CETE de Lyon
département Villes et Territoires

air·h
ASSOCIATION INITIATIVE RÉGLEMENTATION HYGIÈNE

ADEME

Réussir l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et des réseaux

Elaboration et application d'une démarche qualité

Avril 2009

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Direction Générale de l'Aménagement du Logement et de la Nature
Sous-direction de la qualité et du développement durable dans la construction
Matthieu Fournier, Tél 01 40 81 91 08,
e-mail matthieu.fournier@developpement-durable.gouv.fr
Affaire : HT 6126 B

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
500 route des Lucioles, Sophia-Antipolis, 06560 VALBONNE
Pierre Deroubaix, Tél 04 93 95 79 56, e-mail pierre.deroubaix@ademe.fr
Convention ADEME N°0504C0114

Réussir l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et des réseaux

Elaboration et application d'une démarche qualité

Avril 2009

CETE de Lyon
46 Rue St Théobald, BP 128
38081 L'ISLE d'ABEAU cedex
Département Villes et Territoires, Groupe Habitat Urbanisme Construction,
Domaine Construction

Contact : Rémi CARRIÉ, Tél 04 74 27 51 61,
e-mail remi.carrie@developpement-durable.gouv.fr

ISRN EQ-CT69-DVT/RE- - 08 – 32 - - FR

Copyright © CETE de Lyon - air.h, 2008, 2009
La reproduction et la diffusion de ce document dans son intégralité sous forme électronique ou papier sont libres. La reproduction et la diffusion de parties de ce document sont également libres sous réserve que la source soit clairement mentionnée sur les extraits.

PRÉAMBULE

Ce guide est extrait des travaux réalisés dans les phases 1 et 2 du projet PREBAT-Performance coordonné par AIR.H (convention ADEME N°0504C0114). Les personnes ayant contribué à ce projet sont :

AERECO
Marc JARDINIER, Tél 01 60 06 22 11, e-mail marc.jardinier@aereco.com
Stéphane BERTHIN, Tél 01 64 66 03 06, e-mail stéphane.berthin@aereco.com

ALDES
Damien LABAUME, Tél 05 61 24 95 65, e-mail labaume-damien@aldes.com

ALLIE'AIR
Anne-Marie BERNARD, Tél 04 74 46 61 39, e-mail annemarie.bernard@allieair.fr
Julien BOXBERGER, Tél 04 74 46 61 39, e-mail julien.boxberger@allieair.fr

ANJOS
Michael BLAZY, Tél 04 74 37 20 60, e-mail mblazy@anjos-ventilation.com
Hervé PRIGENT, Tél 04 74 37 44 41, e-mail anjos@wanadoo.fr

ATLANTIC, Ventilation et Climatisation
Frédéric PETIT, Tél 04 72 45 11 32 , e-mail fpetit@groupe-atlantic.com

Bouygues Bâtiments IDF
Jacques DALIPHARD, Tél 01 30 60 32 03, j.daliphard@bouygues-construction.com

CETE de Lyon
Patrice BERGER, Tél 04 74 27 51 62, e-mail patrice.berger@developpement-durable.gouv.fr
Sylvain BERTHAULT, Tél 03 85 86 66 97, e-mail sylvain.berthault@developpement-durable.gouv.fr
Rémi CARRIÉ, Tél 04 74 27 51 61, e-mail remi.carrie@developpement-durable.gouv.fr
Sandrine CHARRIER, Tél 03 85 86 67 61,
e-mail sandrine2.charrier@developpement-durable.gouv.fr
Jean-Philippe GRAND, Tél 04 74 27 51 52,
e-mail jean-philippe.grand@developpement-durable.gouv.fr
Romuald JOBERT, Tél 04 74 27 51 42, e-mail romuald.jobert@developpement-durable.gouv.fr

CETIAT
Alain GINESTET , Tél 04 72 44 49 00, e-mail alain.ginestet@cetiat.fr

COSTIC
Muriel BARBAT, Tél 01 30 85 25 74, e-mail m.barbat@costic.com

GFC Construction
David CHAPUIS et Fabien BONADA Tel 04.26.68.98.68, e-mail d.chapuis@gfc-construction.fr

PBC
Pierre BARLES, Tél 04 94 47 42 23 , e-mail pbarles@wanadoo.fr

SOMMAIRE

PRÉAMBULE 4

RESUME 6

1. ELEMENTS CLES D'UNE DEMARCHE POUR GARANTIR UNE BONNE ETANCHEITE DE L'ENVELOPPE ET DES RESEAUX AERAULIQUES 8

2. ORGANIGRAMME ET CARTOGRAPHIE DES PROCESSUS – QUI FAIT QUOI ? 10

3. EXEMPLE DE LIVRET DE SENSIBILATION 21

4. EXEMPLE DE CARNET DE DETAILS 37

5. RESULTATS OBTENUS SUR DEUX OPERATIONS 61

6. RECOMMANDATIONS PRATIQUES POUR LES INSTALLATEURS DE SYSTEMES DE VENTILATION 67

6.1. RACCORDEMENT ENTRE CONDUITS ET AU NIVEAU DES BOUCHES 69
6.2. TRAVERSEE DE PLANCHER 74
6.3. STABILITE DU RESEAU 75
6.4. RACCORDEMENT AU VENTILATEUR 76
6.5. EXTREMITE DES CONDUITS 77
6.6. TRAPPES DE VISITE 79
6.7. TRANSPORT ET STOCKAGE DES CONDUITS 80
6.8. TEST D'ETANCHEITE 81

7. TABLE DES ILLUSTRATIONS 83

8. RÉFÉRENCES 85

RESUME

La réalisation de bâtiments et de réseaux aérauliques étanches et l'emploi d'équipements de ventilation performants constituent un pré-requis pour atteindre de bonnes performances aussi bien en terme de consommations énergétiques qu'en terme de qualité de l'air intérieur. Toutefois, l'observation des pratiques de terrain met en évidence des problèmes récurrents en matière d'étanchéité à l'air, qui trouvent parfois leur origine dans le processus de planification et de suivi de l'opération. De ce point de vue, l'adoption d'une démarche qualité par les différents acteurs de l'acte de construire mérite d'être explorée, par exemple dans l'esprit de l'application de l'annexe VII de la RT 2005.

Ce guide est extrait des travaux réalisés dans les phases 1 et 2 du projet PREBAT-Performance (2006-2009). Il décrit les éléments essentiels d'une démarche qualité pour assurer une bonne étanchéité de l'enveloppe et des réseaux aérauliques et fournit des exemples concrets (formulation des exigences, document de sensibilisation des entreprises, contrôles sur site, etc.) dont pourront s'inspirer des maîtres d'ouvrage ou maîtres d'œuvre. Ce guide tire également les enseignements de l'application de cette démarche sur deux opérations de logement collectif.

Cet ouvrage s'inscrit dans la continuité du document du CETE de Lyon intitulé « Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments : généralités et sensibilisation ». En conséquence, il ne revient pas sur le contexte général de maîtrise de l'énergie, sur les notions générales liées au renouvellement d'air et à l'étanchéité, ou encore sur la quantification de l'impact énergétique.

Mots clés : perméabilité ; air ; étanchéité ; démarche qualité ; mesure ; fuites ; bâtiment collectif ; réglementation

1. ELEMENTS CLES D'UNE DEMARCHE POUR GARANTIR UNE BONNE ETANCHEITE DE L'ENVELOPPE ET DES RESEAUX AERAULIQUES

L'idée fondatrice d'une démarche qualité est la mise en place d'un processus pour réaliser une prestation dans le but de répondre aux besoins implicitement ou explicitement attendus par le bénéficiaire. Elle interpelle donc la fiabilité de la réalisation au-delà de la qualité intrinsèque de la prestation. La « roue de Deming » (Figure 1) est une représentation schématique souvent adoptée pour illustrer l'esprit d'une démarche qualité. Elle propose d'articuler une démarche qualité autour de 4 pôles majeurs listés dans le Tableau 1. La démarche peut paraître abstraite de prime abord, et on aperçoit en filigrane une certaine lourdeur associée à la formalisation des processus. Toutefois, elle est transposée avec succès dans de nombreuses entreprises qui cherchent à fiabiliser leurs prestations.

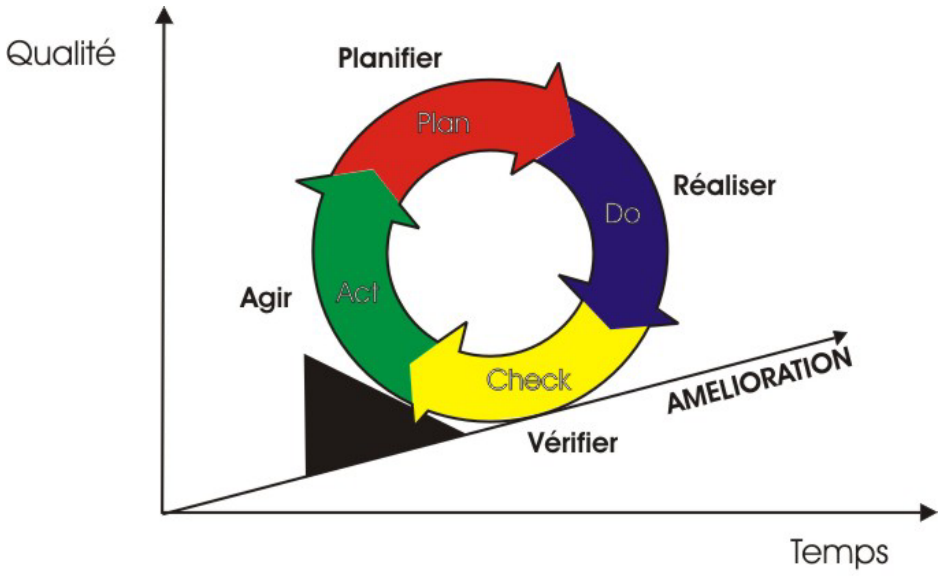


Figure 1 : Représentation schématique d'une démarche qualité (roue de Deming).

Symbole	Terme anglais	Terme français	Tâche
P	Plan	Planifier	Prévoir, s'engager, dire ce que l'on va faire
D	Do	Réaliser	Mettre en oeuvre, faire ce que l'on a dit
C	Check	Vérifier	Vérifier ce que l'on a fait
A	Act	Agir	Corriger les erreurs, réviser les objectifs

Tableau 1 : Les quatre pôles principaux d'une démarche qualité

Certaines entreprises du BTP bénéficient de certifications qualité de type ISO 9001. En revanche, force est de constater que le volet « étanchéité à l'air » est généralement ignoré en France. Trois raisons principales peuvent expliquer ce constat : tout d'abord, le traitement des dégâts liés à l'étanchéité à l'air reste exceptionnel contrairement au cas des dégâts des eaux, bien traités dans un cycle rôdé où les assurances jouent un rôle essentiel ; par ailleurs, l'étanchéité à l'air du bâti résulte d'un ensemble de prestations où la part de responsabilité des différents intervenants est difficile à établir ; enfin, les impacts en terme de consommation d'énergie ou de pathologie du bâti sont méconnus par les différents acteurs, y compris les occupants et gestionnaires.

Le CETE Méditerranée propose un cadre général pour l'établissement d'une démarche qualité conforme à l'esprit de l'annexe VII de la RT 2005 et précise les principes fondamentaux du contenu du dossier soumis à la commission consultée pour avis en vue d'un agrément ministériel. Rappelons que l'annexe VII de la RT 2005 permet l'utilisation d'une hypothèse favorable sur l'étanchéité à l'air des maisons individuelles sans obligation de mesure systématique à la réception. Elle concerne donc essentiellement les constructeurs de maisons individuelles qui souhaitent bénéficier d'un bonus en soignant l'étanchéité à l'air mais en ne faisant des mesures que par échantillonnage sur 10 à 15% des constructions produites.

La note du CETE Méditerranée demeure une note de principes généraux sur laquelle les constructeurs doivent bâtir leur propre démarche qualité. La note précise que le référentiel doit comprendre deux volets complémentaires :

- un volet « technique » (qualité intrinsèque) comprenant les dispositions techniques et architecturales propres au procédé constructif qui tiennent compte des règles dites « de bonnes pratiques ou « règles de l'art », dont certaines sont formalisées : règles professionnelles, normes, DTU et avis techniques ;
- un volet « organisationnel » (gestion de la qualité) comprenant les engagements des acteurs (maître d'ouvrage, concepteur, entreprises), les qualifications adaptées au procédé constructif et les dispositions de gestion de la qualité.

