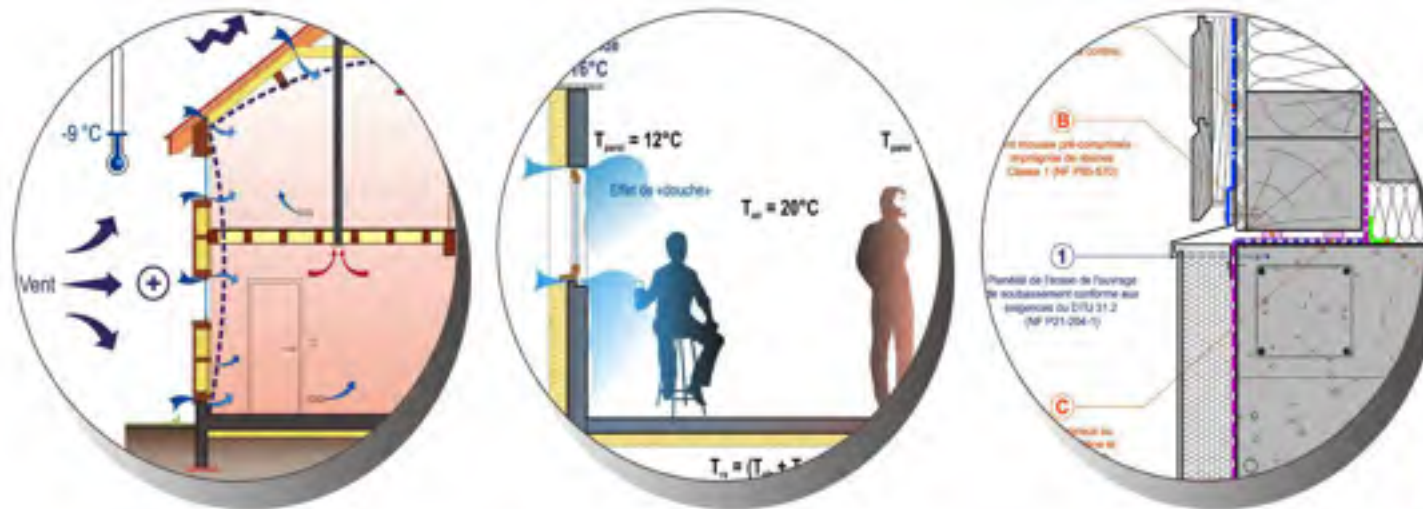


# Étanchéité à l'air des bâtiments

## Un enjeu pour la qualité des enveloppes

Atelier pour les formateurs des métiers du bâtiment  
Programme « Concerto Renaissance »



Romuald Jobert, Le 16 Juin 2010

**ALE**  
Agence Locale de l'Énergie  
de l'Agglomération Lyonnaise

  
CONCERTO

**CETE**  
de Lyon

Centre  
d'Études  
Techniques  
de l'Équipement

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer  
CETE de Lyon, Département Villes et Territoires, Unité Bâtiment

## 1. Éléments de contexte

- Contexte énergétique des bâtiments
- Vers des bâtiments à énergie positive
- Conception et efficacité énergétique
- Historique de la perméabilité à l'air

## 2. Perméabilité à l'air ?

- La présence de fuites dans les parois
- Trois phénomènes moteurs
- Fuites et systèmes constructifs

## 3. Quels enjeux ?

- La présence de fuites dans les parois
- Trois phénomènes moteurs
- Fuites et systèmes constructifs

## 4. Mesures et Indicateurs

- Principe de la mesure
- Les indicateurs Q4Pa-Surf et N50
- La surface équivalente de fuite

## 5. Vers une bonne étanchéité

- Le principe de la continuité
- Les détails d'exécution
- Les matériaux d'étanchéité
- Allotissement et mise en œuvre
- Le projet MININFIL



## Éléments de Contexte



**Le secteur du bâtiment est directement interpellé par les préoccupations environnementales d'aujourd'hui**



*Le bâtiment, grand consommateur de ressources et d'énergie*

**Le bâtiment représente à lui seul :**

- 50 % des ressources naturelles
- 43 % de l'énergie
- 16 % de l'eau
- 25 % des émissions de GES

*Source : Plan Climat 2006*



## L'émergence de labels énergétiques performants et une réglementation thermique en route vers la classe A

■  $< 120 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{an}$



**Passiv Haus**

- Chauffage
- Eau chaude sanitaire
- Eclairage
- Ventilation
- Auxiliaires
- Electricité domestique

■  $< 43 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{an}$



**MINERGIE**

- Chauffage
- Eau chaude sanitaire

■  $< 30 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{an}$



**MINERGIE-P**

- Chauffage
- Eau chaude sanitaire

■  $< 50 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{an}$



**effinergie**

- Chauffage
- Eau chaude sanitaire
- Eclairage
- Ventilation
- Auxiliaires

■  $\text{Cep}_{\text{max}} < 50 \text{ kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{an}$   
RT 2012 = Classe A



## L'émergence de labels énergétiques performants et une réglementation thermique en route vers la classe A



$$n_{50} \leq 0,6 \text{ vol/h}$$

MINERGIE®-P

$$n_{50} \leq 0,6 \text{ vol/h}$$

$$n_{50} \leq 1,5 \text{ vol/h}$$



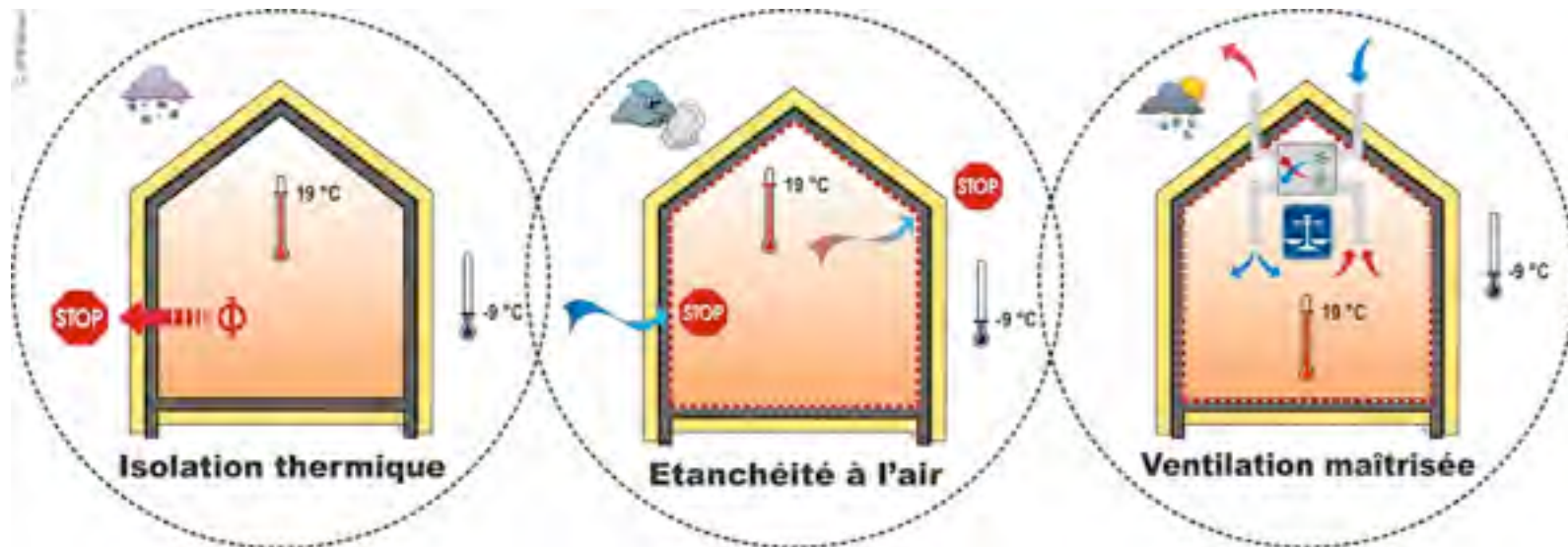
$$Q_{4PaSurf} \leq 0,6 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$$

$$Q_{4PaSurf} \leq 1,0 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$$

**RT 2012**  
Une exigence renforcée pour la perméabilité à l'air...



**Une stratégie de conception dédiée à l'efficacité énergétique des bâtiments et au confort des occupants**



- Dans cette stratégie de conception, la perméabilité à l'air constitue un enjeu essentiel souvent délaissé



## Une préoccupation de l'enveloppe des bâtiments bientôt vieille de 30 ans !



***Build tight and ventilate right !***

Source : AIR (Air Infiltration Review), Août 1980

### Quelques dates importantes :

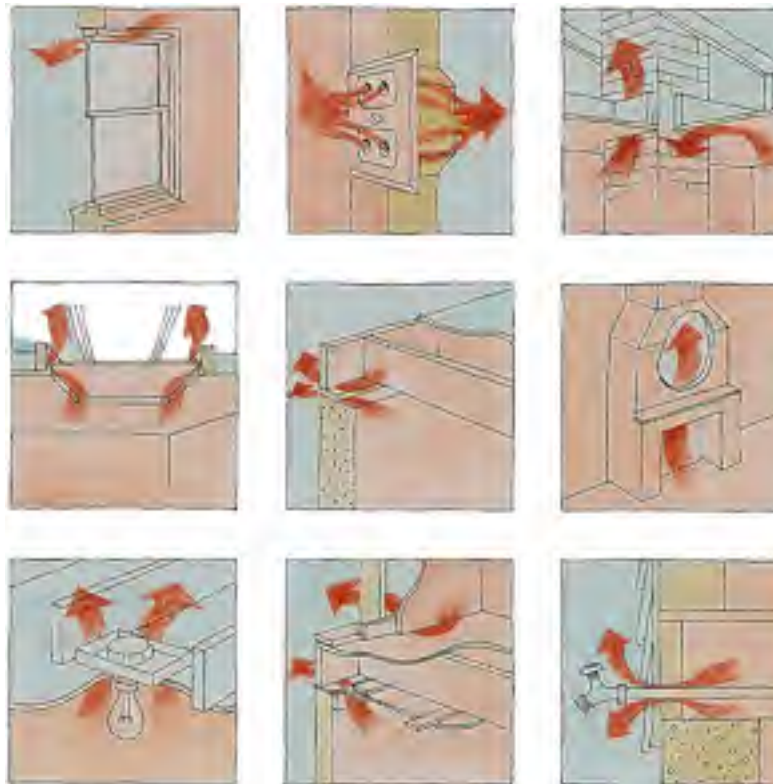
- **1980 : Norvège et USA**
  - Premières études
- **1983 : France**
  - Premier rapport du CETE de Lyon
- **1991 : Europe**
  - CEPHEUS / Concept bâtiments passifs
- **1996 : Allemagne**
  - Création du Label Passiv'haus
- **1998 : Suisse**
  - Création du Label Minergie-P
- **2005 : France**
  - Réglementation Thermique Renforcée
- **2006 : France**
  - Création du Label BBC-Effinergie
- **2012 : ...**
  - Renforcement des exigences





**Les parois modernes sont souvent multicouches et le calfeutrement ne fait pas l'objet d'une grande attention**

- La présence de fuites dans les parois :



