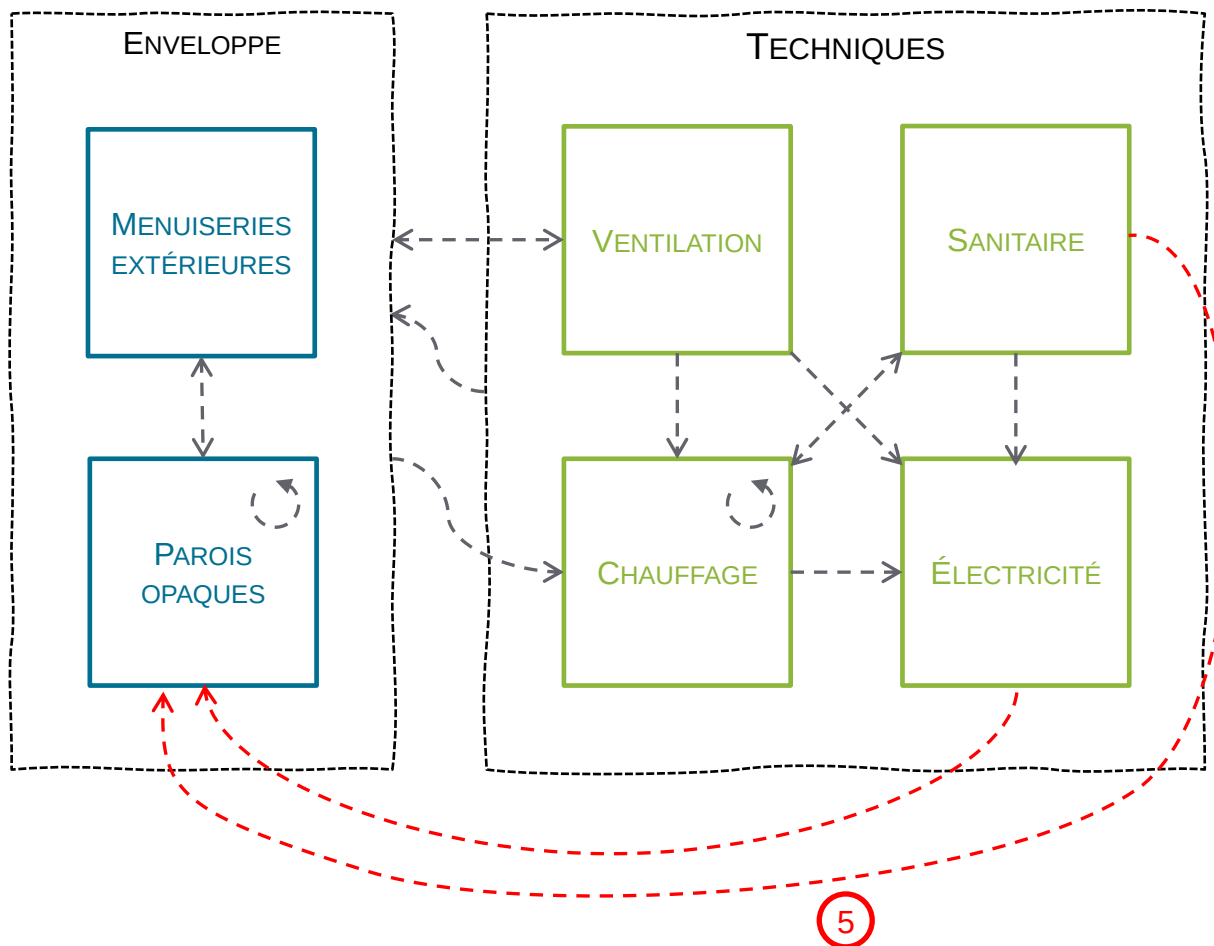


Une ventilation mécanique peut-elle être prévue même si l'étanchéité à l'air du bâtiment n'est pas optimale ?

- ⇒ **Attention, ce ne sont que des recommandations!!
Entre deux phases (et provisoirement), cela peut tout à fait s'envisager!!**
- ⇒ **Même si l'étanchéité à l'air n'est pas optimale, une ventilation mécanique peut être mise en place**



PAROI OPAQUE <> TECHNIQUES



PAROI OPAQUE <> TECHNIQUES

Si les techniques sont réalisées lors d'une phase antérieure à celle des parachèvements, la manière d'assurer l'étanchéité à l'air doit néanmoins être définie pour l'ensemble des parois



Source / Bron : Daniel De Vroeye



Source / Bron : écorce



Si des techniques sont placées lors d'une phase antérieure à la réalisation de l'étanchéité à l'air, des éléments ponctuels permettant d'assurer la continuité dans le futur doivent être prévus



Source / Bron : Daniel De Vroey





- ▶ Dans le cadre de la rénovation énergétique d'un bâtiment, il est nécessaire de s'assurer que les mesures prises permettent de préserver le bâti et de garantir le confort
- ▶ Avant tout investissement/intervention, il faut définir un plan d'action et une stratégie de rénovation. Limiter les phases permet de limiter les coûts et d'atteindre une performance plus élevée
- ▶ Pour pouvoir planifier une rénovation par phases, il est nécessaire d'avoir une bonne maîtrise de tous les aspects techniques et réglementaires et de mener une réflexion d'ensemble
- ▶ Une rénovation par phase nécessite de l'anticipation
 - Programme
 - Ambition énergétique
 - Etude des détails
 - Liens avec les techniques
 - ...





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brussels

- ▶ Thème matériaux
[Dossier | Choix durable des châssis](#)
- ▶ Thème humain
[Dossier | Assurer le confort respiratoire](#)
- ▶ Thème énergie
[Sous-thème | Enveloppe énergétique](#)
[Sous-thème | Techniques du bâtiment](#)



Sites internet

- ▶ Service ponts thermiques
www.ponts-thermiques.be





Ouvrages

- ▶ Quevrin et al., Les ponts thermiques, pmp, 2012
- ▶ Office fédéral de l'énergie OFEN, Catalogue des ponts thermiques, 2003, Suisse



Formations et séminaires

- ▶ Inscrivez-vous formations organisées par Bruxelles Environnement
<https://environnement.brussels/formationsbatidurable>
Et notamment, en lien avec cet exposé
 - Enveloppe: isolation de la façade à rue
 - Isolation de la toiture
 - Rénovation des copropriétés
 - Ventilation: conception et régulation
- ▶ Consultez tous les supports [gratuitement](#) !



Muriel BRANDT

Administratrice-déléguée

écorce sa



+ 32 4 226 91 60



info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