Elle précise également que :

- le référentiel doit être imposé dans les marchés travaux (responsabilité du maître d'ouvrage) ou les contrats de construction (responsabilité du constructeur) ;
- l'entreprise doit réaliser les ouvrages en conformité avec le référentiel technique et organisationnel (responsabilité de l'entreprise sur les éléments contractés) ;
- le référentiel doit être suivi aux différents stades de son déroulement et vérifiable tant sur le volet technique qu'organisationnel ;
- le référentiel doit donner une cartographie des processus (entrées et sorties de chaque phase) et préciser les tâches attendues de chacun (qui fait quoi ?).

Le squelette de la démarche est décrit dans les chapitres suivants. On notera que la démarche proposée reste cohérente avec les principes généraux d'une démarche qualité et les points fondamentaux proposés par le CETE Méditerranée listés ci-dessus.

2. ORGANIGRAMME ET CARTOGRAPHIE DES PROCESSUS – QUI FAIT QUOI ?

L'organigramme et la cartographie des processus ont pour but de préciser les entrées et sorties de chaque phase ainsi que les tâches attendues de chacun (qui fait quoi ?). Les phases retenues ici correspondent aux phases classiques du déroulement d'une opération, à savoir : programme, conception, DCE, travaux, réception, mise en service. Les acteurs identifiés sont : le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre (architecte), le bureaux d'études fluides, les entreprises, la société de maintenance.

En vue d'une représentation claire de « qui fait quoi ? », nous avons choisi de placer les actions dans un tableau listant verticalement les phases de l'opération, et horizontalement, les acteurs concernés. Chaque cellule du tableau contient une description sommaire de l'action pour laquelle on trouvera plus de détails dans une feuille annexée si le symbole 🗐 est utilisé.

Acteur → Phase ↓	Maître d'ouvrage	Architecte	Bureau d'études fluides	Entreprises	Société de maintenance
Programme	Formaliser les objectifs de performance de l'opération				
Conception	Validation du document PROJET intégrant les exigences d'étanchéité à l'air à l'issue de cette phase	Limiter le nombre de pénétrations de l'enveloppe Limiter les longueurs de conduits S'assurer de la continuité de la prise en compte de l'étanchéité à chaque phase (APS, APD, PRO) Détailler le traitement de toutes les liaisons sensibles	Évaluer l'impact énergétique de la perméabilité à l'air		
DCE		Détailler le traitement des liaisons sensibles pour chaque lot Préciser dans le cahier des prescriptions communes et dans chaque lot l'exigence d'étanchéité Préciser les modalités de contrôle en cours de chantier et à la réception pour chaque lot Sélectionner des entreprises qualifiées			
Réalisation		Faire un planning d'exécution et de contrôle Sensibiliser les entreprises Faire les contrôles en cours de chantier Proposer des corrections si nécessaire		Réaliser les travaux conformément aux préconisations du CCTP, aux carnets de détails et aux plans d'exécution Réaliser les actions correctives si nécessaire	
Réception	S'assurer de l'atteinte des objectifs prévus au programme S'assurer de la fourniture des documents DOE et DIUO	Faire un contrôle à la réception et proposer des corrections si nécessaire		Réaliser les ultimes actions correctives si nécessaire	
Mise en service / Maintenance					S'assurer de la conformité de l'installation vis-à-vis des DOE et DIUO Réaliser les opérations de maintenance

Acteur : Maître d'ouvrage

Phase : Programme

Démarche qualité

Etanchéité à l'air

Ce qui est nécessaire

- Sans objet

Ce qui est attendu

- Formaliser les objectifs de performance de l'opération en termes vérifiables concernant la perméabilité de l'enveloppe et des réseaux

Commentaires

Il est nécessaire de préciser au stade programme les exigences en matière d'étanchéité à l'air. C'est un document de référence pour les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre. Le document donnera les objectifs à atteindre (par exemple une perméabilité maximum à 4 Pa), les moyens à mettre en œuvre ou souhaités (par exemple, la mise en place d'une démarche qualité), les moyens de contrôle aux différents stades. On distingue deux types d'approche qui mènent à des formulations différentes :

Le maître d'ouvrage souhaite imposer une exigence forte et quantifiée	Le maître d'ouvrage souhaite que la perméabilité soit prise en compte mais n'a pas d' idée précise sur l'objectif à atteindre
Formulations possibles pour l'enveloppe	
La perméabilité de l'enveloppe ne dépassera pas 0.2 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa au sens de la RT 2005. Le maître d'ouvrage souhaite que le maître d'œuvre adopte la démarche qualité jointe. La perméabilité sera mesurée à la réception par un test de pressurisation conformément à la norme EN 13 829.	La perméabilité de l'enveloppe ne dépassera pas la valeur de référence de la réglementation thermique. Une note au niveau APD établie par le maître d'œuvre précisera la pertinence de cette valeur en regard des gains attendus en termes énergétiques. Le maître d'ouvrage souhaite que le maître d'œuvre adopte la démarche qualité jointe. La perméabilité sera mesurée à la réception par un test de pressurisation conformément à la norme EN 13 829.

Quels outils utiliser ?

- Qualité Environnementale des Bâtiments. Manuel à l'usage de la maîtrise d'ouvrage et des acteurs du bâtiment. ADEME, 2003
- Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments. Généralités et sensibilisation. 2006. CETE de Lyon. Rapport n° 06-95.
- Réglementation RT 2005. Arrêté du 25 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiment.
- Référentiels de bâtiments performants (ex. BBC-Effinergie).

Acteur : Architecte

Phase : Conception

Démarche qualité

Etanchéité à l'air

Ce qui est nécessaire

- Objectifs du maître d'ouvrage

Ce qui est attendu

- Limiter le nombre de pénétrations de l'enveloppe
- Limiter les longueurs de conduits et préférer des schémas de distribution simples
- S'assurer de la continuité de la prise en compte de l'étanchéité à chaque changement de phase (APS, APD, PRO)
- Détailler le traitement de toutes les liaisons sensibles

Commentaires

Chaque pénétration de l'enveloppe constitue une fuite potentielle. Il est donc important d'éviter des pénétrations inutiles. A titre indicatif, pour une PassivHaus, il est recommandé de limiter à 15 le nombre de pénétrations.

Un schéma simple et court de réseau de ventilation facilite sa compréhension par les installateurs et le traitement des liaisons.

L'architecte veillera à la continuité de la prise en compte de l'étanchéité en particulier en cas de changement de principe constructif ou de systèmes dans l'évolution des phases de conception.

Le concepteur doit proposé un traitement approprié de chaque liaison sensible (cf. document de sensibilisation). Il existe une palette de composants qui facilitent grandement la pose et limitent les risques (joints pré-comprimés, passe-fil, accessoires conduits à joints, etc.).

Quels outils utiliser ?

- Documents Techniques Unifiés et Avis Techniques pertinents
- Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments. Généralités et sensibilisation. 2006. CETE de Lyon. Rapport n° 06-95.
- Préconisations et notices de pose des fabricants.
- Réglementation RT 2005. Arrêté du 25 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiment.
- Référentiels de bâtiments performants (ex. BBC-Effinergie).

Acteur : Architecte

Phase : DCE

Démarche qualité

Etanchéité à l'air

Ce qui est nécessaire

- Document PROJET validé par le maître d'ouvrage intégrant les exigences du programme concernant l'étanchéité à l'air

Ce qui est attendu

- Préciser le traitement de toutes les liaisons sensibles dans les carnets de détails (échelle 1:5 à 1:20)
- Préciser l'exigence d'étanchéité dans le cahier des prescriptions communes
- Préciser dans chaque lot concerné, l'exigence d'étanchéité, les conditions de mise en œuvre, et le traitement des liaisons sensibles
- Préciser les modalités de contrôles en cours de chantier et à la réception pour chaque lot
- Sélectionner des entreprises qualifiées

Commentaires

Des croquis précis évitent les ambiguïtés à la mise en œuvre sur le chantier. Leur précision donne également un signal aux entreprises concernant l'importance de l'étanchéité à l'air.

Dans le même esprit, il est important d'indiquer les préconisations des fabricants au moment de la passation des marchés. La non-conformité de la pose par rapport aux préconisations des fabricants remet en cause la garantie du fabricant et l'efficacité des produits.

Les modalités de contrôle précisent notamment la façon dont les contrôles seront opérés en cours de chantier et à la réception (test sur l'ensemble ou des parties de bâtiment ou de réseau choisies par le maître d'ouvrage à la réception).

Quels outils utiliser ?

- Documents Techniques Unifiés et Avis Techniques pertinents.
- Préconisations et notices de pose des fabricants.
- Classification et certification des matériaux et composants.

Acteur : Architecte

Phase : Réalisation

Démarche qualité

Etanchéité à l'air

Ce qui est nécessaire

- Outils de sensibilisation
- Carnets de détails précisant le traitement des liaisons
- Modalités de contrôle

Ce qui est attendu

- Faire un planning d'exécution et de contrôle des travaux
- Sensibiliser les entreprises
- Faire des inspections visuelles de la nature et de la mise en œuvre des matériaux et composants au niveau des liaisons sensibles
- Faire un test d'étanchéité en cours de chantier en présence du maître d'ouvrage et des entreprises
- Corriger les défauts éventuels

Commentaires

Cette phase concerne la personne ou l'organisme responsable du suivi de chantier, c'est-à-dire généralement l'architecte ou son représentant sur le chantier.

Il est vivement conseillé de sensibiliser les entreprises au début du chantier sur le volet étanchéité à l'air et de rappeler les modalités de contrôle.

Le contrôle en cours de chantier prend deux formes : a) l'inspection visuelle et régulière de la nature et de la mise en œuvre des matériaux et composants ; b) la réalisation d'un test d'étanchéité en cours de chantier. Ce dernier pourra se faire sur une partie du bâtiment (par exemple, sur un logement témoin) en présence du maître d'ouvrage et des entreprises. Il permet de sensibiliser davantage les entreprises et de corriger des problèmes éventuels.

Les défauts relevés lors du suivi de chantier doivent être consignés (la prise de photos numériques peut être utile). Pour détecter les défauts, la prise de clichés infra-rouge ou l'utilisation de poire à fumée est utile. L'architecte veillera à ce qu'un traitement approprié soit mis en œuvre pour y remédier.

Quels outils utiliser ?

- Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments. Généralités et sensibilisation. 2006. CETE de Lyon. Rapport n° 06-95.
- Normes EN 13829 (enveloppe) et EN 12237 (réseaux).
- Documents Techniques Unifiés et Avis techniques pertinents.

Acteur : Architecte

Phase : Réception

Démarche qualité

Etanchéité à l'air

Ce qui est nécessaire

- Chantier terminé sur lequel les essais conformément aux normes EN 13829 et 12237 sont réalisables

Ce qui est attendu

- Essais d'étanchéité réalisés en présence des entreprises et du maître d'ouvrage, attestant la conformité de l'étanchéité mesurée avec les objectifs visés
- Corriger les défauts éventuels

Commentaires

Les essais ne peuvent être réalisés que sur un bâtiment terminé (équipements électriques posés, plinthes posées, équipements sanitaires posés et siphons en eau, ventilation en service). Ces derniers se font en présence du maître d'ouvrage et des entreprises.
Les défauts relevés doivent être consignés (la prise de photos numériques peut être utile). Pour détecter les défauts, la prise de clichés infrarouge ou l'utilisation de poire à fumée est utile.
L'architecte veillera à ce qu'un traitement approprié soit mis en œuvre pour remédier aux défauts constatés. En cas de non-conformité, un essai devra être réalisé à nouveau après corrections.

Quels outils utiliser ?

- Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments. Généralités et sensibilisation. 2006. CETE de Lyon. Rapport n° 06-95.
- Normes EN 13829 (enveloppe) et EN 12237 (réseaux).
- Réglementation RT 2005. Arrêté du 25 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiment.
- Référentiels de bâtiments performants (ex. BBC-Effinergie).

Acteur : BE Fluides

Phase : Conception

Démarche qualité

Etanchéité à l'air

Ce qui est nécessaire

- Plans du bâtiment
- Descriptif technique des matériaux de l'enveloppe et des réseaux de ventilation

Ce qui est attendu

- Evaluer l'impact de la perméabilité à l'air en terme de consommation énergétique

Commentaires

Le bureau d'études fluides a pour charge de dimensionner les installations de chaud, froid, ventilation ainsi que l'isolation de l'enveloppe.