*Croquis : T. Cabriol, Edisud*



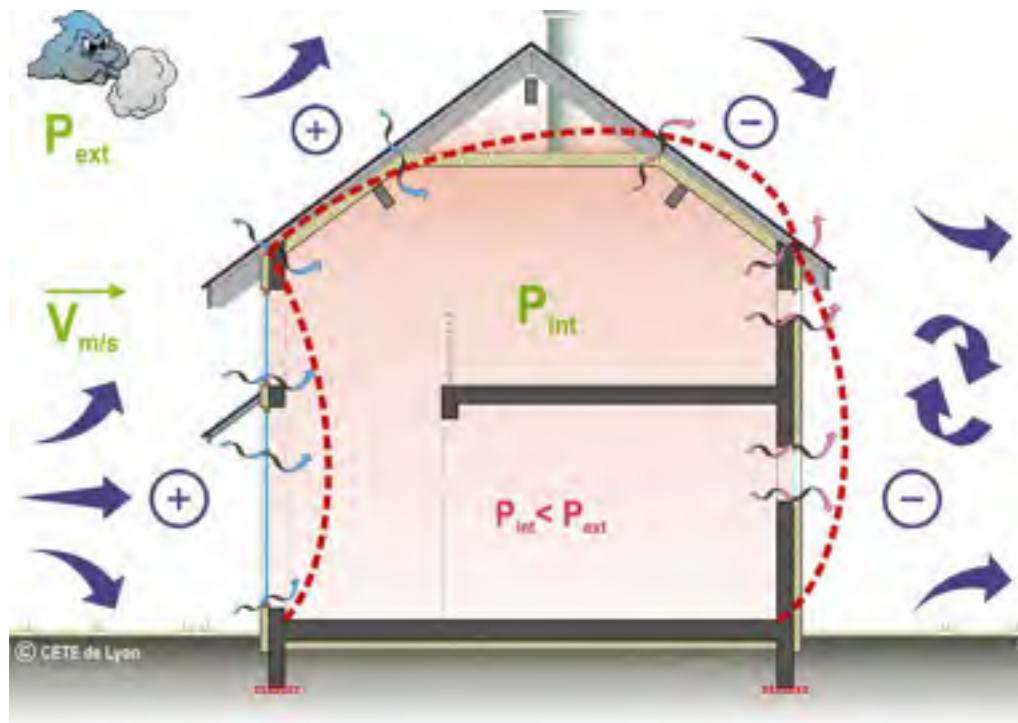
**La combinaison de 3 phénomènes physiques internes ou externes au bâtiment favorise l'infiltration et/ou l'exfiltration de l'air**

- **La pression du vent sur les façades**
- **Le tirage thermique**
- **La ventilation du bâtiment**



**Une surpression sur les façades incidentes favorise l'infiltration de l'air et une dépression sur les autres façades l'exfiltration de l'air**

■ La pression du vent



La pression due au vent  $P_{\text{vent}}$  est proportionnelle au carré de la vitesse du vent :

$$P_{\text{vent}} = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$$

$C_p$  : Coefficient de pression

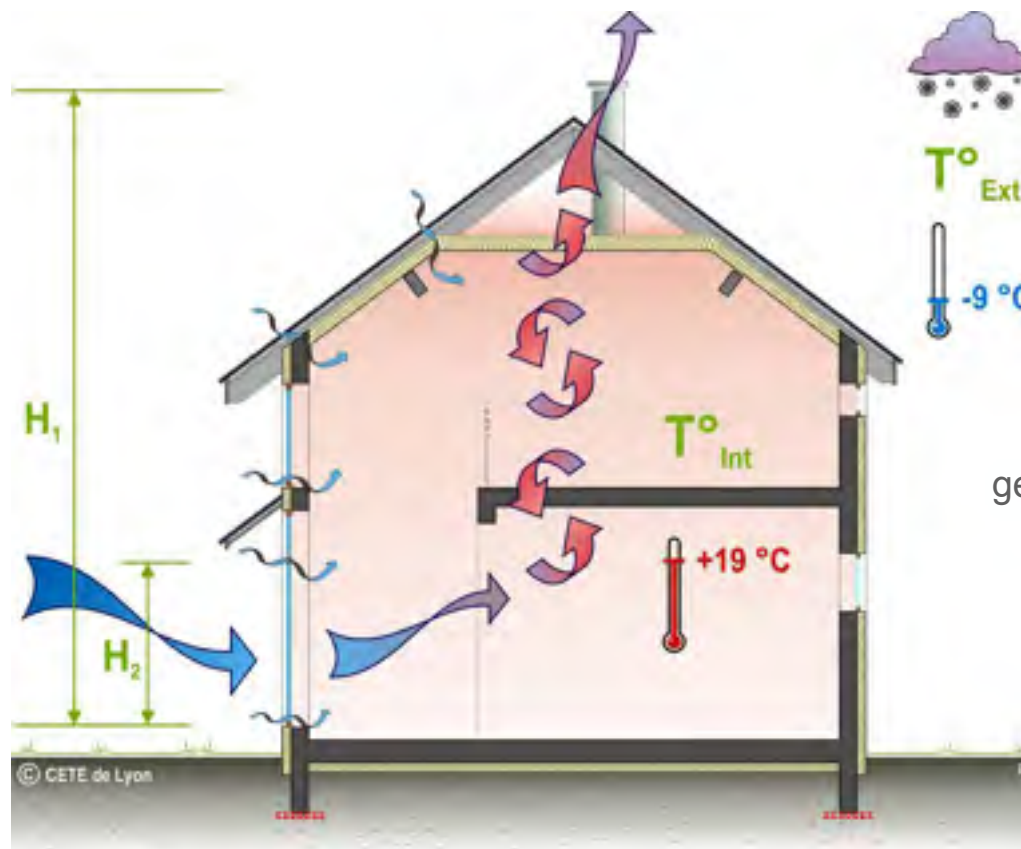
$\rho$  : Masse volumique de l'air [ $\text{kg/m}^3$ ]

$v^2$  : Vitesse du vent sur le bâtiment [ $\text{m/s}$ ]



**La mise en circulation de l'air résulte d'une différence de pression entre les masses volumiques de l'air extérieur et de l'air chauffé du bâtiment**

■ Le tirage thermique



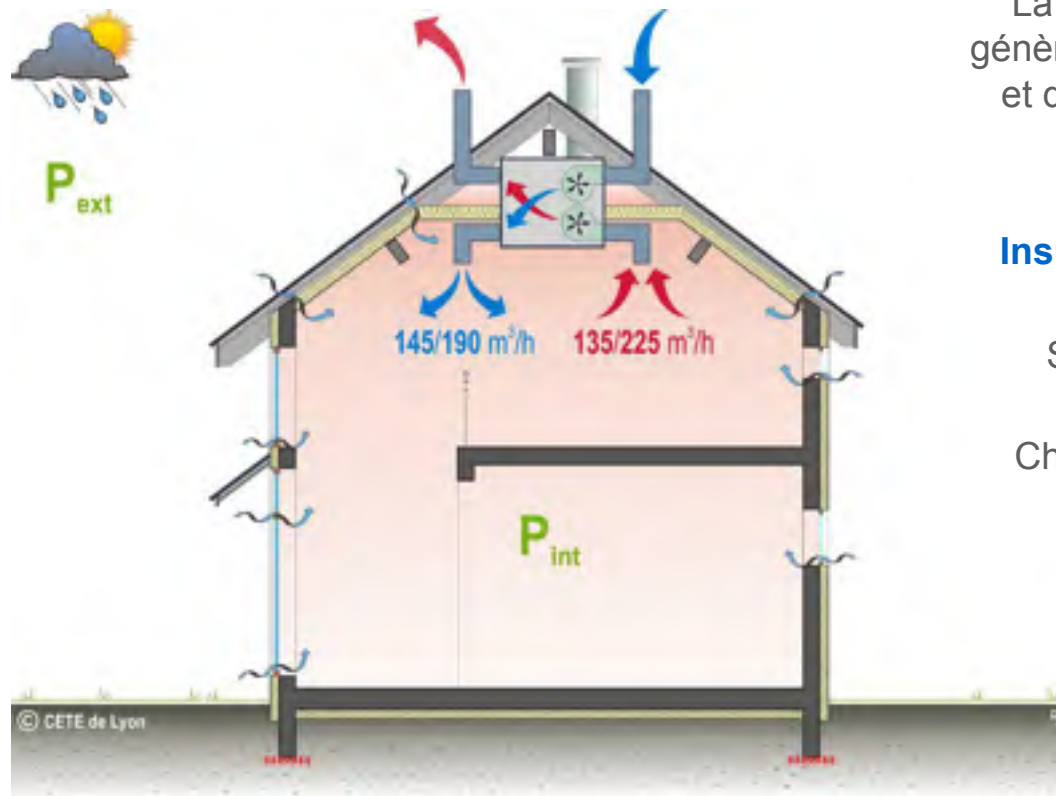
La différence de pression générée par le tirage thermique est proportionnelle à :

$$H \times (T_{ext} - T_{int})$$



**Le système est mis en dépression par un extracteur d'air qui force l'air extérieur à entrer dans le bâtiment**

■ La ventilation mécanique



La ventilation mécanique génère des débits d'infiltration et d'extraction connus aux bouches :





Insufflation $m^3/h$	Extraction $m^3/h$
Séjour 3 x 45	Cuisine 45 / 180
Chambres 1 x 25 3 x 10	Sanitaires 2 x 30 2 x 15
<b>190</b>	<b>225</b>



**Les fuites d'air parasites sont réparties de manière diffuse au droit des points singuliers de l'enveloppe**

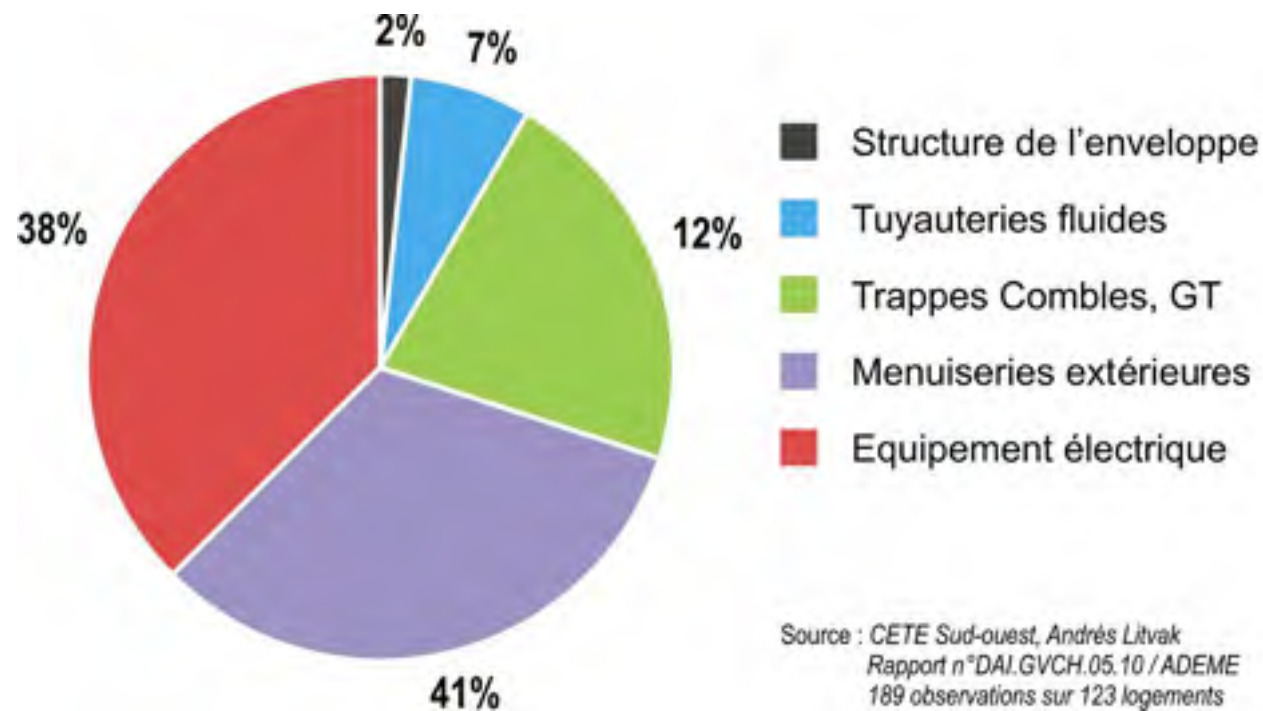


 **Risque de fuite**

-  Gros oeuvre et Eléments de structure
-  Menuiseries extérieures
-  Trappes et éléments traversant les parois
-  Equipements électriques et Réseaux fluides

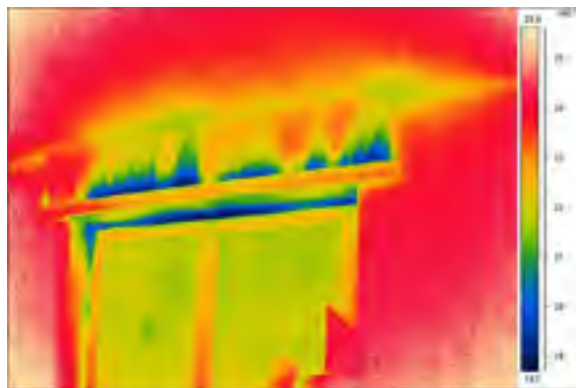
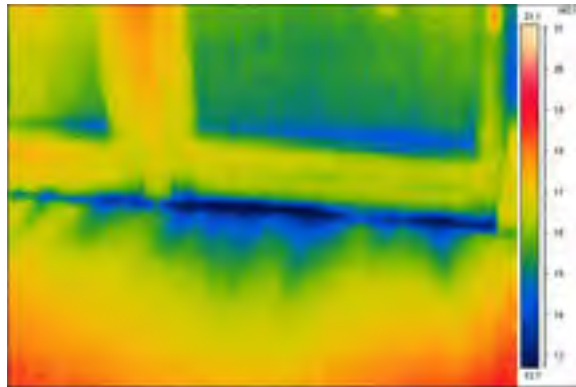


**Les parois modernes sont souvent multicouches et le calfeutrement ne fait pas l'objet d'une grande attention**

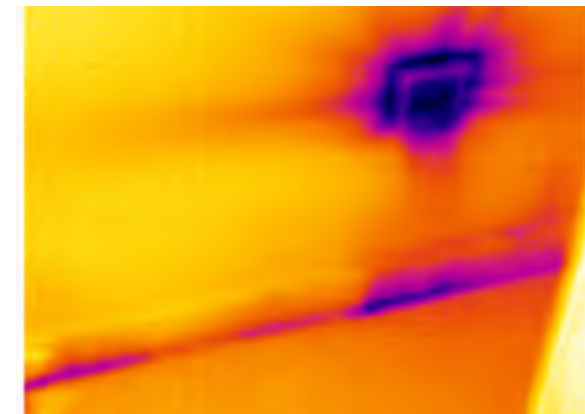
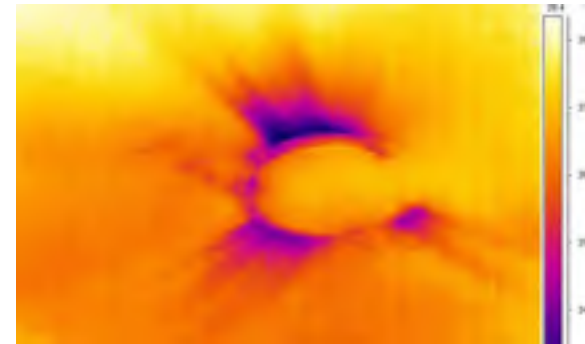


## Où sont les fuites ?

- Les menuiseries extérieures



- Les équipements électriques



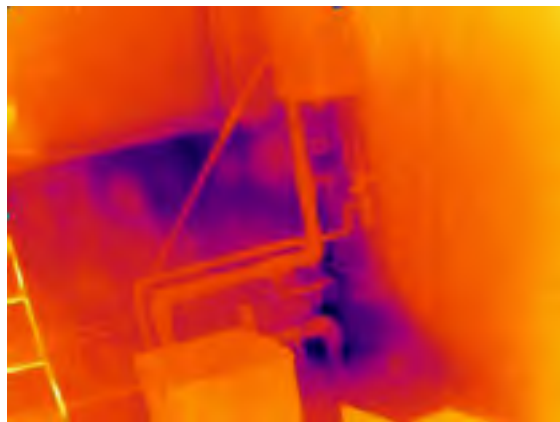
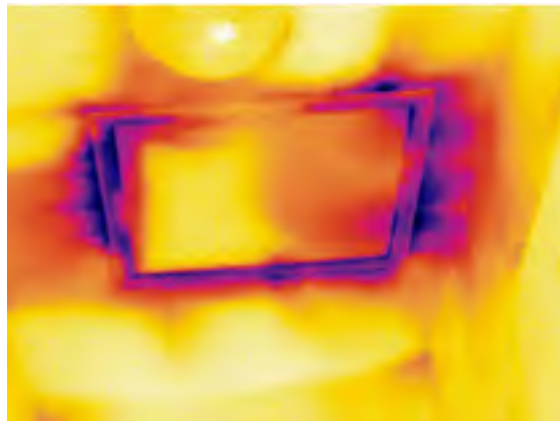
Source photo: SARL Alsatech



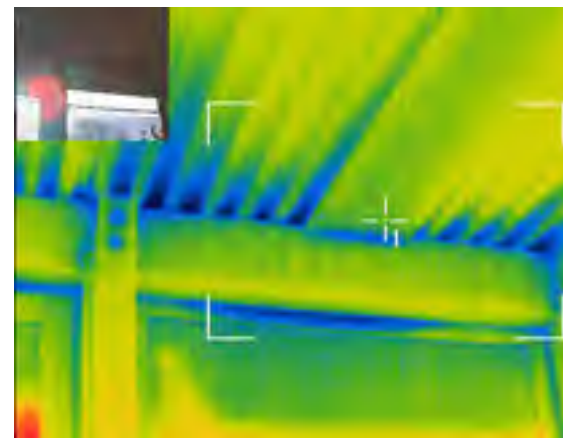
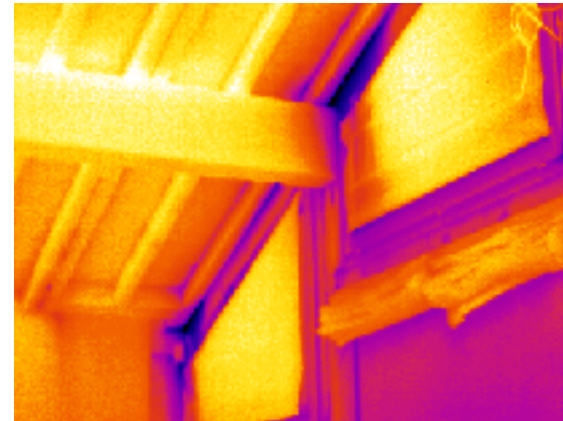


## Où sont les fuites ?

- Trappes et éléments traversant



- Liaison Façade / Plancher / Toit



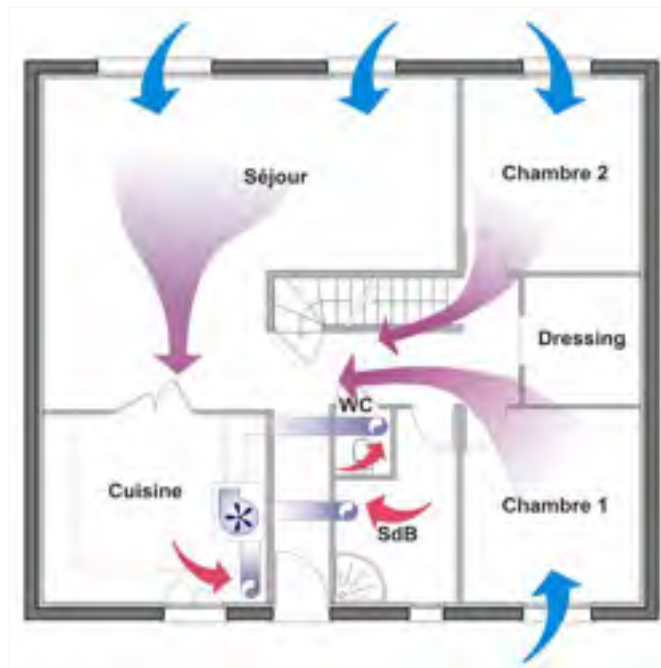
**La perméabilité à l'air a des implications sur l'ensemble du « système dynamique » bâtiment**

**On distingue 5 enjeux principaux :**

- L'hygiène, la santé, la qualité de l'air intérieur
- Le confort thermique et acoustique
- La consommation et la facture énergétique
- La conservation du bâti
- La sécurité des personnes

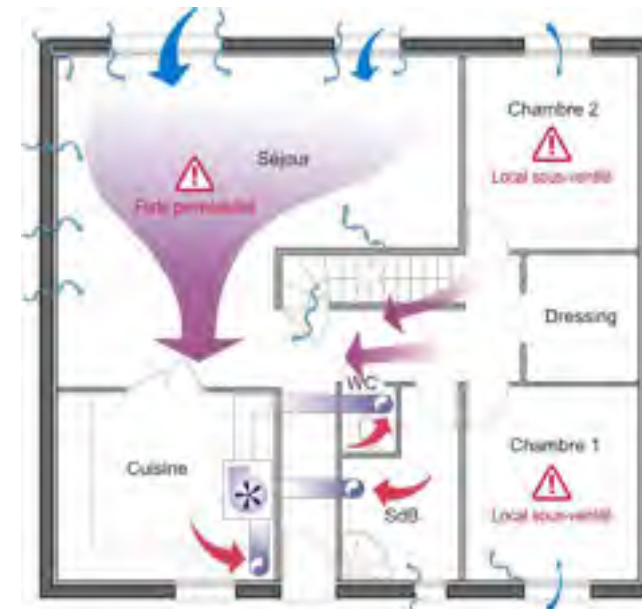


### Court-circuit du flux de ventilation volontaire et transfert potentiel d'air chargé en polluants



#### Faible perméabilité

Minimiser la perméabilité à l'air pour mieux contrôler les débits d'air volontaires



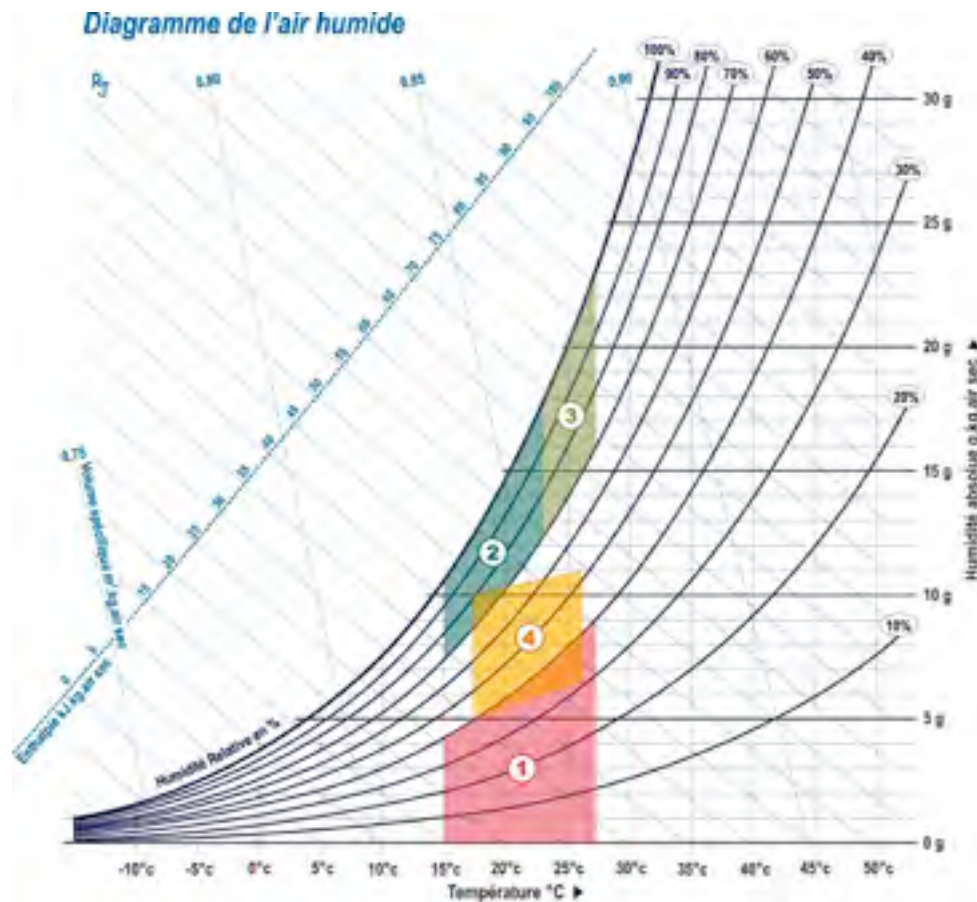
#### Forte perméabilité

Le balayage de la ventilation est modifié et l'air parasite peut être chargé en polluant