La réglementation thermique exige qu'un calcul thermique soit réalisé pour évaluer la performance énergétique du bâtiment selon la méthode dite TH-CE 2005[1]. Cette méthode prend en compte les défauts d'étanchéité de l'enveloppe et des conduits. Le bureau d'études peut donc très facilement évaluer la variation de la consommation d'énergie avec la perméabilité à l'air ; cette opération est quasiment immédiate avec les logiciels du commerce.

Cette information pourra être utile à l'architecte pour recadrer l'objectif d'étanchéité à l'air si nécessaire en fonction des gains énergétiques et efforts financiers prévisibles.

Quels outils utiliser ?

- Moteur de calcul RT 2005 ou autre logiciel de simulation des performances thermiques prenant en compte les infiltrations.

[1] L'utilisation de solutions techniques est également possible. Dans ce cas, on peut estimer en première approximation qu'une augmentation de la perméabilité à l'air de 1 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa (cf. définition de la RT 2005) engendre une augmentation des besoins de chauffage de l'ordre de 5 $kWh/m^2/an$ pour un logement collectif et 12 $kWh/m^2/an$ pour une maison individuelle.

Acteur : Entreprises

Phase : Réalisation

Démarche qualité

Etanchéité à l'air

Ce qui est nécessaire

- Vérification des qualifications et références des entreprises
- Sensibilisation de l'entreprise par l'équipe de maîtrise d'œuvre

Ce qui est attendu

- Réaliser les travaux conformément aux prescriptions des CCTP, aux carnets de détails, aux plans d'exécution, et notices de pose des fabricants
- Réaliser les actions correctives si nécessaire

Commentaires

Dans le cas d'utilisation de produits nécessitant un savoir-faire précis, une formation spécifique est souhaitable.

Les ambiguïtés concernant les détails de mise en œuvre doivent être discutés avec l'architecte, le BE fluides et le bureau de contrôle.

Quels outils utiliser ?

- Documents Techniques Unifiés et Avis techniques pertinents
- Préconisations et notices de pose des fabricants
- Formations proposées par les fabricants

Acteur : Société de Maintenance

Phase : Mise en service / Maintenance

Démarche qualité

Etanchéité à l'air

Ce qui est nécessaire

- Documentation DOE (Dossier des Ouvrages Exécutés)
- Documentation DIUO (Dossier d'Intervention Ultérieur sur les Ouvrages)

Ce qui est attendu

- S'assurer de la conformité des DOE et DIUO vis-à-vis de l'ouvrage
- Assurer les opérations de maintenance et réparations

Commentaires

La maintenance d'une installation en entretien régulier repose sur une opération de dépoussiérage du réseau aéraulique. Selon les entreprises, cette opération est basée sur un brossage mécanique ou sur l'utilisation d'air comprimé. Il est important d'ajuster le matériel de nettoyage au réseau rencontré. Ainsi, une brosse plus souple ou une pression d'air insufflé moindre permettront de ne pas endommager les conduits semi-flexibles de raccordement entre les bouches d'extraction et le réseau collecteur horizontal.

Ces opérations de maintenance requièrent de pouvoir accéder à **la totalité du réseau** aéraulique, depuis les bouches d'extraction présentes dans les logements jusqu'au caisson d'extraction. L'accessibilité au réseau se fera prioritairement à partir des logements et à partir de té-souches qui, selon le DTU 68.2, doivent être facilement accessibles pour favoriser l'entretien. En cas de problèmes d'accessibilité, des trappes de visite seront réalisées par l'entreprise de maintenance. Ces trappes devront être découpées soigneusement et le modèle choisi devra être adapté au conduit aéraulique afin de garder la bonne étanchéité du réseau aéraulique. A l'issue de l'opération de dépoussiérage, il est nécessaire de remettre l'installation à son état initial. Ainsi, il faudra veiller à bien obturer l'ensemble des orifices utilisés pour le nettoyage.

Quels outils utiliser ?

- Hygiénisation des réseaux aérauliques en habitat collectif, GHR-COSTIC, 1999.
- Documentation de fabricants
- DTU 68.2 : « Exécution des installations de ventilation »
- NF EN 12097 : « Ventilation des bâtiments – Réseau de conduits – Exigences relatives aux composants destinés à faciliter l'entretien des réseaux de conduits », novembre 2006

3. EXEMPLE DE LIVRET DE SENSIBILATION

Un élément important concerne la sensibilisation des acteurs. En dehors du cadre de ce guide, le CETE de Lyon a rédigé un document de sensibilisation générique sur l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Cet ouvrage est disponible gratuitement sur le site Internet du CETE de Lyon et pourra servir de support pour cette sensibilisation.

Des éléments de cet ouvrage ont été repris dans le cadre du projet PREBAT-Performance pour constituer des livrets ciblés pour les opérations. En outre, ces documents abordent le volet étanchéité des réseaux, absent de l'ouvrage précité du CETE de Lyon. Nous avons inséré à la suite de ce chapitre le document de sensibilisation utilisé pour PREBAT-Performance avec toutefois quelques modifications issues des enseignements tirés de ce projet. (Le document inséré dans les pages suivantes ne comprend pas les carnets de détails que nous avons préféré présenter séparément dans le chapitre 4.) Des maîtres d'ouvrage ou maîtres d'œuvre engagés dans une telle démarche pourront s'inspirer de ce livret pour leurs séances de sensibilisation.

Les carnets de détails présentés dans le chapitre suivant peuvent également servir de support pour la sensibilisation. Les entreprises en particulier apprécieront de pouvoir discuter avec le maître d'œuvre des dispositions constructives prises pour limiter les fuites.

Performance
de la ventilation et du bâti

La maîtrise des flux de ventilation dans les bâtiments

Exemple de livret de sensibilisation

Cadre et objectifs du projet « Performance »

Le projet « Performance » s'inscrit dans le cadre du PREBAT (Programme de Recherche et d'Expérimentations sur l'Energie dans le Bâtiment) dont l'objectif est de réduire par quatre des émissions de gaz à effet de serre dans les bâtiments d'ici 2050. Les axes privilégiés sont :

- la réhabilitation des bâtiments existants ;
- la construction banalisée de bâtiments neufs à basse et très basse consommation d'énergie d'ici 2015-2020 ; et
- la construction de bâtiments à énergie positive, c'est-à-dire de bâtiments qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment.

Les consommations énergétiques dues au renouvellement d'air représentent entre 20 et 40% des consommations de chauffage des logements. Un moyen de maîtriser ces déperditions tout en conservant une bonne qualité de l'air intérieur consiste à moduler les débits de ventilation en fonction de l'humidité dans les logements. Des études en laboratoire et des simulations montrent que les systèmes de ventilation hygro B sont très efficaces à la fois sur les plans énergétiques et qualité de l'air intérieur. Toutefois, des études de terrain manquent pour confirmer ces performances en environnement et conditions d'usage réels.

C'est pourquoi l'objectif de ce projet est d'évaluer les performances sur site du système de ventilation hygro B, sur les plans de la qualité de l'air intérieur, du confort thermique, et des économies d'énergie.

Entre 10 et 20 logements seront instrumentés sur ce site pour suivre les conditions hygrothermiques et la qualité de l'air intérieur en conditions réelles (logements occupés). Dans chacun de ces logements, la température, l'humidité, le dioxyde de carbone, les débits extraits et la position des entrées d'air seront mesurés pendant une période de 1 an.

Un pré-requis pour maîtriser les flux d'air : construire étanche à l'air

Il est essentiel que l'enveloppe des bâtiments soit relativement étanche à l'air si on veut avoir une chance de maîtriser les flux d'air. Il est clair que les flux d'air à travers une enveloppe très perméable sont autant gouvernés par le vent ou l'effet de cheminée que par le système de ventilation lui-même.

Une bonne étanchéité est donc essentielle pour que les systèmes de ventilation fonctionnent correctement, c'est-à-dire pour :

- assurer une bonne qualité de l'air ;
- éviter le gaspillage d'énergie.

Il ne s'agit donc pas de vivre dans des « sacs plastiques » mais au contraire, de fournir de l'air neuf en quantité suffisante aux occupants, tout en maîtrisant le coût énergétique que cela induit.

Il est également essentiel que les conduits de ventilation soient relativement étanches à l'air pour obtenir les débits voulus aux bouches. En fait, deux cas de figure peuvent se présenter :

Le ventilateur ne compense pas l'effet des fuites	**Le ventilateur compense l'effet des fuites**

⇩
• Débits aux bouches non-respectés
• Potentiellement des problèmes de qualité de l'air
• Pas de surconsommation énergétique
	⇩
	• Débits aux bouches respectés, mais problèmes d'équilibrage
	• La plupart du temps, pas d'effet direct sur la qualité de l'air
	• Surconsommation énergétique
	  ❑ Ventilateur
	  ❑ Renouvellement d'air

Pourtant, l'étanchéité à l'air des constructions en France est généralement mauvaise

L'étanchéité à l'air est trop souvent négligée en France. Les perméabilités mesurées dans de nombreuses études permettent de déduire qu'entre ***un quart et un tiers*** de l'air neuf provient de fuites de l'enveloppe des bâtiments. Les flux d'air n'étant pas maîtrisés, ces infiltrations parasites peuvent dégrader la qualité de l'air, et causer une augmentation des besoins de chauffage de l'ordre de **10%** pour des systèmes de ventilation simple flux et jusqu'à **25%** pour des systèmes de ventilation double flux.

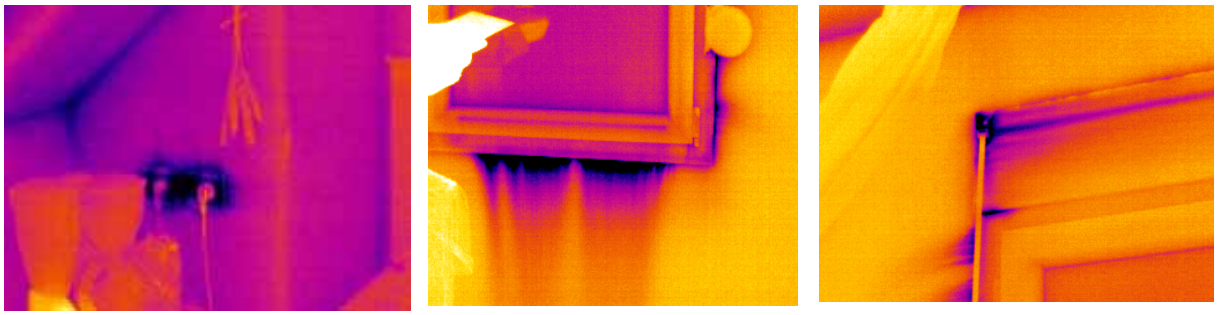


Figure 2. Exemples de fuites détectées à la caméra infrarouge sur des logements récents

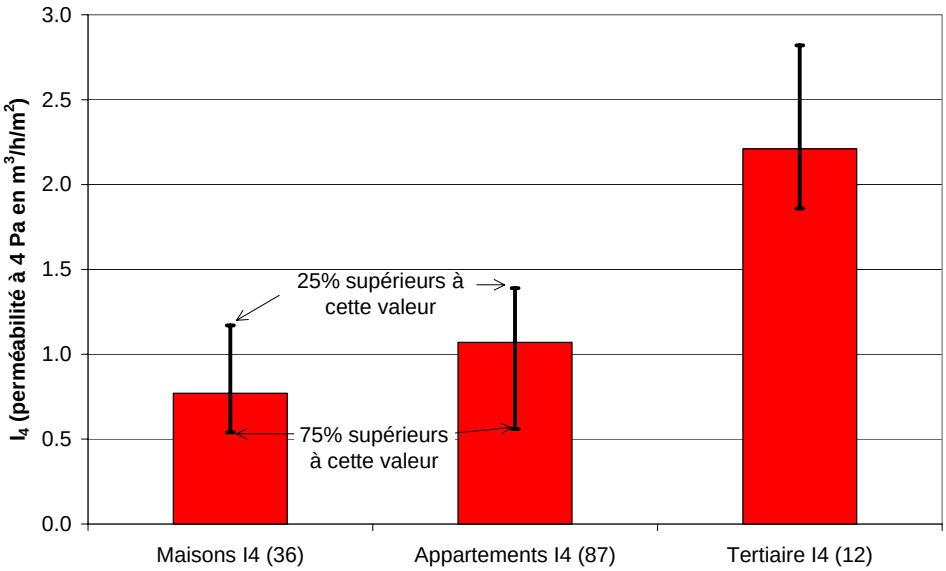


Figure 3 : I_4 mesuré sur site (taille de l'échantillon entre parenthèses). Les rectangles pleins représentent la valeur moyenne ; les barres d'erreurs représentent les premiers et troisièmes quartiles.