Croquis : R. Jobert, CETIE de Lyon



## Modification des caractéristiques physiques de l'air et de l'équilibre hygrothermique du volume « climatisé »



### Polygones de confort thermique

(Cf. Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France)

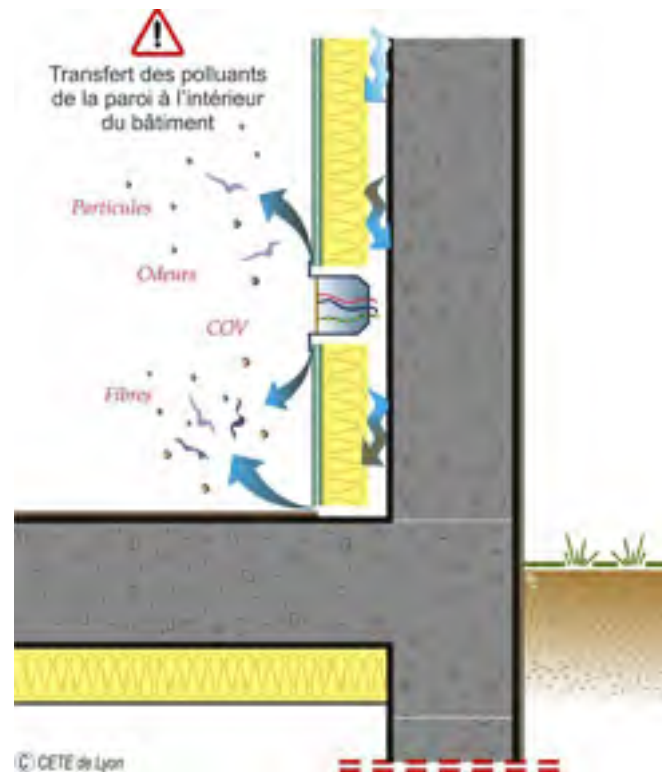
- ① Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse
- ② Zone à éviter vis-à-vis du développement des bactéries et des microchampignons
- ③ Zone à éviter vis-à-vis du développement des acariens
- ④ Zone de confort thermique



■ Moisissure due à une mauvaise ventilation



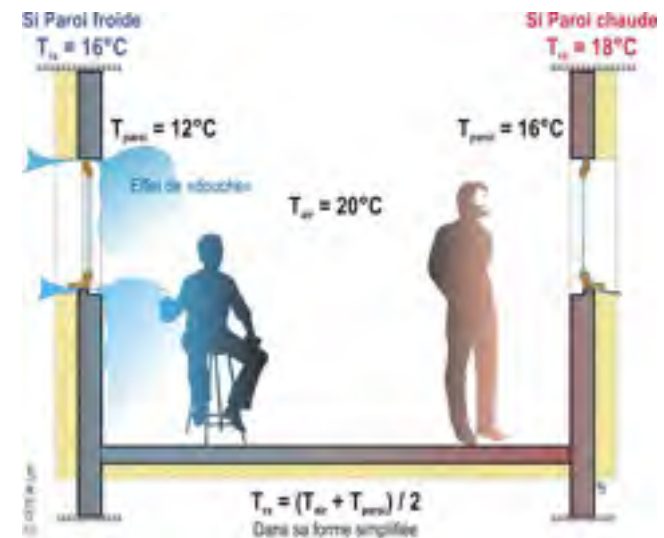
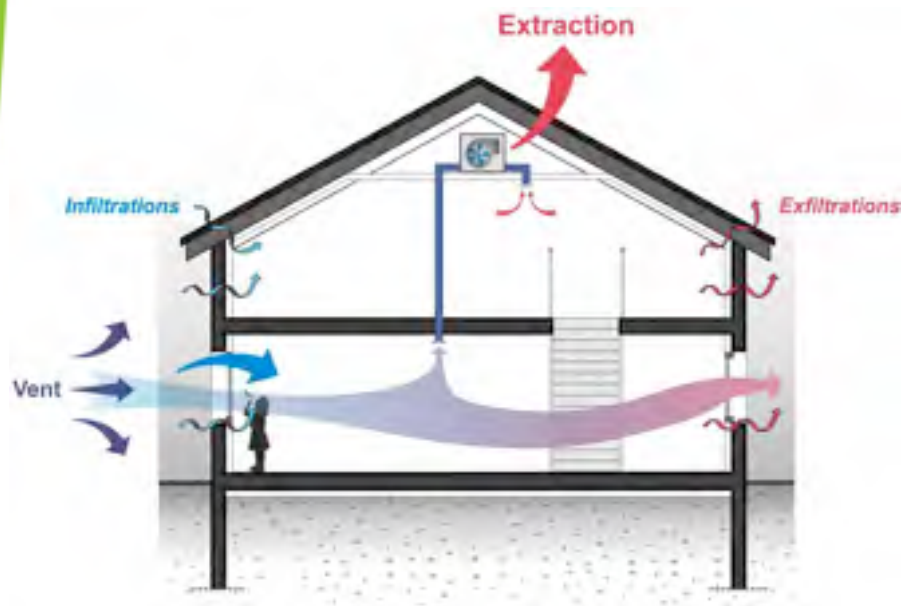
**L'air qui transite dans l'enveloppe peut se charger en polluants puis les transférer à l'intérieur**



- A mesure qu'ils s'encrassent, ces circuits aérauliques peuvent dégrader la QAI



## Les infiltrations d'air parasite affectent le confort thermique des occupants



- **Courant d'air traversant**

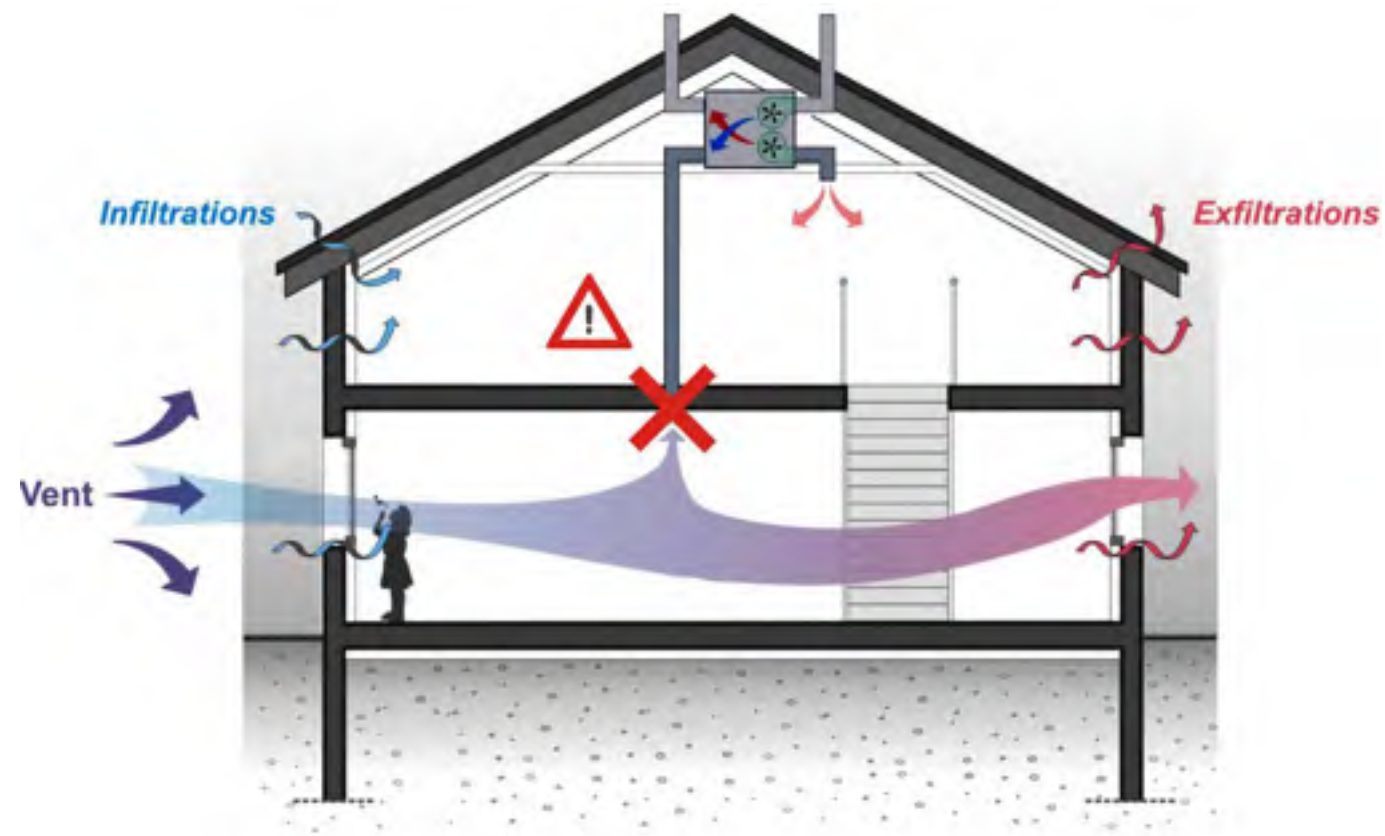
La circulation d'air parasite peut être source de sensation de froid

- **Écart de température des parois**

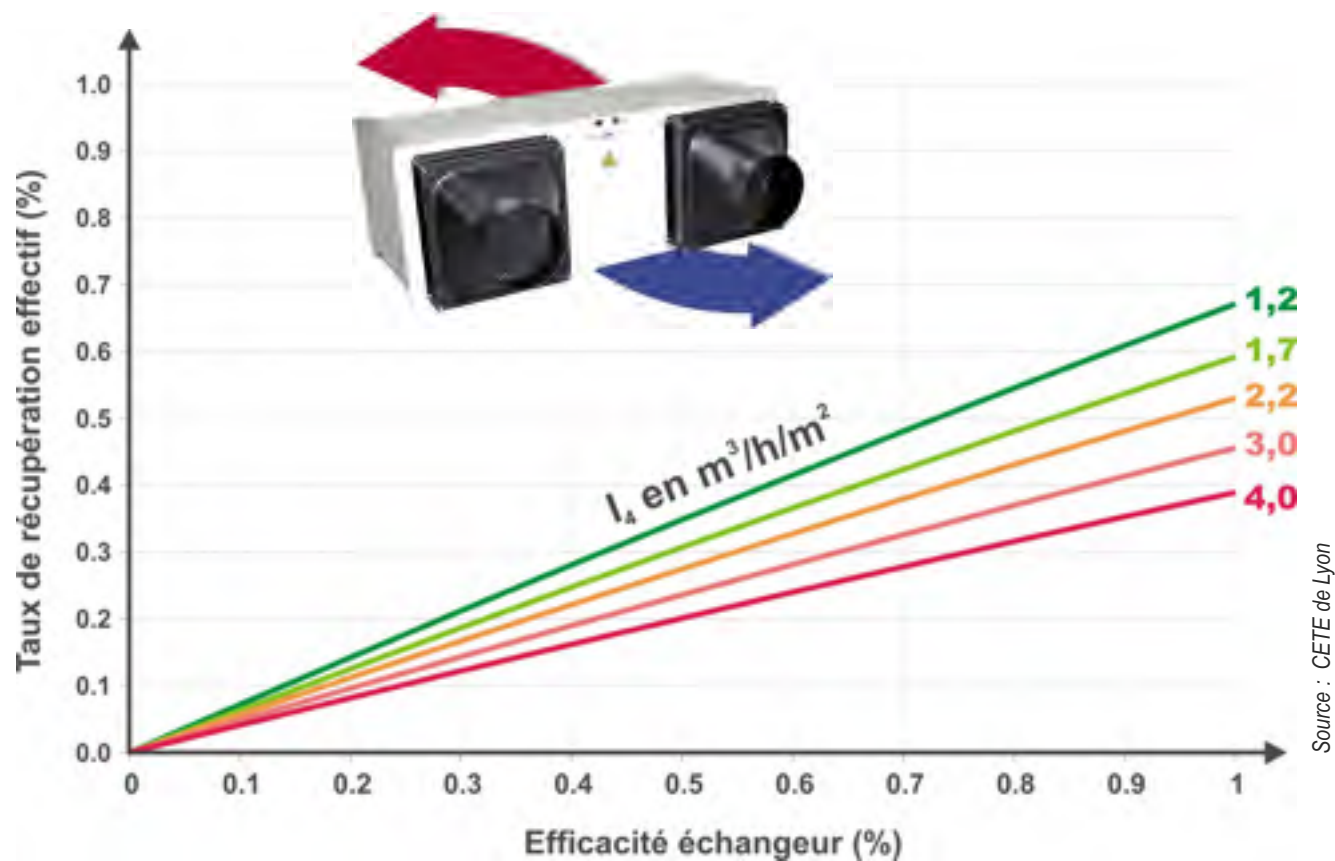
L'infiltration d'air au droit des parois modifie leur température de surface



## La perméabilité à l'air influe sur l'efficacité de l'échangeur thermique des VMC double flux

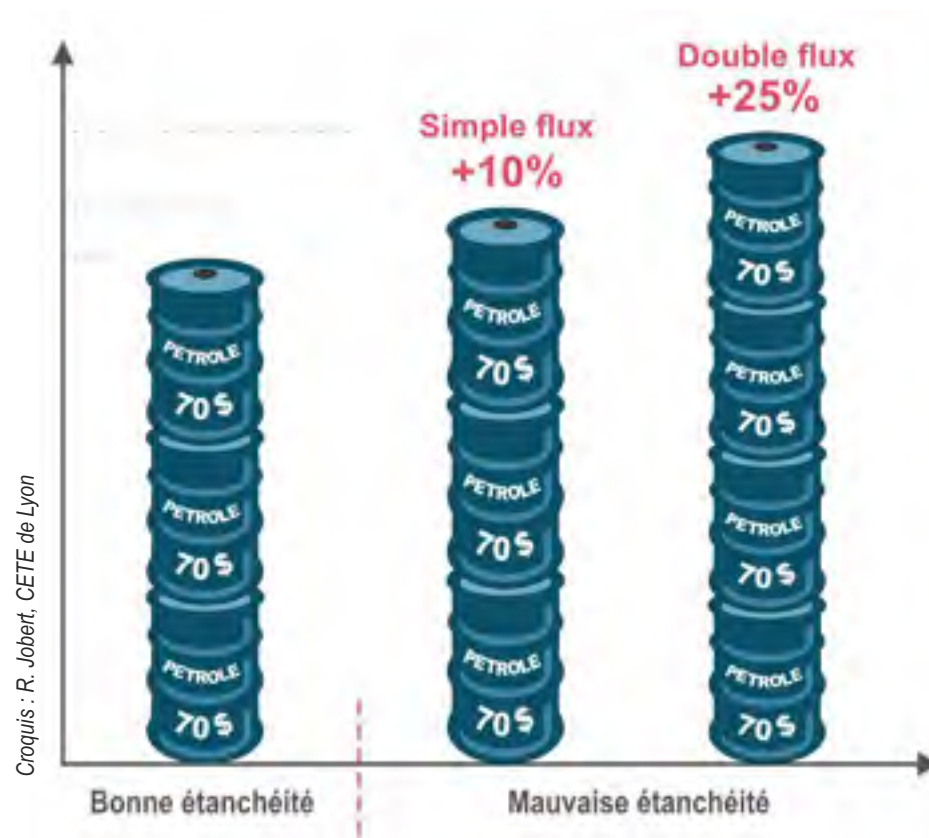


## La perméabilité à l'air influe sur l'efficacité de l'échangeur thermique des VMC double flux





## Les flux d'air parasites et leurs effets induisent des besoins supplémentaires de chauffage



### ■ Les besoins de chauffage :

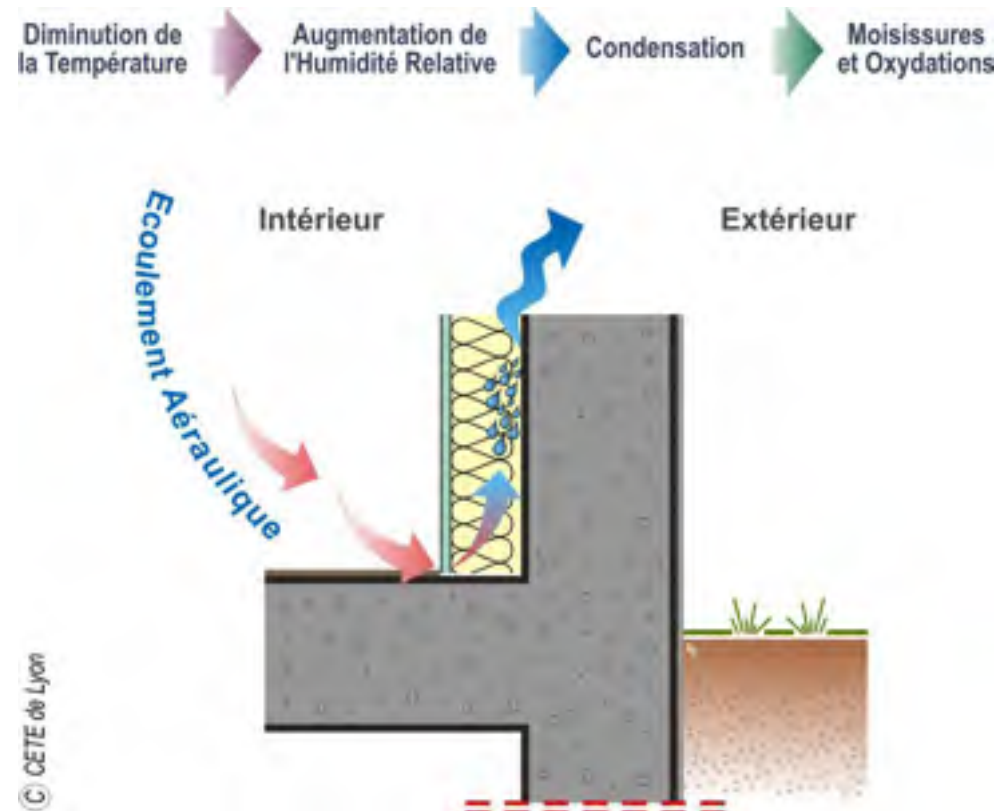
- 5 à 10 kWh/m<sup>2</sup>.an par unité de  $Q_{4Pa-Surf}$
- 2 à 5 kWh/m<sup>2</sup>.an par unité de  $n_{50}$

### ■ Les effets non évalués :

- Impact sur le confort des occupants
- Impact sur la performance des isolants
- Dégradation éventuelle des parois



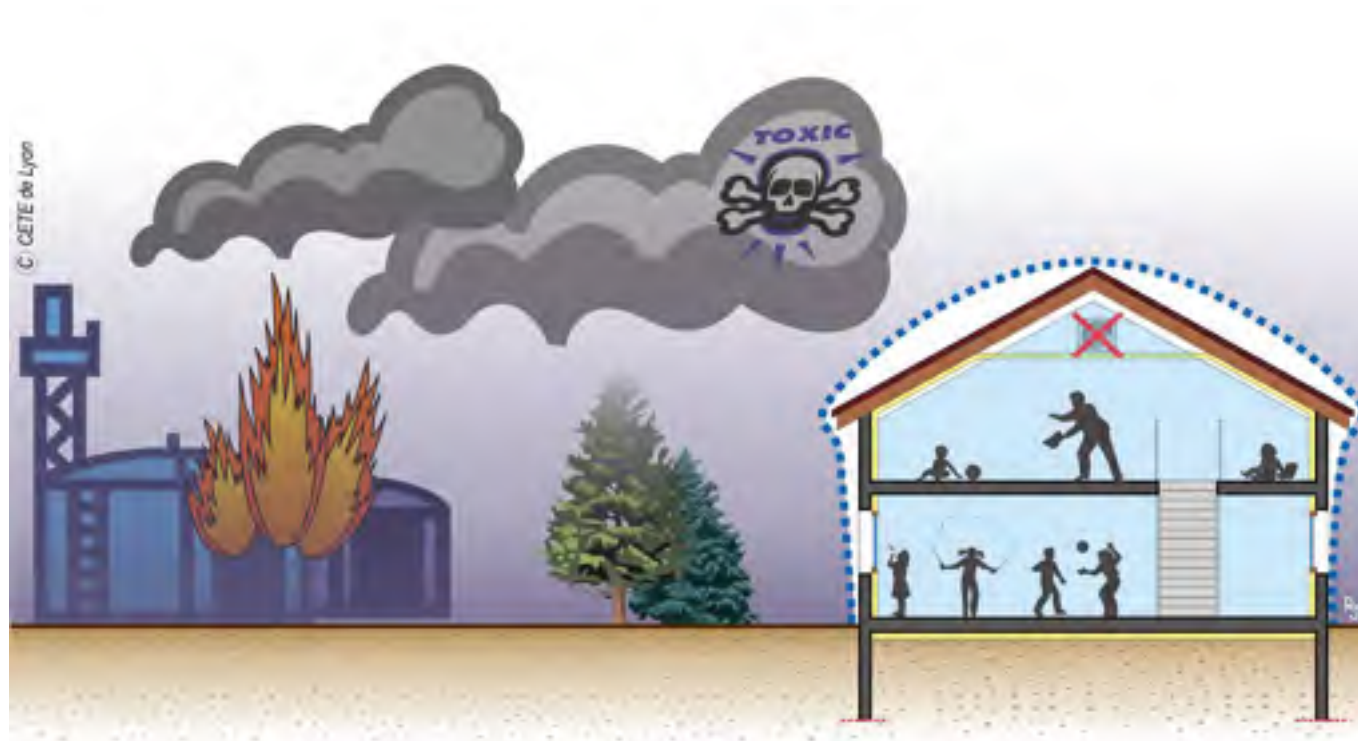
## Un écoulement aéraulique dans une paroi peut entraîner des phénomènes de condensation



- En période de chauffage, l'air exfiltré se refroidit au droit de la paroi froide



## Mettre à l'abri les personnes dans un local confiné en cas de pollution atmosphérique accidentelle



- Le confinement peut être rendu obligatoire par un PPRT



## L'objectif de la mesure est de quantifier la perméabilité à l'air et de visualiser les fuites

- Un matériel spécifique adapté aux différents types de construction :



Perméoscope  
Volume < 1000 m<sup>3</sup>



Porte soufflante (Blower Door)  
Volume < 4000 m<sup>3</sup>



Banc grand volume  
Volume < 30000 m<sup>3</sup>



La mesure de la perméabilité à l'air doit être conforme à la norme **NF EN 13829**



**Le protocole le plus utilisé est celui de la dépressurisation progressive du bâtiment à l'aide de la porte soufflante**



- L'objectif est de quantifier uniquement les fuites d'air non maîtrisées



**A partir des mesures Débits / Dépressions et d'une méthode d'analyse, on peut extraire des indicateurs**

■ **Les débits de fuite normalisés :**

- **Le taux de renouvellement d'air sous 50 Pa,  $n_{50}$**

Débit de fuite sous 50 Pa divisé par le volume chauffé

Il s'exprime en volume par heure [Vol / h] à 50 pascal [Pa]

- **L'indice de perméabilité à l'air sous 4 Pa,  $Q_{4Pa\ Surf}$  OU  $I_4$**

Débit de fuite sous 4 Pa divisé par la surface de parois froides hors plancher bas

Il s'exprime en mètre cube par heure par m<sup>2</sup> [m<sup>3</sup>.h / m<sup>2</sup>] à 4 pascal [Pa]