Concernant les conduits, des mesures sur site ont démontré que la perméabilité des réseaux provoque typiquement des débits de fuite d'environ 20% par rapport au débit minimal réglementaire.

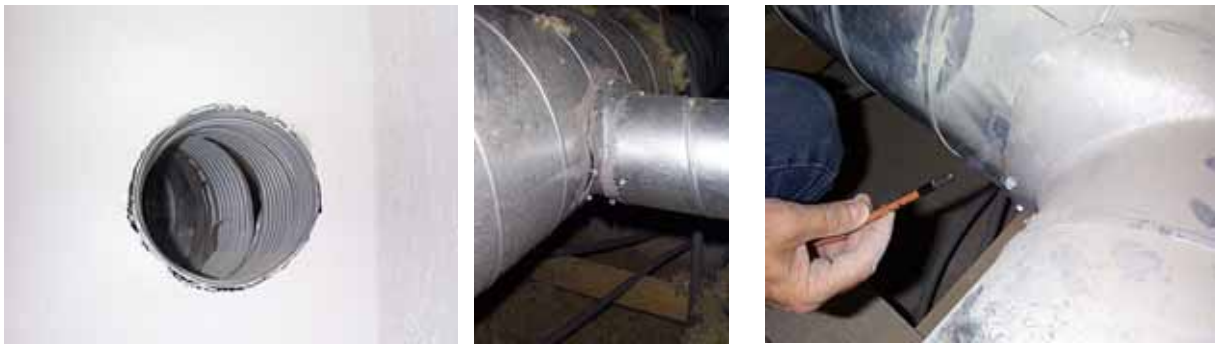


Figure 4. Exemples de fuites observées. Source Pierre Barles Consultant (PBC).

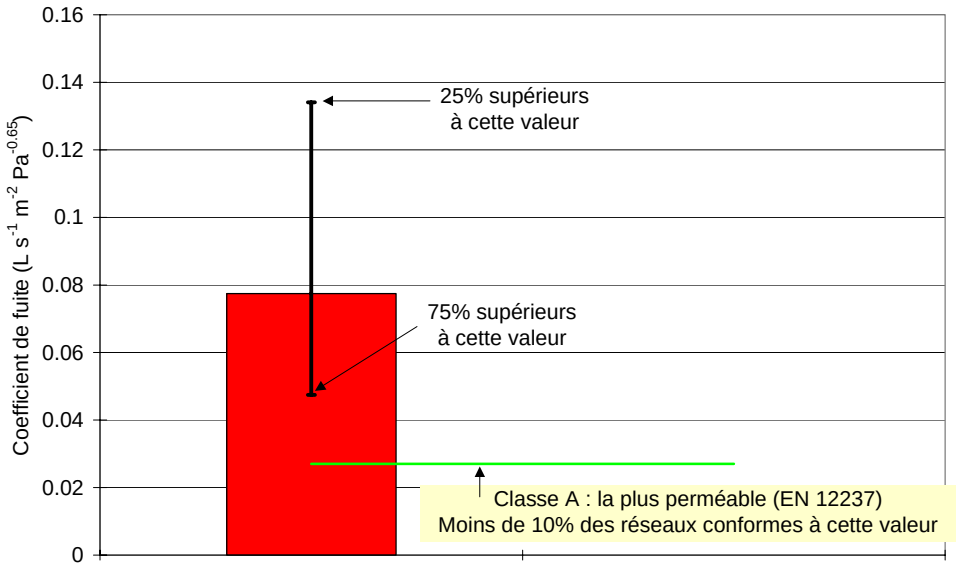


Figure 5 : Etanchéité mesurée sur site de 47 réseaux. Le rectangle plein représente la valeur médiane ; les barres d'erreurs représentent les premiers et troisièmes quartiles.

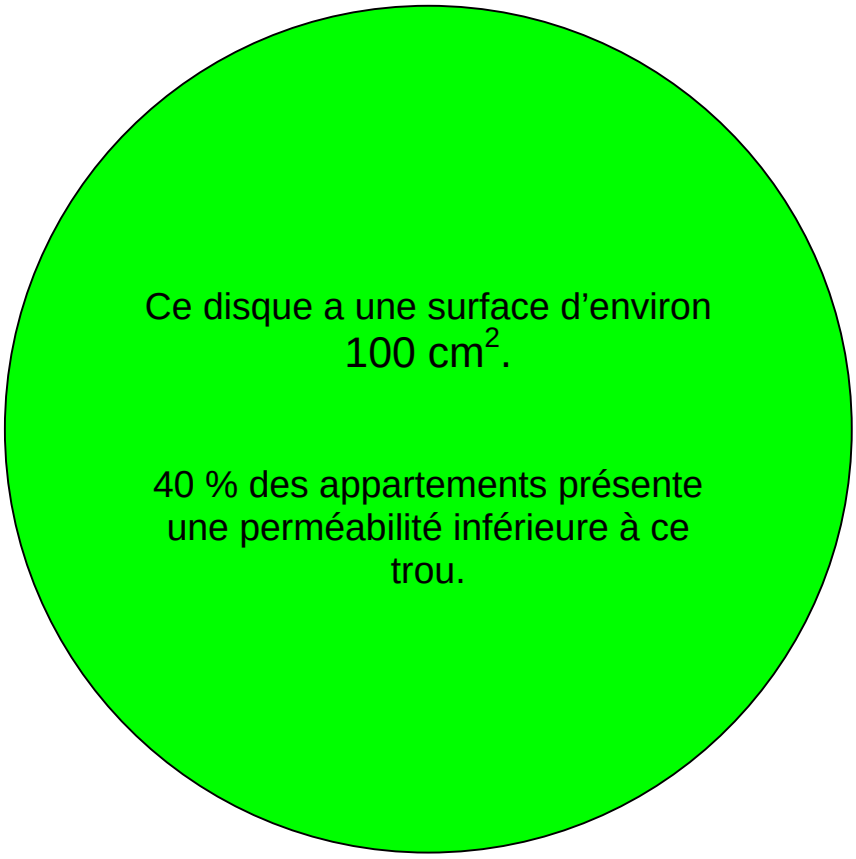
L'objectif du projet est d'atteindre une bonne étanchéité à l'air sur ce chantier

Un quart des appartements présente une perméabilité équivalente supérieure à un trou de 170 cm^2, soit le quart d'une feuille A4. C'est plus que les entrées d'air qui présentent une section d'environ 100 cm^2.

Pour ce projet, nous visons une perméabilité inférieure à la valeur de référence de la réglementation thermique pour les maisons individuelles, soit l'équivalent d'un trou de 100 cm^2 par logement.

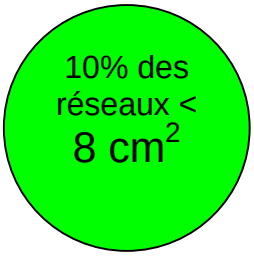
Ce disque a une surface d'environ
170 cm^2.

Un quart des appartements présente
une perméabilité supérieure à ce trou.



Un quart des réseaux testés présente une étanchéité supérieure à environ 5 fois la classe A (classe la moins étanche de la norme NF EN 12237). Moins de 10% présente une étanchéité conforme à la classe A.

Pour ce projet, nous visons une perméabilité inférieure à la classe A, soit l'équivalent d'un trou d'environ 8 cm^2 par colonne (calcul pour une colonne de 15 m, Φ 250 mm).



Comment ?

En mettant en place une démarche pour soigner quelques détails, tant dans la conception que dans la réalisation (mise en œuvre et choix des matériaux). Le carnet de détails présente pour l'enveloppe et les réseaux des points faibles récurrents et leur traitement proposé et validé par la maîtrise d'œuvre.

Notre démarche

1. En phase programme : Viser un objectif

Le maître d'ouvrage doit donner un signal clair au maître d'œuvre sur son intention d'avoir une étanchéité soignée. Cette intention doit être formalisée dans le programme et exprimée de façon plus ou moins directive selon les ambitions. En l'absence de quantification des performances au stade programme, elles devront être dans tous les cas précisées au plus tard en phase APD. Ce calage d'objectif résultera d'un compromis entre l'impact financier de la maîtrise de l'étanchéité et l'impact en terme d'énergie et de qualité de l'air de la non-maîtrise des flux d'air. Les modalités de suivi et de validation de cet objectif doivent être précisées dans le programme.

2. En phase conception : Soigner les détails des liaisons sensibles

Il est important que le maître d'ouvrage rappelle au maître d'œuvre sélectionné ses objectifs en terme d'étanchéité à l'air en début de phase, puis qu'il s'assure que cette préoccupation est bien prise en compte par le maître d'œuvre conformément aux modalités de suivi et de validation prévues au programme. Un carnet de détails précisant les dispositions prises pour limiter la perméabilité de liaisons sensibles sera produit par le maître d'œuvre.

3. En phase travaux : Planifier les contrôles, sensibiliser les entreprises, réaliser les travaux conformément aux préconisations, corriger si nécessaire

Le représentant de la maîtrise d'œuvre ayant en charge le suivi de chantier doit établir un planning dans lequel apparaîtront les points d'arrêt de la démarche qualité. Il s'agit notamment des séances de sensibilisation et de la vérification de la nature et de la mise en œuvre des matériaux.

Le représentant de la maîtrise d'œuvre ayant en charge le suivi de chantier doit veiller au respect du carnet de détails. Pour cela, il est utile, voire essentiel vu les pratiques observées actuellement, de sensibiliser les entreprises vis-à-vis des performances visées, des obligations de moyens, et enfin des modalités de contrôle en cours de chantier et à la réception. Les modifications qui pourraient être proposées par les entreprises devront faire l'objet d'une validation formelle selon les clauses du CCAG.

Le représentant de la maîtrise d'œuvre ayant en charge le suivi de chantier, contrôle la nature et la mise en œuvre des matériaux, par rapport au référentiel du carnet de détails. Il devra inspecter les gaines de ventilation avant la fermeture des gaines techniques. Cette tâche est importante car il est très difficile de remédier aux problèmes d'étanchéité des réseaux une fois les gaines techniques fermées. En règle générale, une inspection visuelle suffit.

Il est souhaitable de réaliser un test de pressurisation sur un logement ou une partie de bâtiment témoin. Cette tâche permet de valider les solutions choisies par le maître d'œuvre pour limiter la perméabilité à l'air. Elle permet également de sensibiliser les entreprises aux problèmes rencontrés et de corriger d'éventuels problèmes.

4. En phase réception : Mesurer l'étanchéité

Cette étape permet de sensibiliser toujours plus les entreprises aux problèmes rencontrés et de corriger d'éventuels problèmes.

5. Actions correctives et bilan de la démarche

Les différents acteurs doivent tirer les enseignements de cette évaluation, en particulier en cas de dérive par rapport aux objectifs souhaités.

Tableau 2. Eléments clés de la démarche qualité retenue dans le projet PREBAT-Performance.

Points de vigilance

Les infiltrations au niveau de l'enveloppe

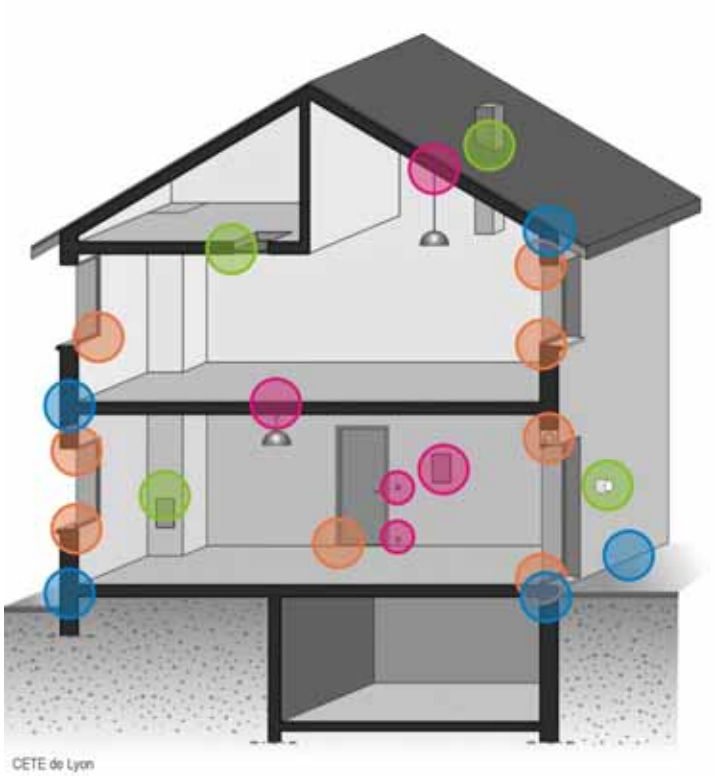


Figure 6 : L'enveloppe, localisation des infiltrations d'air parasites

Menuiseries extérieures :

- Installer des menuiseries de qualité et contrôler le classement A.E.V. (le niveau de performance de la perméabilité à l'air des fenêtres est défini par la norme européenne EN 12207 de mai 2000).