■ **Conversions :**

- Il résulte de la définition de ces indicateurs que :

$$Q_{4Pa\ Surf} = (4/50)^n \cdot (V/A) \cdot n_{50}$$



**La RT2005 donne un cadre de référence et les labels énergétiques fixe un haut niveau d'exigence**

Usage	 Référence	 Défaut	 Exigence	 Exigence
Logement Individuel	<b>0,8</b>	<b>1,3</b>	<b>0,6</b> V/A = 1,4 m	<b>0,16</b> V/A = 1,4 m
Logement Collectif	<b>1,2</b>	<b>1,7</b>	<b>1,0</b> V/A = 2,0 m	<b>0,23</b> V/A = 2,0 m
Bâtiment Tertiaire	<b>1,2</b>	<b>1,7</b>	<b>1,7</b> V/A = 2,2 m	<b>0,25</b> V/A = 2,2 m
Industrie Salle de sport	<b>2,5</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b> V/A = 2,0 m	<b>0,22</b> V/A = 2,0 m

- L'Indicateur  $I_4$  est aujourd'hui nommé  $Q_{4Pa\ Surf}$  [ $m^3/h/m^2$ ]



Grâce à ces indicateurs, il est possible de réaliser des échelles d'appréciation

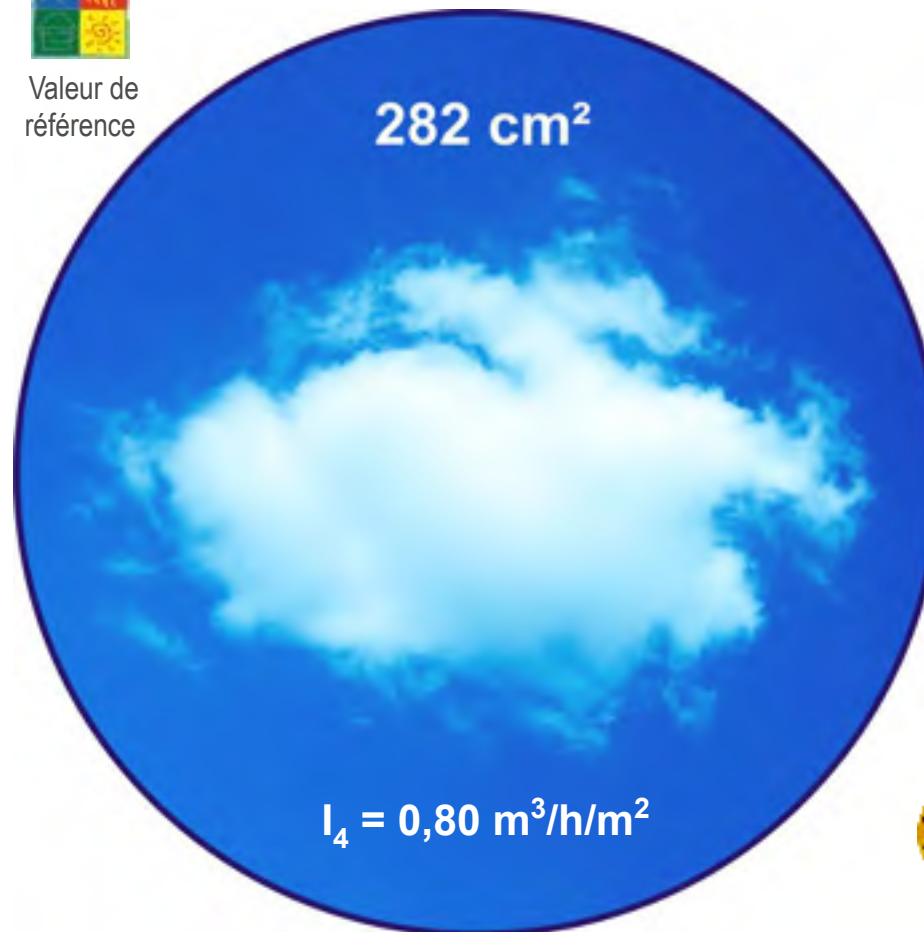




La surface équivalente de fuite correspond à la surface d'une fuite unique égale à la somme des fuites de l'enveloppe



Valeur de référence

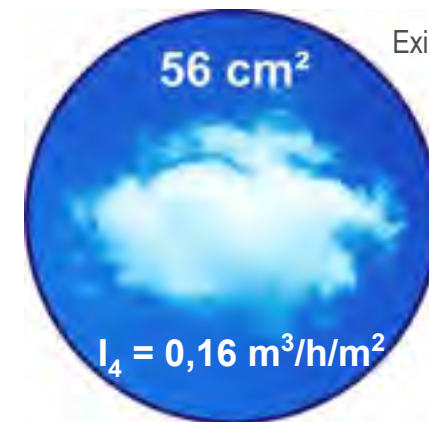


■ Maison individuelle

- Surface : 110 m<sup>2</sup>
- Volume : 273 m<sup>3</sup>
- Parois : 196 m<sup>2</sup>



Exigence



## Un suivi tout au long du processus de réalisation du projet... de la programmation à la réception

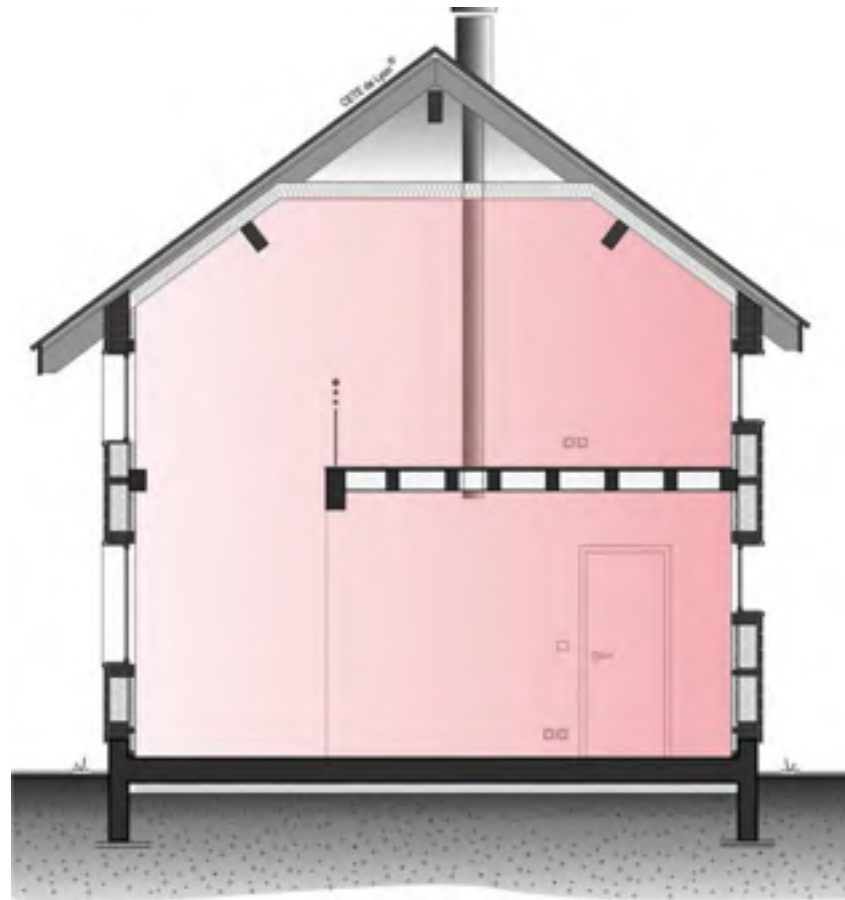


- **Programmer** (Programme, Esquisse,...)
- **Concevoir** (APS, APD, PRO,...)
- **Sensibiliser** (Réunion, Information,...)
- **Contractualiser** (DCE, CCTP, EXE,...)
- **Vérifier** (Chantier, OPC, OPR,...)
- **Corriger** (OPR, Réception,...)



# Le principe de la continuité

La couche d'étanchéité à l'air est planifiable car elle enveloppe **le volume « climatisé »** du bâtiment



Mettre en évidence les différents points faibles et les traiter en **détails**



- La couche d'étanchéité à l'air est un système constitué de différents matériaux mis en œuvre de façon juxtaposé et continue