- Réceptionner les menuiseries en vérifiant les points suivants :
  - les menuiseries doivent être stockées verticalement à l'abri des aléas du chantier et des intempéries ;
  - vérifier l'état de l'ouvrant et du dormant et la présence de joints d'étanchéité sur toute la périphérie de l'ouvrant et/ou du dormant ;
  - vérifier la conformité des matériaux (bois, PVC, aluminium,…) et la dimension des châssis.

- Réceptionner le gros œuvre. La baie, support de la menuiserie, doit présenter au niveau de la surface des dormants et de ses dimensions un état compatible avec une réalisation correcte des calfeutrements.

Vérifier les points suivants :

- la conformité des dimensions de la baie par rapport aux plans ;
- l'aplomb des tableaux et le niveau des appuis et linteaux ;
- la planéité des plans de pose ;
- la dimension des appuis et notamment la largeur du rejingot.

- Réceptionner le matériel et les accessoires de pose en vérifiant les points suivants :
  - les accessoires de fixation tels que les pattes, les cornières, les chevilles et les vis doivent être en capacité de supporter la charge maximale des menuiseries ;
  - les cales doivent être adaptées au type de menuiserie et au type de pose ;
  - les produits de calfeutrage tels que les joints et fonds de joints doivent être adaptés au type de menuiseries installées.

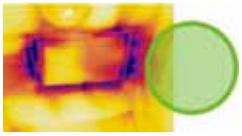
- Soigner le jointoiement des liaisons entre le dormant des menuiseries (fenêtres, porte-fenêtres, portes, etc.) et les parois extérieures de l'enveloppe du bâtiment :
  - le calfeutrement est réalisé à l'aide d'un joint étanche mis en œuvre sur toute la périphérie de la liaison dormant-gros œuvre et en respectant la continuité dans les angles ;
  - vérifier l'uniformité de la périphérie du plan de pose afin que les joints soient correctement plaqués contre les parois.

- Les produits d'étanchéité et leur mise en œuvre doivent être étudiés et adaptés selon les cas (sur appui, en linteau, en tableau,…). Les produits couramment employés sont :
  - les joints extrudés à la pompe sur fond de joint ;
  - les bandes de mousse précomprimées et imprégnées ;
  - les cordons de mastic préformés.
- Installer une barre d'étanchéité (type seuil Suisse) au niveau du seuil de la porte d'entrée.
- Vérifier l'étanchéité des coffres de volets roulants et notamment le jointoiement des liaisons entre le coffre, la fenêtre et le mur.

Équipements électriques :

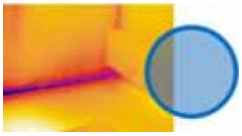
- Limiter le nombre de percements des parois.
- Colmater les points de passage de l'ensemble des équipements électriques installés sur les parois extérieures ou dans le local :
  - tableau électrique ;
  - interrupteurs et prises de courants ;
  - points lumineux type plafonniers ;
  - câblage des différents systèmes de mesures.

- Utiliser des produits adaptés et si possible des boîtiers électriques étanches.



Trappes et éléments traversant les parois :

- Limiter le nombre de percements des parois.
- Surveiller la pose des joints d'étanchéité au niveau de l'ensemble des liaisons :
  - trappes d'accès gaines techniques ou combles ;
  - gaines techniques traversant le plancher ;
  - conduit d'évacuation des fumées ou des gaz en façade ou en toiture selon le système de chauffage retenu ;
  - conduit d'évacuation de l'air vicié en toiture.



Liaisons entre parois :

- Jointoyer les liaisons entre murs verticaux, planchers et plafonds.
- Utiliser des produits adaptés.

Les infiltrations au niveau du réseau de ventilation

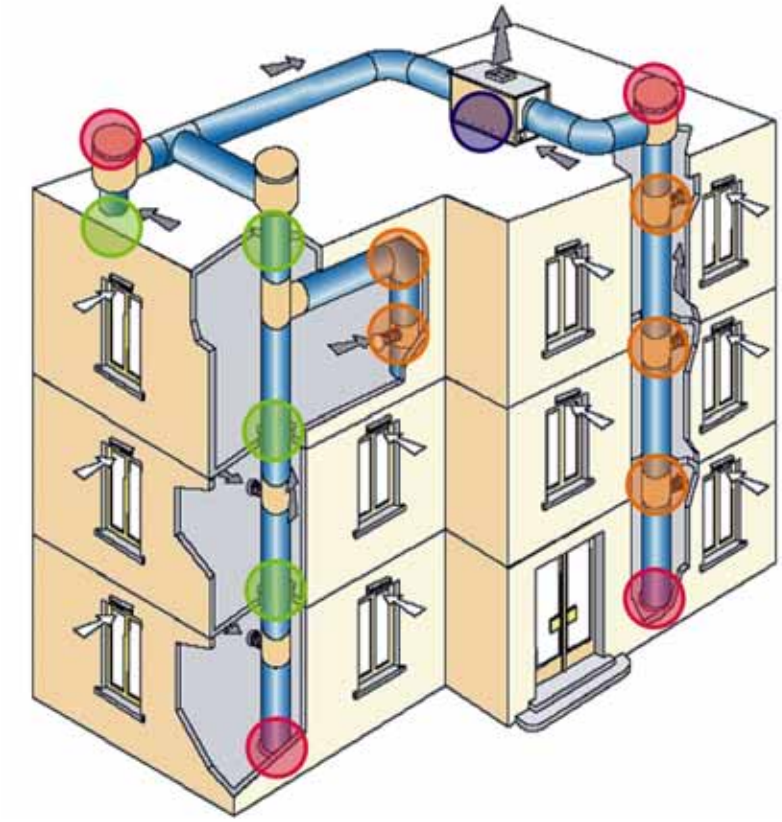
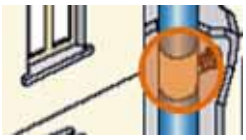
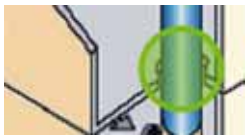


Figure 7 : Le réseau, localisation des infiltrations d'air parasites

Raccordements entre conduits et au niveau des bouches :



- Soigner particulièrement l'étanchéité au niveau du raccordement des bouches. Cette liaison est une source récurrente de fuite tant au niveau du conduit que du bâti.
- Préférer des jonctions (tés, collecteurs d'étages, etc.) étanches préfabriquées en usine. L'utilisation de « piquages express » est déconseillée.
- Soigner les liaisons entre conduits. L'installation d'accessoires à joints est recommandée. Ces produits avec joints intégrés permettent d'obtenir une excellente étanchéité des conduits entre eux, et de diminuer le temps d'installation et les risques de coupures. A défaut, l'étanchéité entre conduits sera assurée par une pose soignée de mastic et/ou de bandes adhésives appropriées.
- Soigner les liaisons entre conduits verticaux et horizontaux. Préférer des conduits de liaison rigides ou à défaut semi-rigides entre les colonnes verticales et les bouches.



Traversée de plancher :

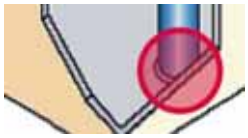
- Surveiller les traversées de plancher. Le joint de traversée de dalle permet à la fois de réaliser l'étanchéité à l'air entre étage (et à l'eau en terrasse) et de limiter le bruit généré et transmis.

Stabilité du réseau :

- Assurer la tenue mécanique du réseau. Les conduits sont assemblés entre eux de préférence avec rivets et à défaut par vis auto foreuses. En tout cas, les vis auto-foreuses ne devront pas être placées à moins de 1 m des bouches et trappes de visite afin de limiter les risques de blessures lors des opérations de maintenance. Les conduits sont fixés à la structure en respectant les règles suivantes :
  - Des supports insonorisés seront placés tous les 2 mètres environ en terrasse ;
  - En comble, il sera utilisé du feuillard (tôle de métal en acier en bandes minces et étroites utilisée pour des fixations par cerclage) fixé au bois de charpente. La distance de garde au feu de 7 cm au minimum sera maintenue.

Au raccordement du ventilateur :

- Surveiller l'étanchéité des manchettes souples de raccordement entre le ventilateur et le réseau horizontal. Le ventilateur doit être fixé sur un socle anti-vibratile.



Extrémité des conduits :

- Surveiller l'étanchéité en tête de colonne. Prévoir un dispositif assurant à la fois la visite du réseau et son insonorisation.
- Surveiller l'étanchéité en pied de colonne. Prévoir un tapon de ramonage amovible et accessible par une trappe de visite (500x500 mm au minimum)
- Permettre le ramonage du réseau horizontal en incorporant tous les 10 m de section droite et à chaque changement de direction une trappe de visite.

Trappes de visite

- Utiliser une trappe de visite adaptée au diamètre du conduit.
- Réaliser un trou conforme au masque de la trappe.

Transport et stockage des conduits

- Eviter les déformations des conduits qui aggravent les risques de fuite.
- Protéger les conduits des déformations et des salissures sur le chantier (l'utilisation de conduits bouchonnés est conseillée).

4. EXEMPLE DE CARNET DE DETAILS

L'obtention d'une bonne étanchéité à l'air dépend fortement de l'attention qui y est portée au stade de la conception. L'expérience montre que les carnets de détails sont souvent insuffisamment précis sur les moyens à mettre en œuvre pour traiter les liaisons sensibles, avec deux conséquences néfastes : d'une part, les artisans ne ressentent pas la volonté du maître d'œuvre de traiter correctement ces liaisons ; d'autre part, les artisans livrés à eux-mêmes mettent en œuvre leurs propres solutions, qui peuvent s'avérer inadaptées.

Le principe fondamental pour assurer une bonne étanchéité de l'enveloppe est de réaliser une « peau » étanche et continue. En plan et en coupe, le concepteur doit pouvoir suivre cette peau avec un crayon, sans le décoller de la feuille (Figure 8). Chaque liaison entre composants doit être analysée afin de prévoir les matériaux qui assureront l'étanchéité à l'air de façon pérenne à cet endroit. En traitant une liaison donnée, le concepteur doit garder à l'esprit la continuité de la peau sur les liaisons avoisinantes.

Dans le cadre du projet PREBAT-Performance, nous avons détaillé le traitement de l'ensemble des liaisons sensibles au niveau de l'enveloppe et des réseaux. Nous avons inséré à la suite de ce chapitre un document inspiré du carnet développé pour les opérations sélectionnées. L'objectif ici n'est pas de donner un catalogue exhaustif des liaisons à risque et de traitements appropriés, mais plutôt de fournir une base qui pourrait être utilisée par d'autres maîtres d'œuvres et d'ouvrages qui s'engageraient dans une telle démarche.

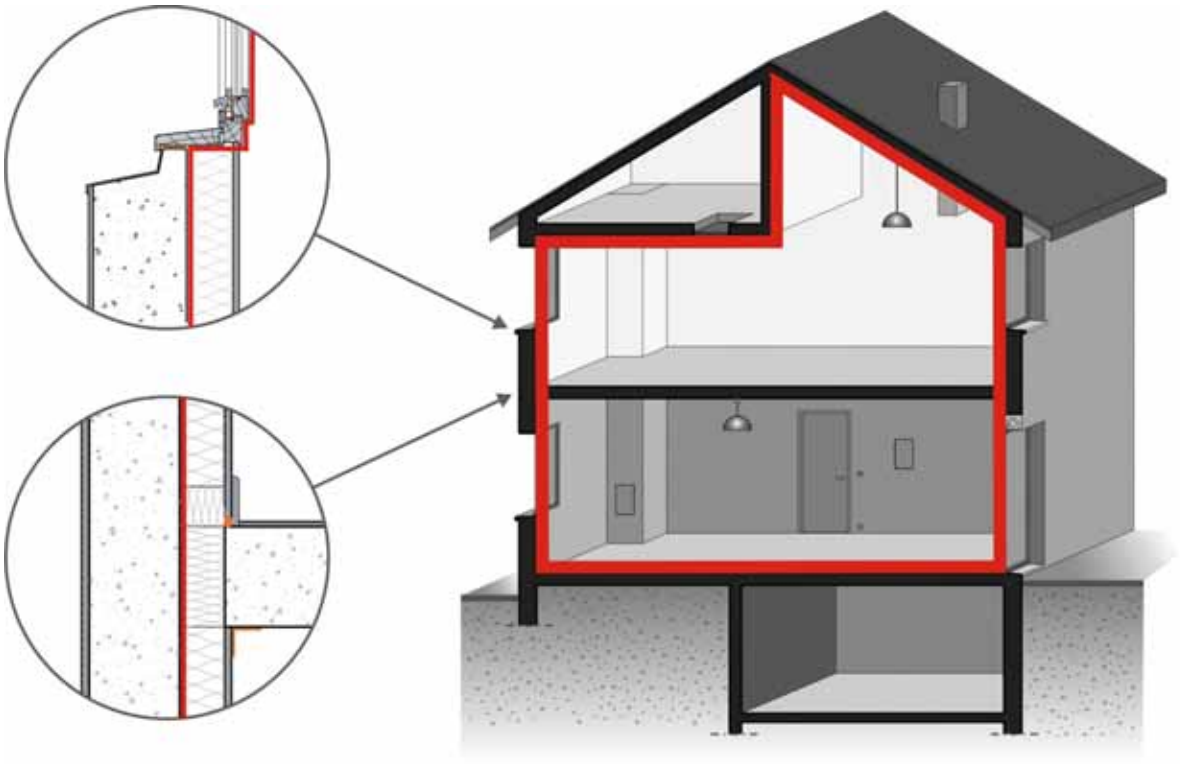


Figure 8 : Illustration du principe de la peau étanche et continue

Performance de la ventilation et du bâti

La maîtrise des flux de ventilation dans les bâtiments

Exemple d'un carnet de détails

AVERTISSEMENT

Ce document présente quelques détails constructifs et l'esprit dans lequel ils pourraient être traités pour limiter les défauts d'étanchéité. Son utilisation ne saurait engager la responsabilité du consortium PREBAT-Performance (projet dans lequel il a été élaboré) ou de ses membres.

La première barrière d'étanchéité doit être réalisée en continu et en jonction avec le gros œuvre avant l'intervention des lots techniques et cloison-doublage. Cette première barrière d'étanchéité est indispensable, elle peut être suffisante si elle est bien réalisée ; dans ce cas, la deuxième barrière n'est pas nécessaire pour assurer l'étanchéité à l'air.