# Les matériaux d'étanchéité

**Choisir des matériaux adaptés et analyser les recommandations techniques (ATech, ATex, Pass In...?)**



Manchons conduits



Mastics et Colles



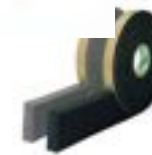
Bandes adhésives



Mousse expansive



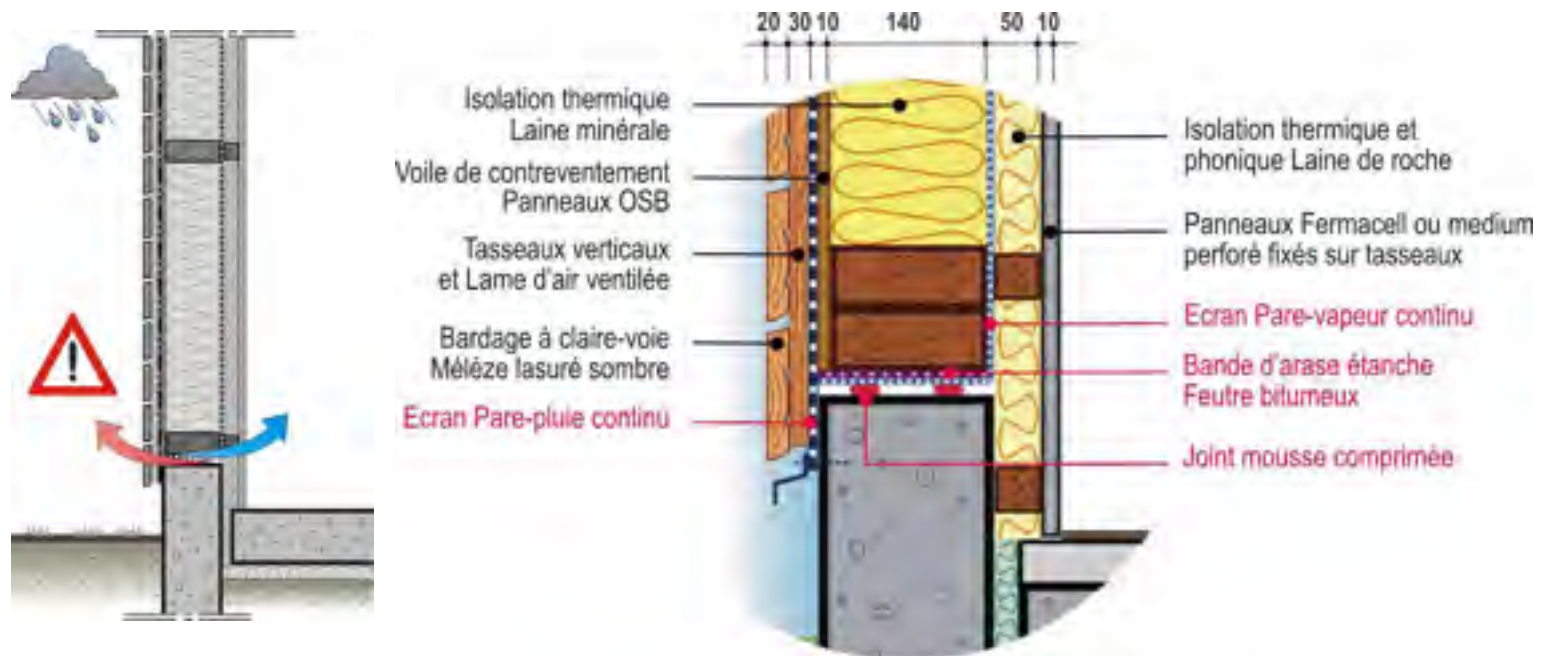
Manchettes câbles



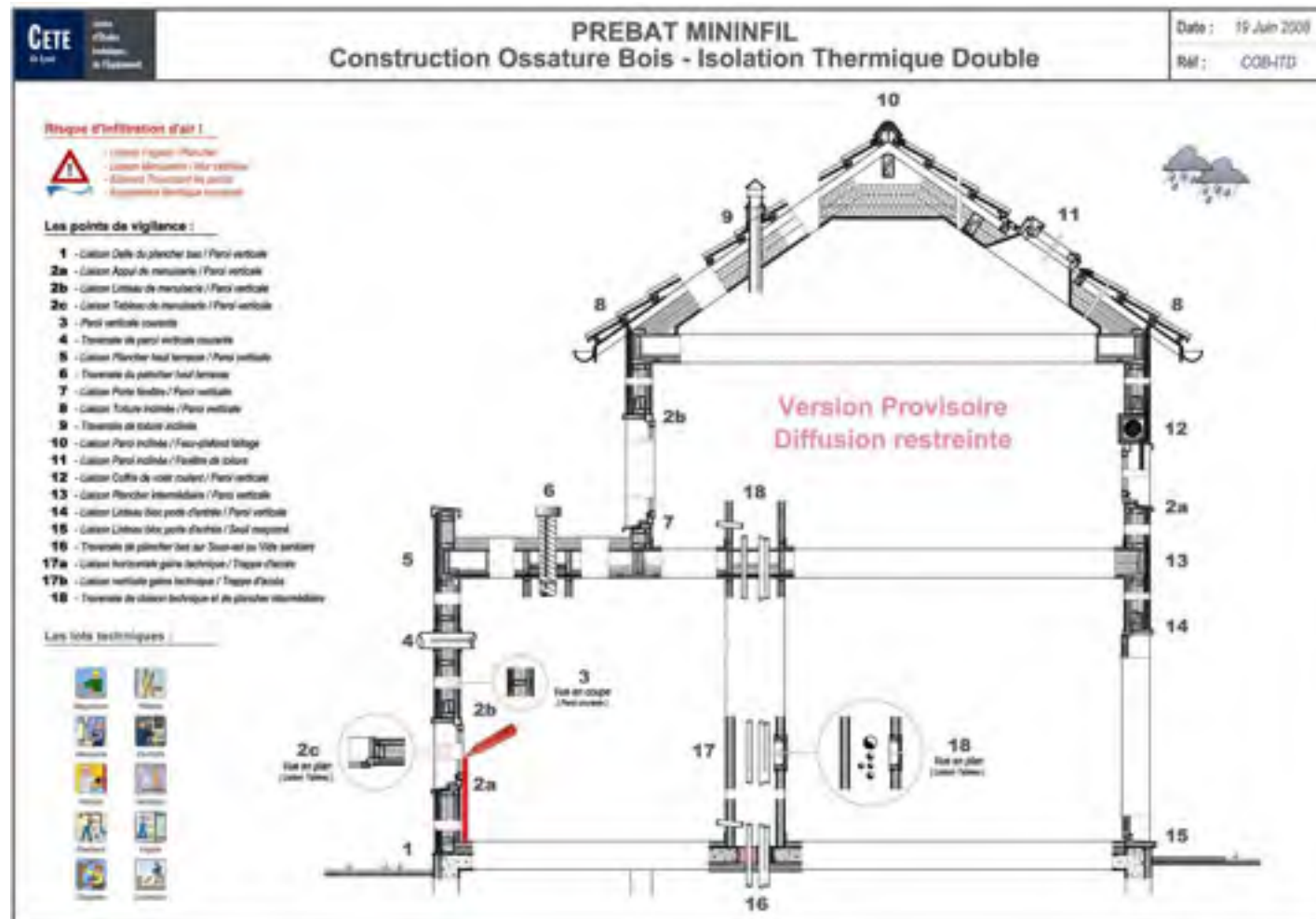
Joints mousse





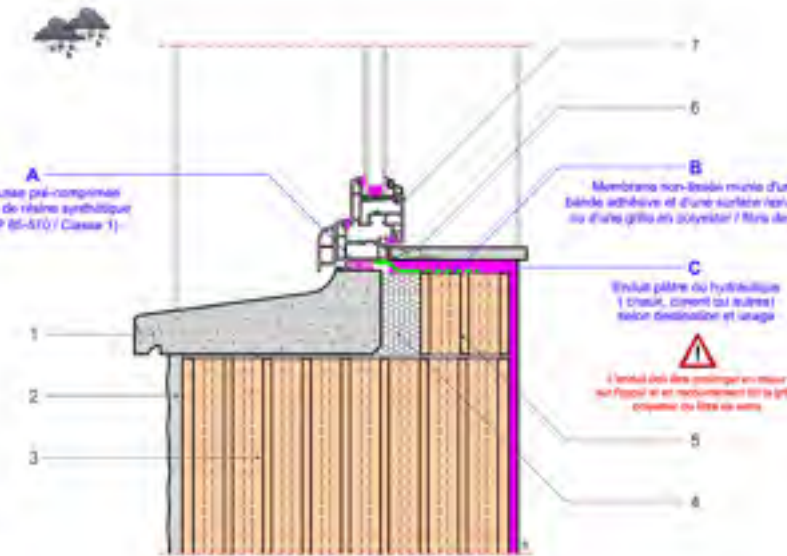

## Réaliser un cahier technique d'exécution et décrire la **prestation « étanchéité »**



## Repérage des points singuliers sur une coupe type



## Des détails d'exécution ciblés étanchéité à l'air

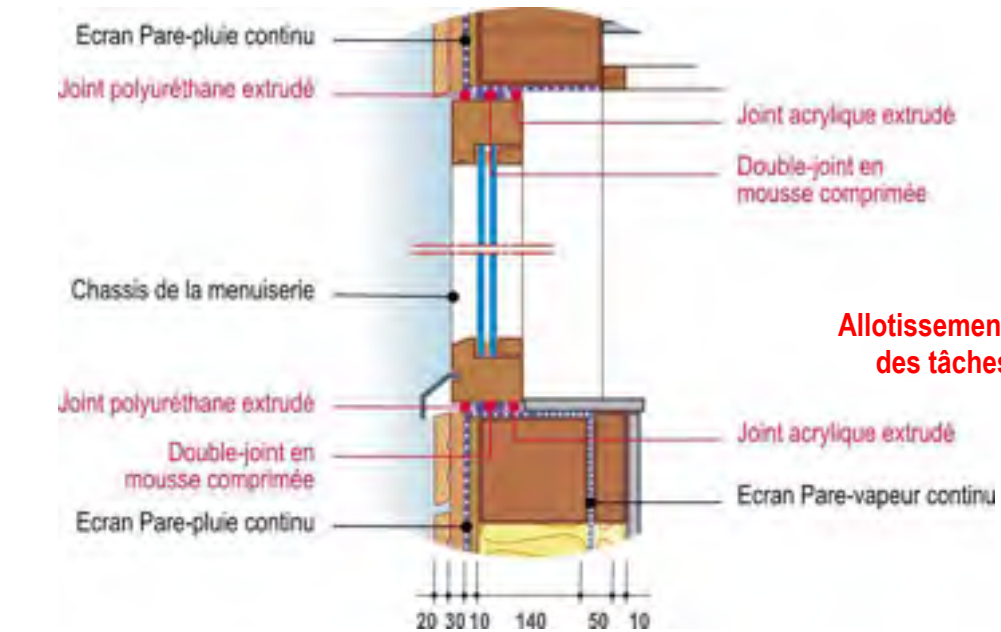
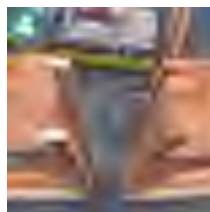
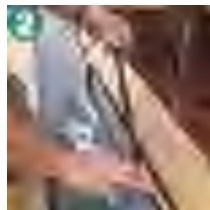
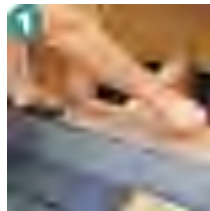
<b>Construction Structure Lourde</b>	<b>Isolation Thermique Répartie - Liaison Appui / Menuiserie</b> (Mur en maçonnerie de bloc monomur type brique de terre cuite - Menuiserie posée en tableau-ébrasement)	Date : 17 mars 2010 Réf : CSL-ITR-MeAp								
<b>Localisation :</b> COUPE  PLAN 	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>Risque d'infiltration d'air :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Au droit de la liaison entre le mur de façade et la menuiserie extérieure</li> <li>- En partie courante du mur extérieur</li> </ul> </div> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">1 - Appui de fenêtre en béton</td> <td style="width: 50%;">5 - Brique coupée sur chantier</td> </tr> <tr> <td>2 - Enduit mince extérieur</td> <td>6 - Tablette de finition</td> </tr> <tr> <td>3 - Brique creuse type Monomur</td> <td>7 - Menuiserie ou Bloc bois</td> </tr> <tr> <td>4 - Isolation thermique rigide</td> <td></td> </tr> </table> <p><b>Travaux d'étanchéité à l'air :</b></p> <p><b>Lot Menuiserie extérieure</b></p> <p>Procéder à la pose des matériaux et accessoires permettant de renforcer l'étanchéité à l'air :</p> <p><b>A -</b> Joint mousse pré-comprimée imprégnée de résine synthétique (Classe 1)</p> <p><b>B -</b> Membrane non-tissée munie d'une bande adhésive à coller sur la menuiserie et d'une surface non-tissée à raccorder sur la maçonnerie à l'aide d'une colle ou d'une grille en polyester à raccorder sur la maçonnerie à l'aide d'un mortier colle.</p> <p><b>Lot Plâtrerie / Cloison / Doublage</b></p> <p>Procéder à la pose des matériaux et accessoires permettant de renforcer l'étanchéité à l'air :</p> <p><b>C -</b> Enduit des surfaces de paroi courante du mur extérieur - gâché ou hydraulique (selon ébrasement) à définir selon usage et destination.</p> <p><b>Lot Gros oeuvre / Maçonnerie</b></p> <p>Assurer une bonne planéité de l'appui en béton ou maçonnerie. Se référer au DTU 20.1 (NF P-10-202-1-1).</p>	1 - Appui de fenêtre en béton	5 - Brique coupée sur chantier	2 - Enduit mince extérieur	6 - Tablette de finition	3 - Brique creuse type Monomur	7 - Menuiserie ou Bloc bois	4 - Isolation thermique rigide		 <p style="text-align: center;">Coupe verticale</p>
1 - Appui de fenêtre en béton	5 - Brique coupée sur chantier									
2 - Enduit mince extérieur	6 - Tablette de finition									
3 - Brique creuse type Monomur	7 - Menuiserie ou Bloc bois									
4 - Isolation thermique rigide										
<b>Corps d'état :</b> 	<p><b>Matériaux d'étanchéité à l'air :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Joint mousse pré-comprimée</li> <li>- Membrane asphaltée non-tissée avec grille polyester</li> <li>- Enduit gâché ou hydraulique (selon ébrasement, ou autre)</li> </ul>	<p style="text-align: right; font-size: 2em; font-weight: bold;">2a</p>								



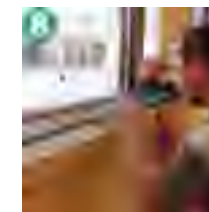
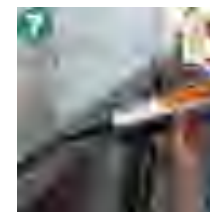
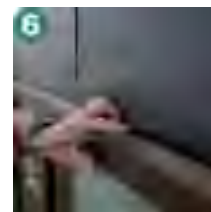


# Une mise en oeuvre coordonnée

## ■ Exemple de la liaison paroi et menuiseries



**Allotissement et ordonnancement des tâches par lot technique**



- ❑ Pose d'un joint mousse pré-comprimée



- ❑ Pose d'une membrane non-tissée



❑ Menuiserie / Pose d'un joint mousse 3 fonctions



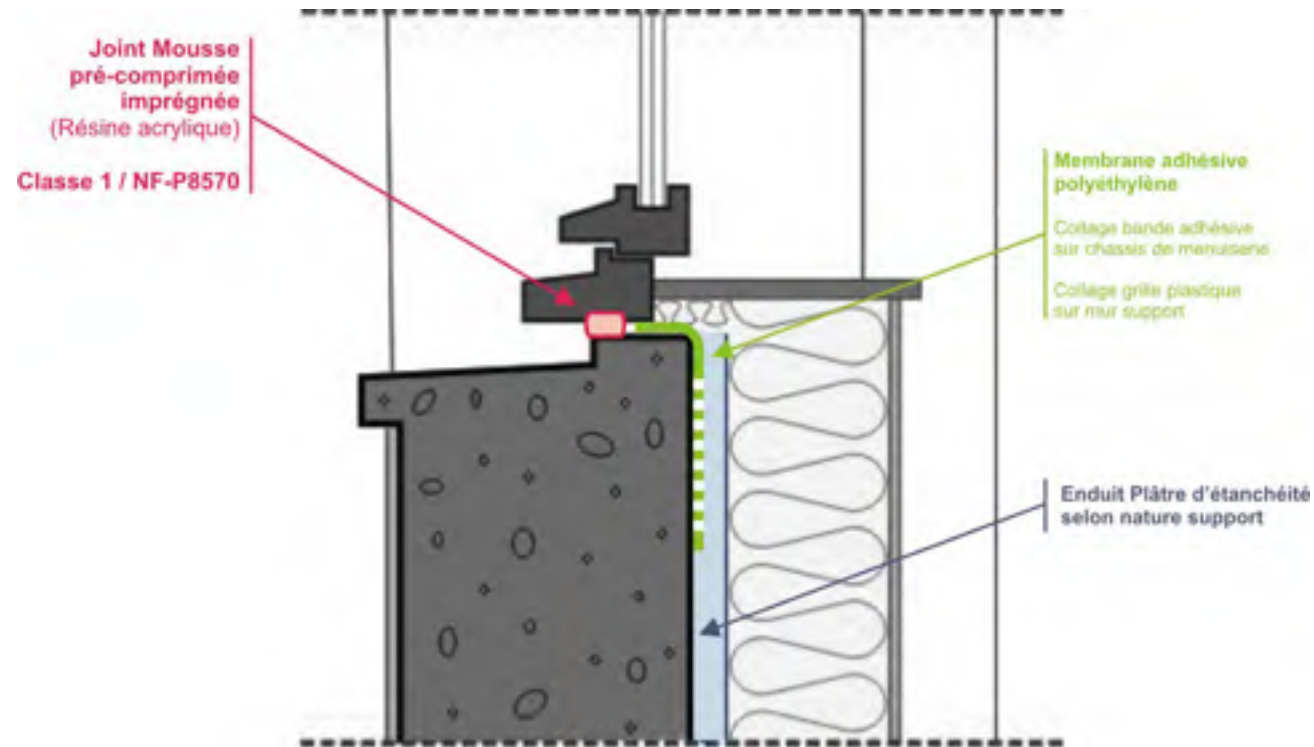
❑ Menuiserie / Membrane non-tissée en attente enduit



- ❑ Menuiserie / Pose d'un joint mousse 3 fonctions



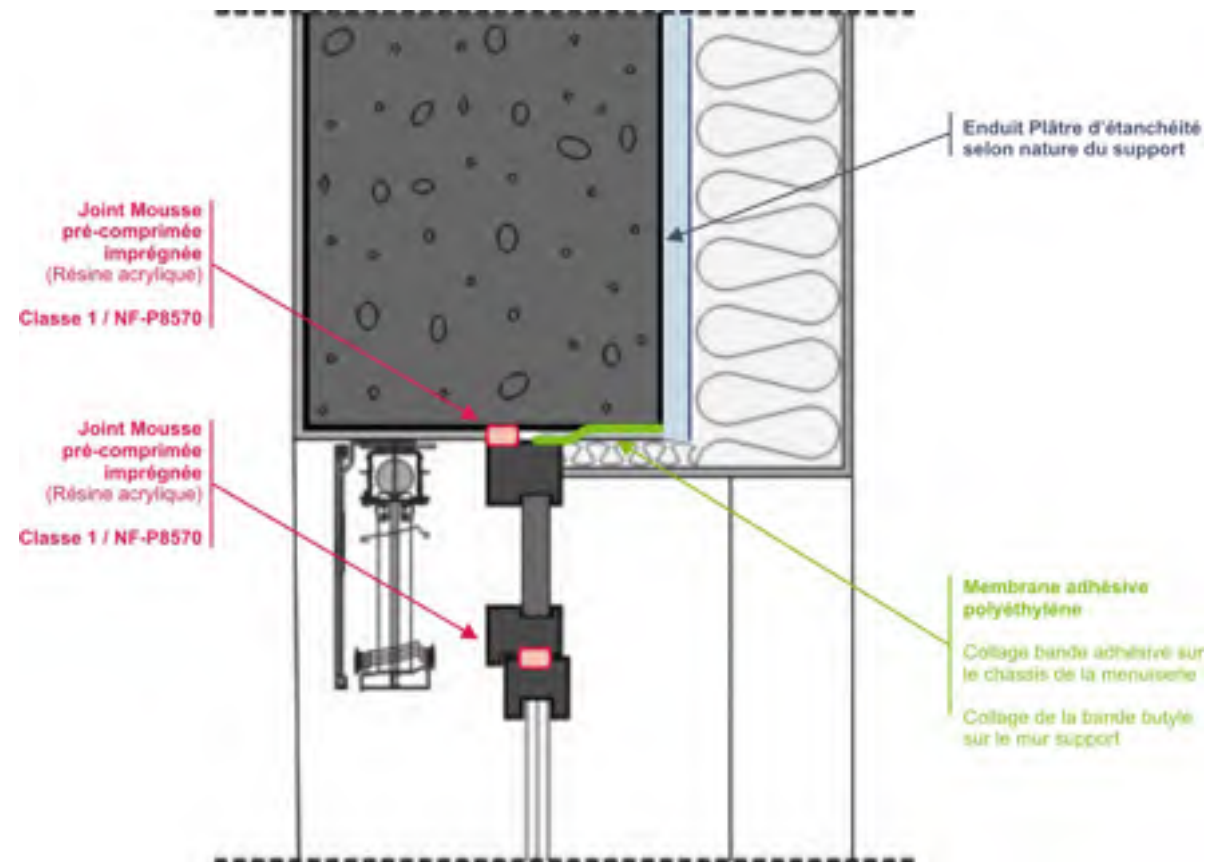
## Mise en œuvre des matériaux d'étanchéité à l'air



## □ Liaison Appui / Menuiserie



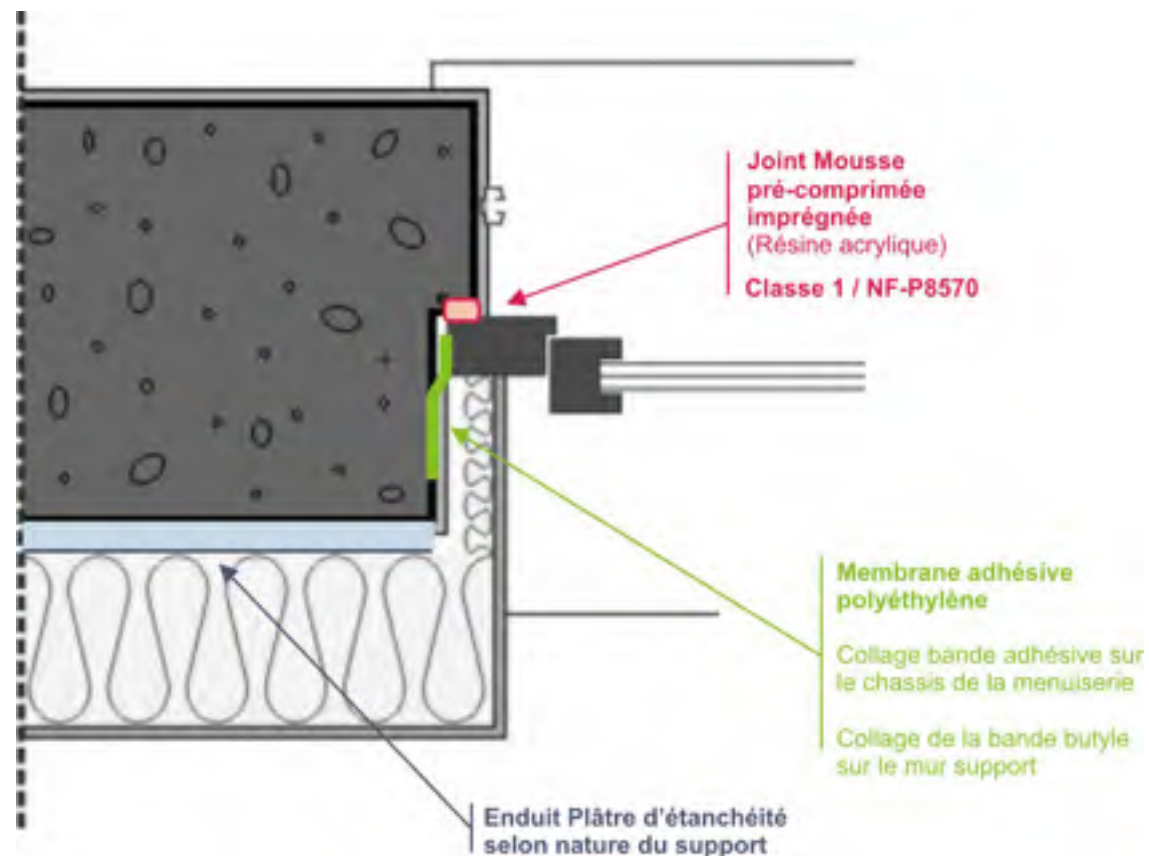
## Mise en œuvre des matériaux d'étanchéité à l'air



## □ Liaison Linteau / Menuiserie



## Mise en œuvre des matériaux d'étanchéité à l'air



## □ Liaison Tableau / Menuiserie



- **De nombreuses implications directes ou indirectes :**
  - ✓ Le confort thermique
  - ✓ La qualité de l'air
  - ✓ La pérennité de l'enveloppe des bâtiments
  - ✓ La performance de certains équipements
  
- **S'insérer dans le processus de construction :**
  - ✓ Programme : fixer les objectifs de performance (Indicateurs Q4PaSurf)
  - ✓ Conception : analyser le principe constructif (Détails et Description)
  - ✓ Chantier : Allotissement, Test d'autocontrôle (Mesures)





## En résumé...

**Il ne s'agit en aucun cas de confiner les occupants dans un  
« sac plastique »**

Photo : Christo & Jeanne-Claude, Reichstag



**Mais plutôt de mieux contrôler les débits d'air volontaires pour leur procurer un  
air de qualité en quantité suffisante et sans excès**



## Perméabilité à l'air

« **Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments, Généralités et Sensibilisation** » L'objectif de ce document est d'apporter au lecteur des éléments qui lui permettront de se familiariser avec les enjeux et les principes physiques liés à la perméabilité à l'air. Par ailleurs, il constitue une aide à la compréhension des rapports de mesure de perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments réalisés par le Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Lyon, ( <http://www.certu.fr>, puis "ville et équipements publics, construction durable, la perméabilité à l'air des bâtiments" )

« **Perméabilité à l'air** » Fiche technique du Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Lyon sur les prestations de mesure de la perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments.

« **MinInfil - Carnet de détails** » Quatre carnets comprenant chacun environ 25 détails constructifs réparties sur quatre principes constructifs les plus courants (ITI, ITE, ITR, COB)

« **PREBAT Performance - Rapport final** » Retour d'expérience sur l'élaboration et la réalisation d'une démarche qualité destinée à améliorer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe des bâtiments et des réseaux aérauliques (Ventilation, CTA, ...)

« **Risques technologiques - Confinement** » Fiche technique du Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Lyon sur les risques technologiques et notamment la stratégie et les principes du confinement



**Merci pour votre  
attention**



Département  
Villes et Territoires  
Pôle Construction

46, rue Saint-Thibault  
BP 125  
38081 L'Isle d'Abeau  
Cedex

Téléphone :  
04 74 27 51 03  
Télécopie :  
04 74 27 51 18  
Mail : [cvt.cete-lyon@developpement-durable.gouv.fr](mailto:cvt.cete-lyon@developpement-durable.gouv.fr)

Le CETE de Lyon  
appartient au Réseau  
Scientifique et Technique  
de l'Équipement



**Romuald Jobert, Tél. : 04 74 27 51 42**  
**e-mail : [romuald.jobert@developpement-durable.gouv.fr](mailto:romuald.jobert@developpement-durable.gouv.fr)**