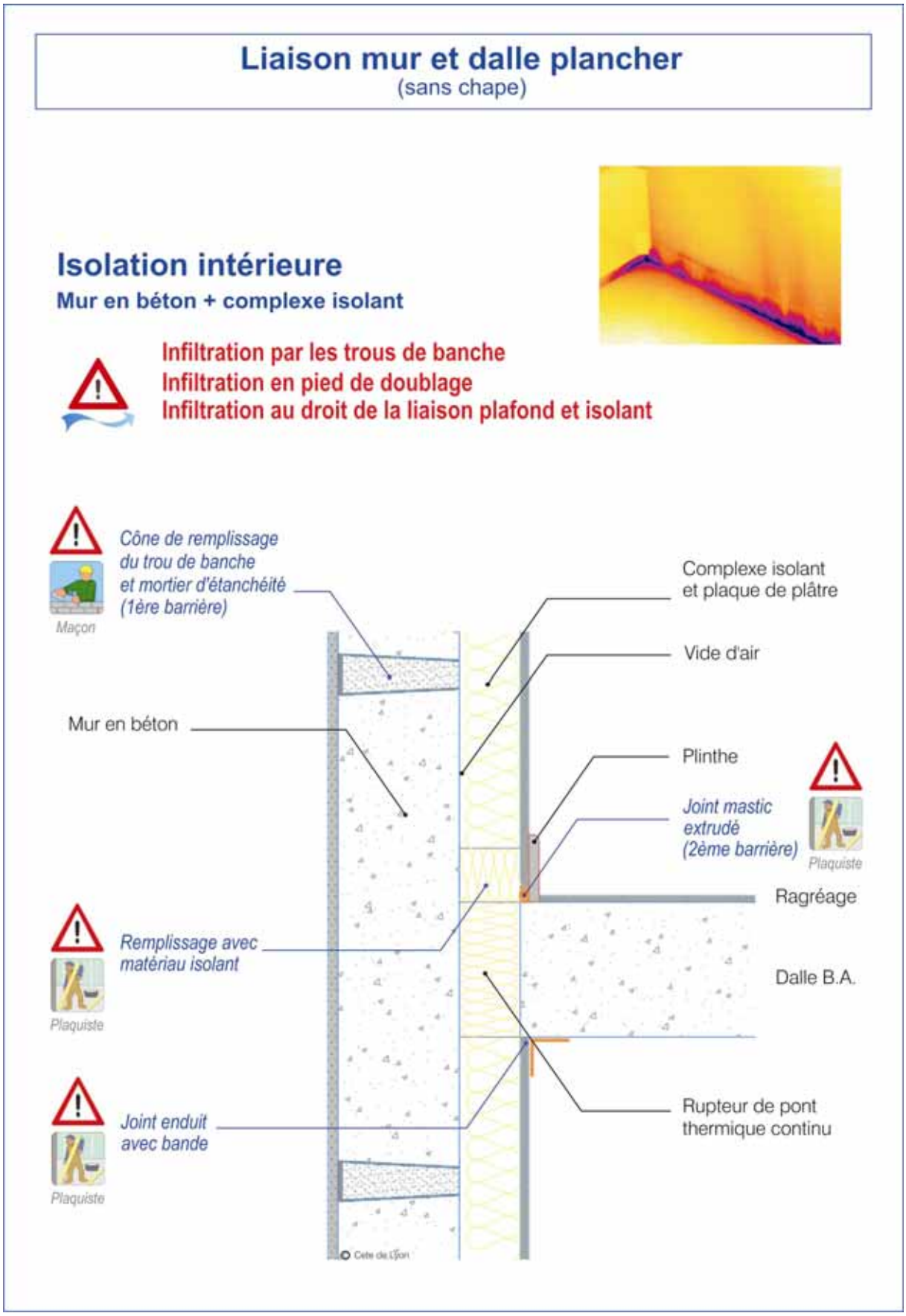


Figure 9 : Liaison mur et dalle plancher

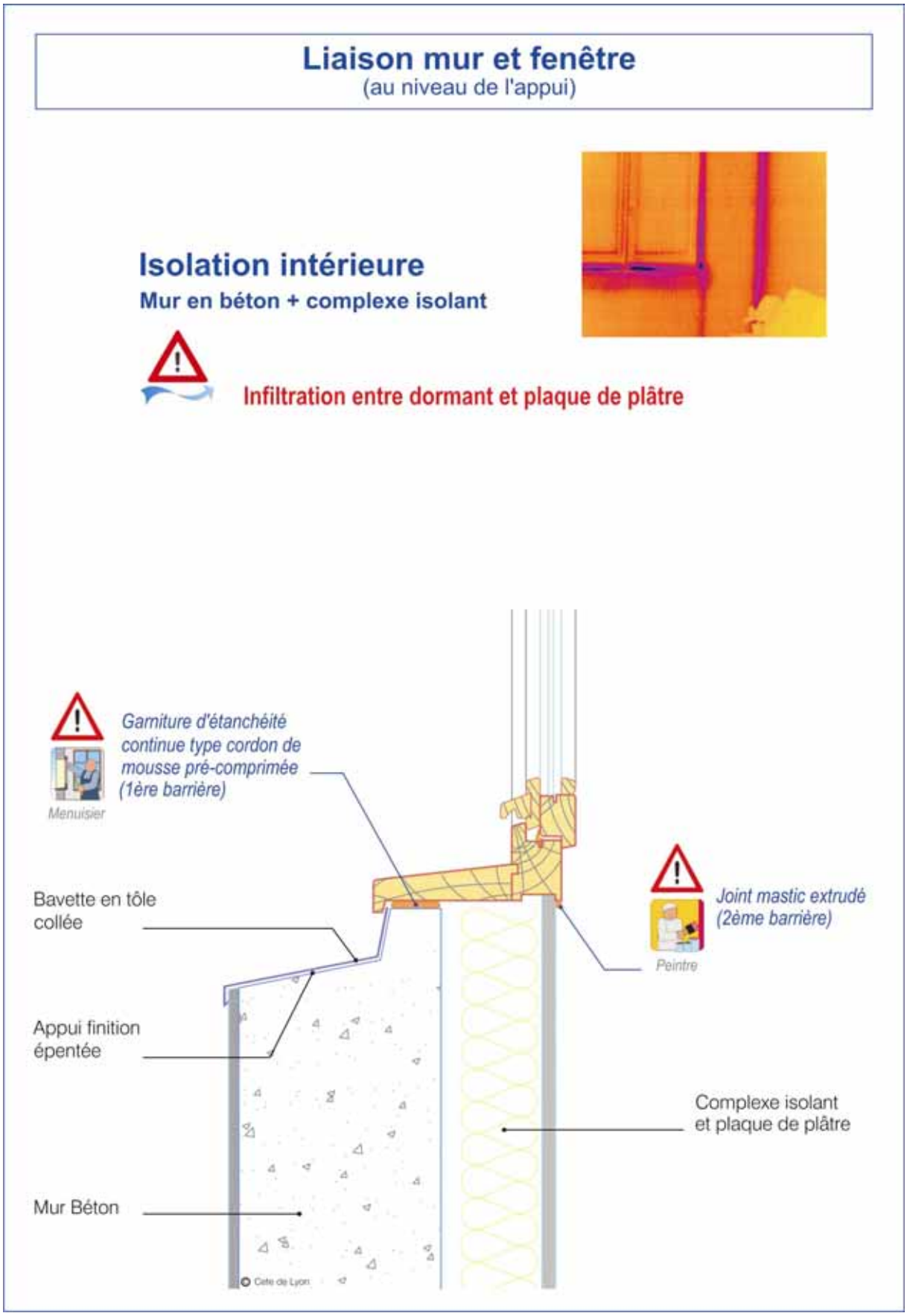


Figure 10 : Liaison mur et fenêtre

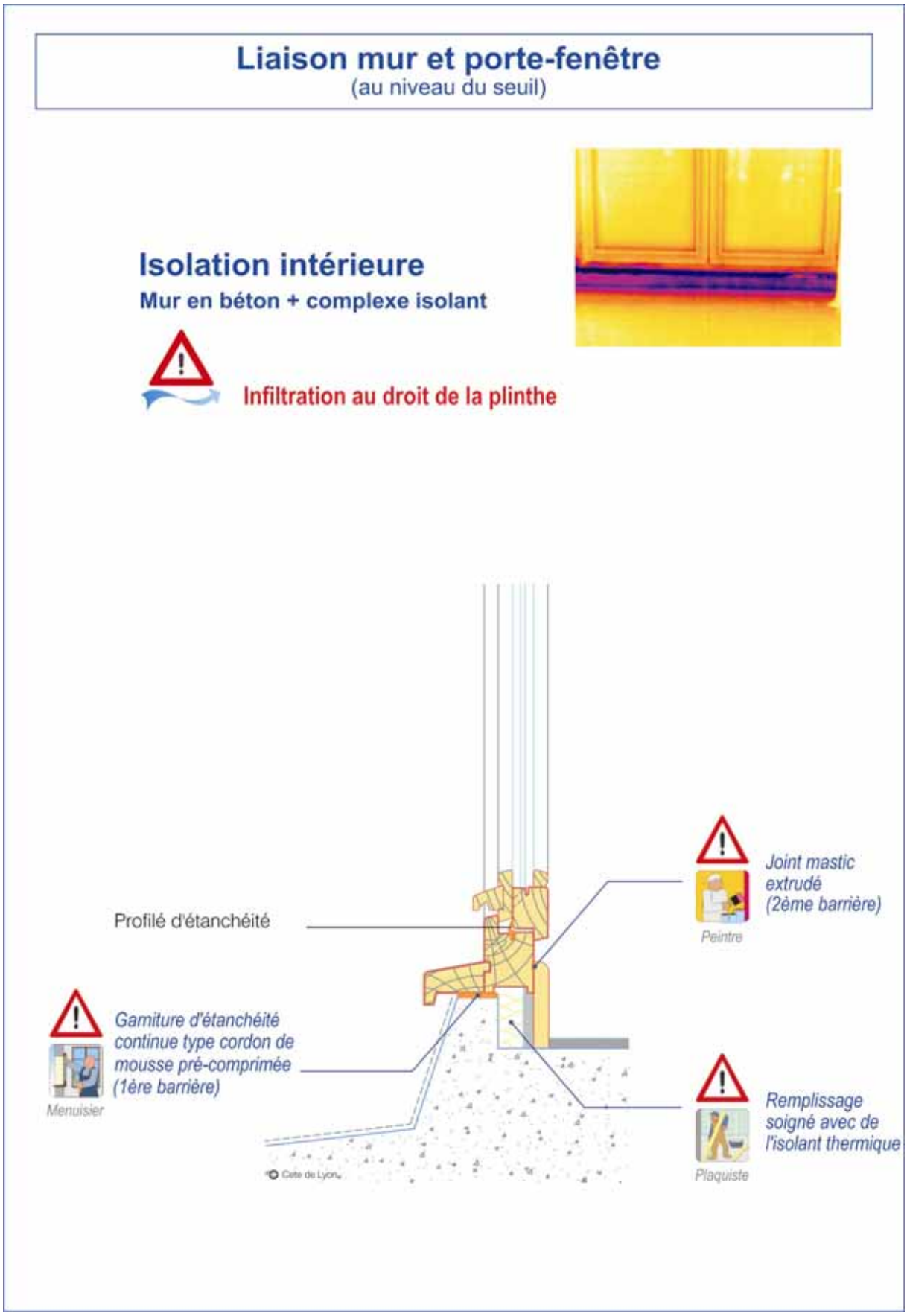


Figure 11 : Liaison mur et porte-fenêtre au niveau de l'appui

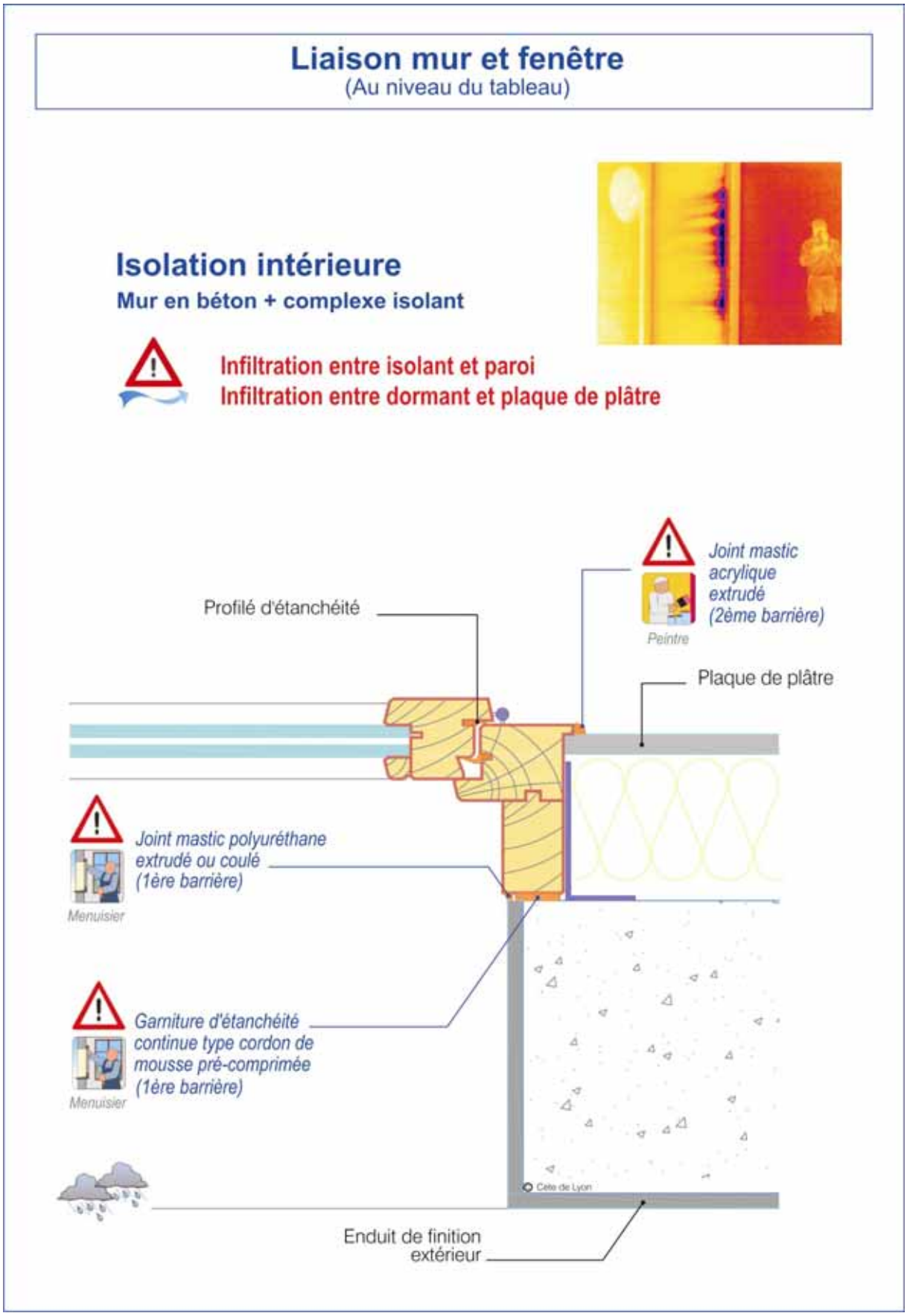


Figure 12 : Liaison mur et fenêtre ou porte-fenêtre (coupe horizontale)

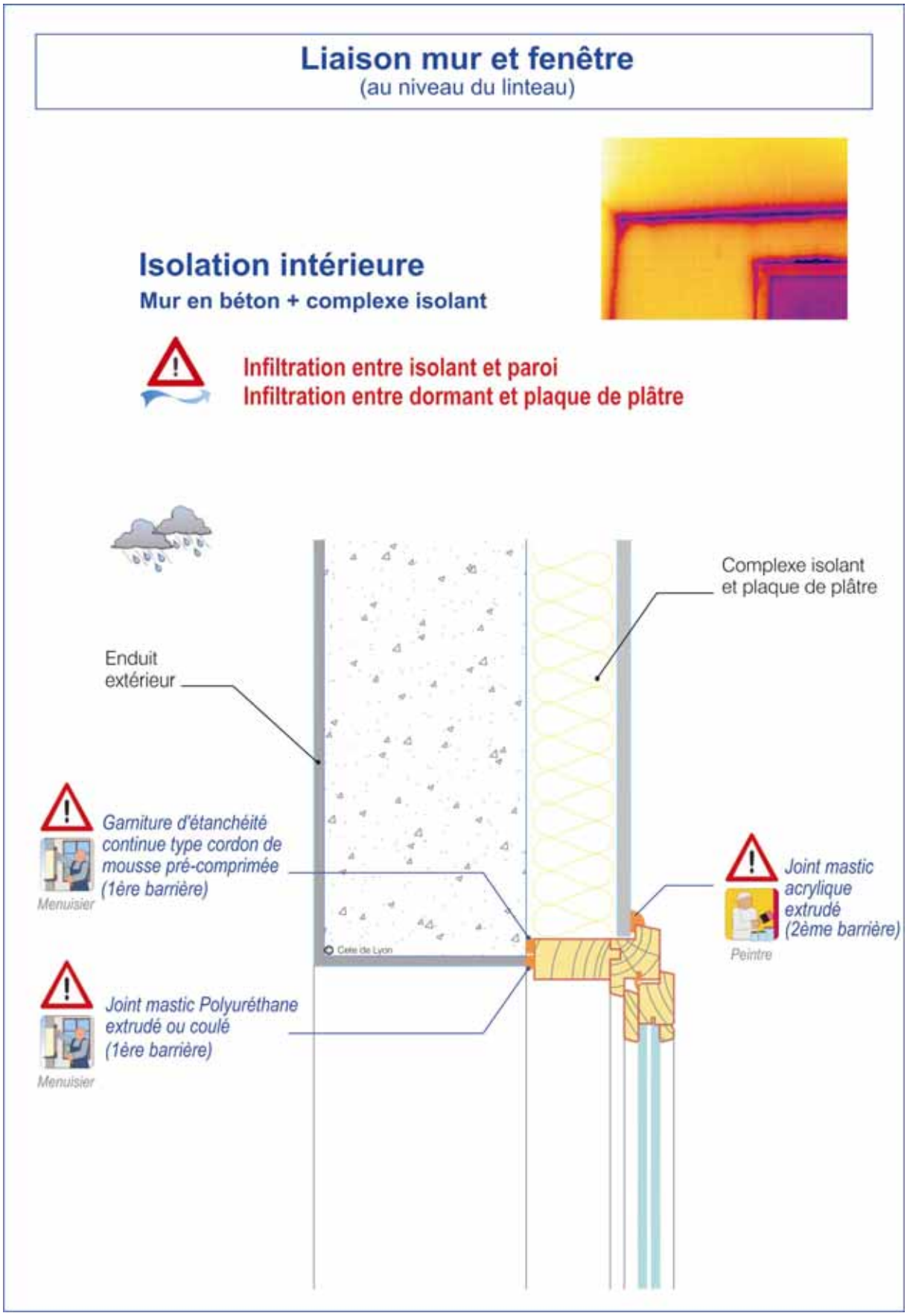


Figure 13 : Liaison mur et fenêtre ou porte-fenêtre (au niveau du linteau)

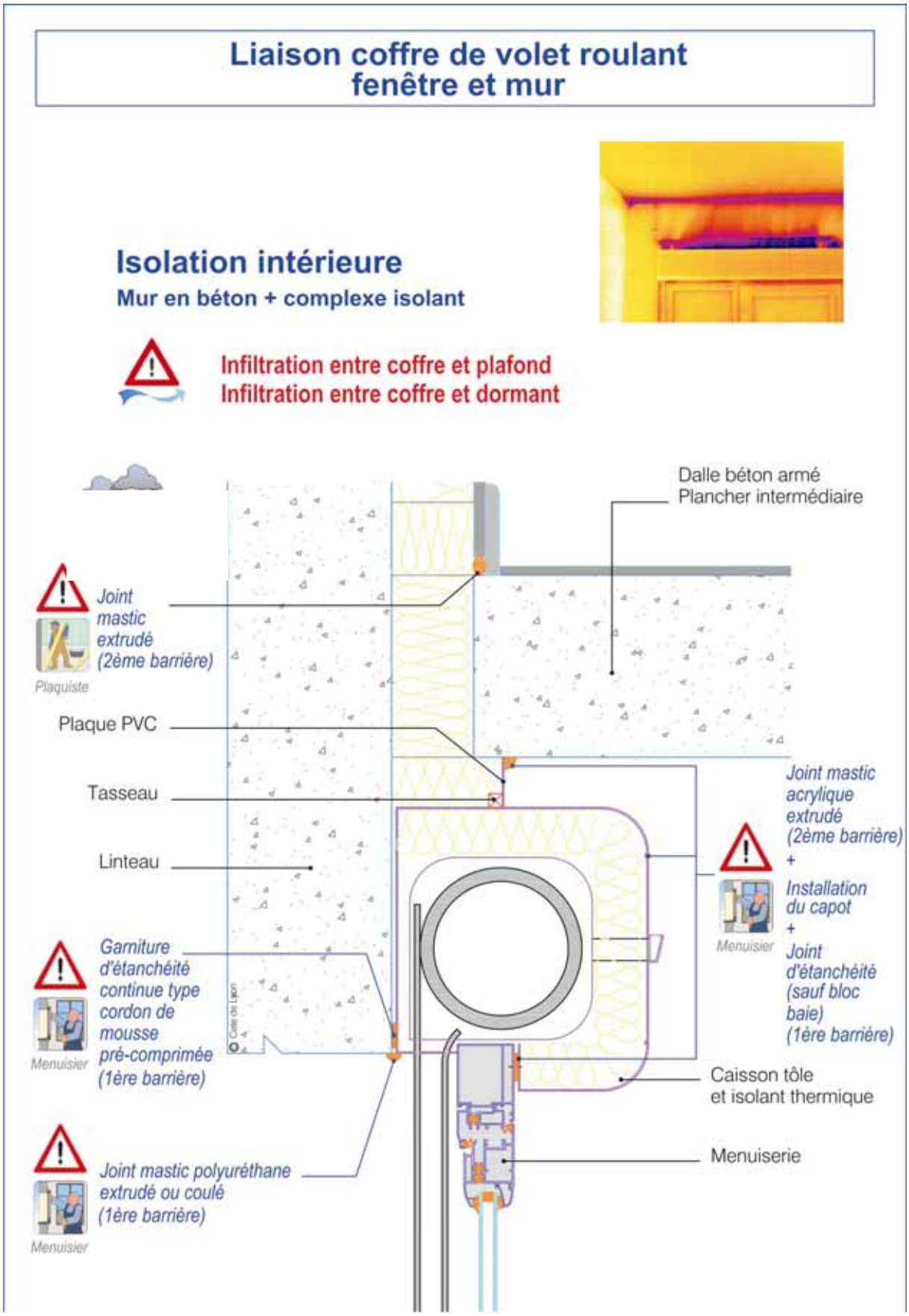


Figure 14 : Liaison coffre de volet roulant, fenêtre et mur (au niveau du linteau)

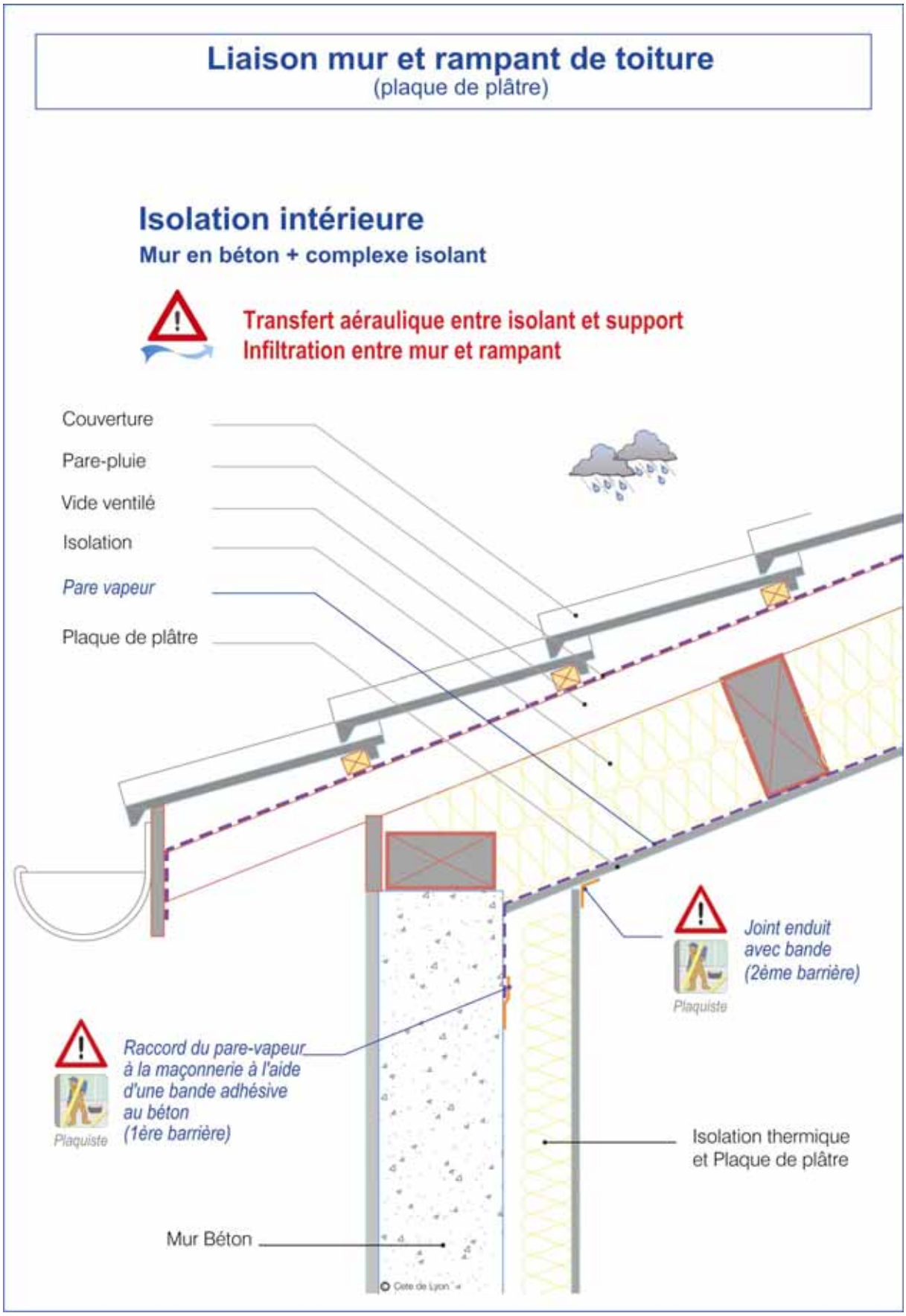


Figure 15 : Liaison mur et rampant de toiture

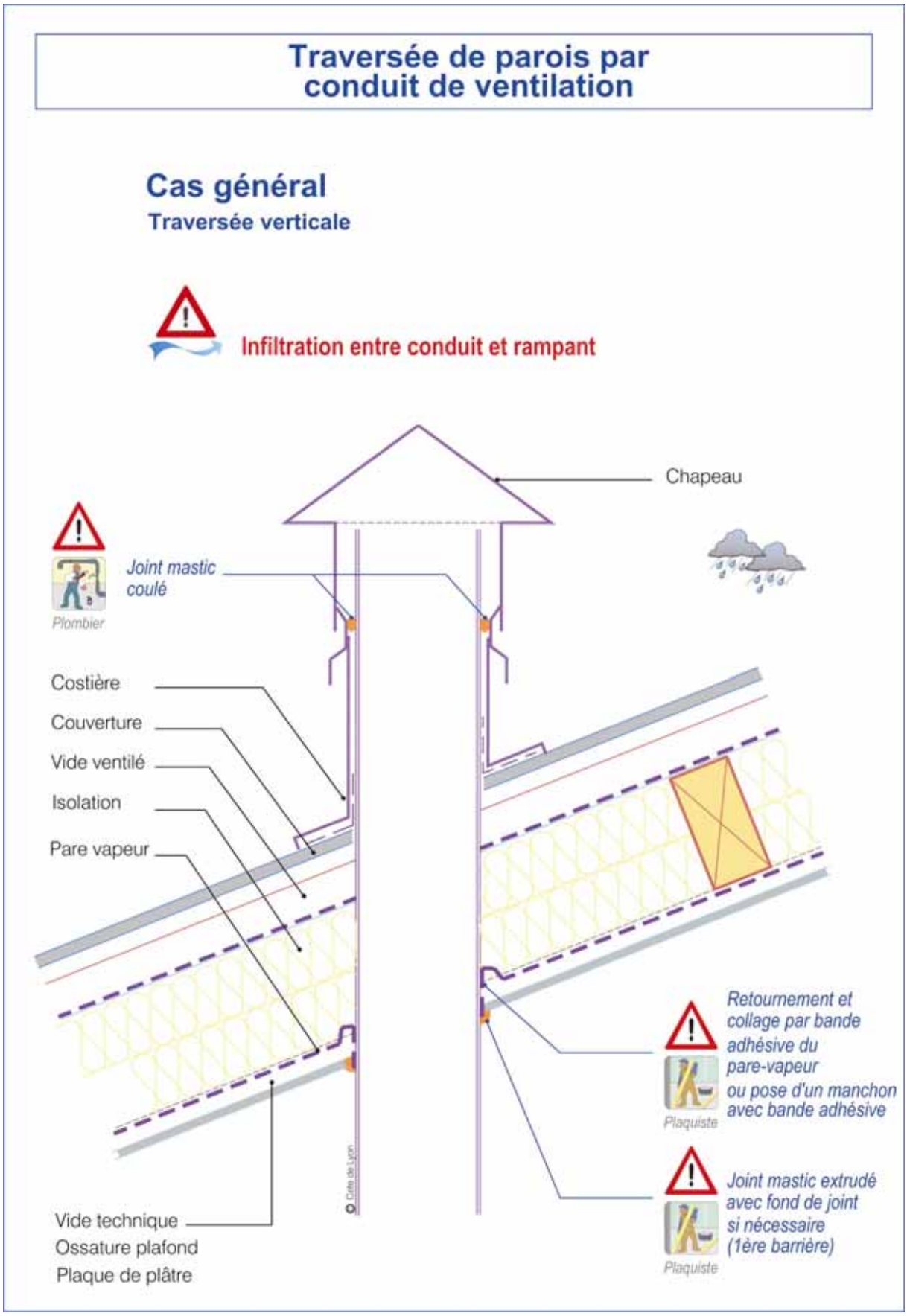


Figure 16 : Traversée de verticale de conduit en toiture

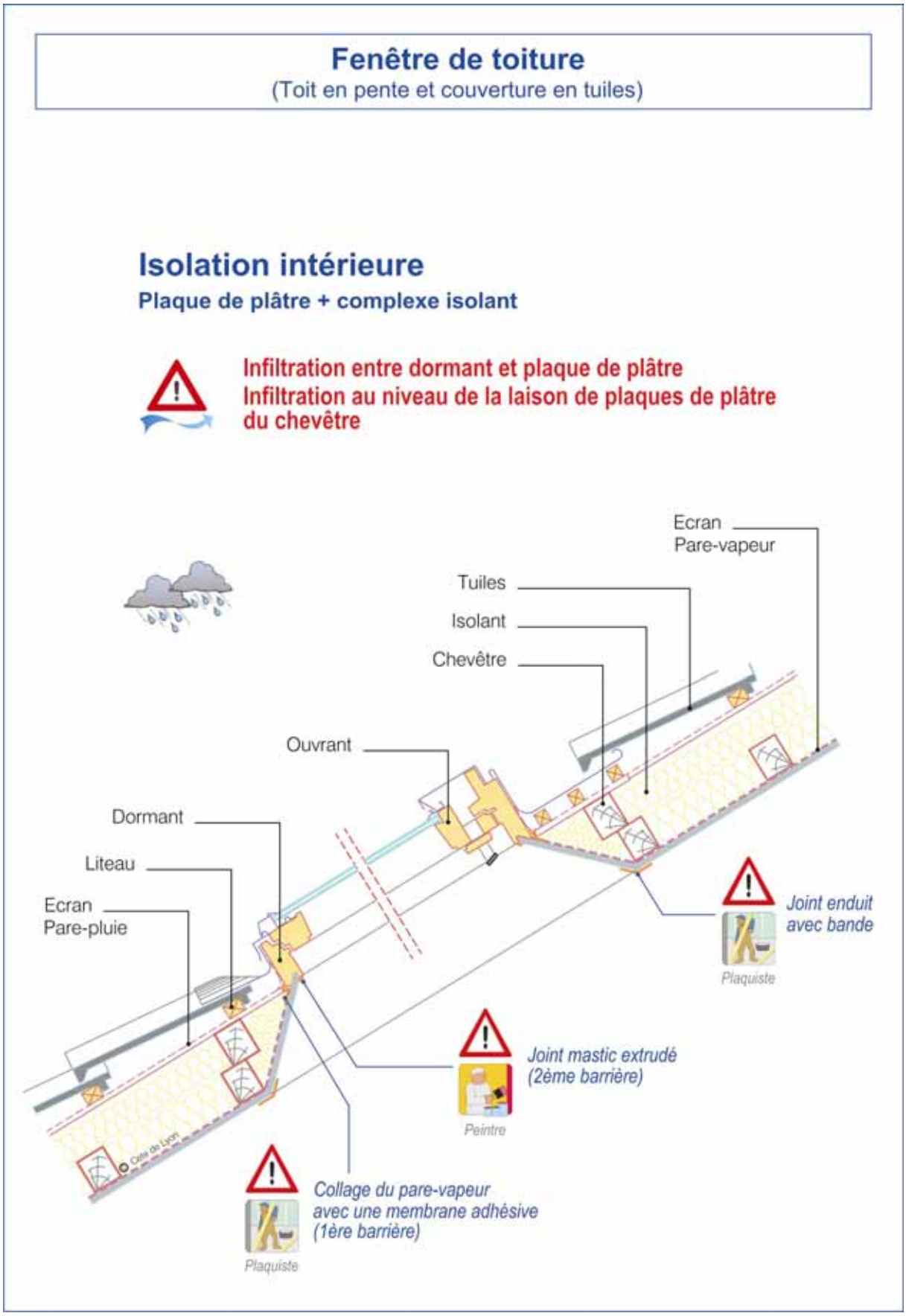


Figure 17 : Liaison fenêtre de toiture en plafond-combles

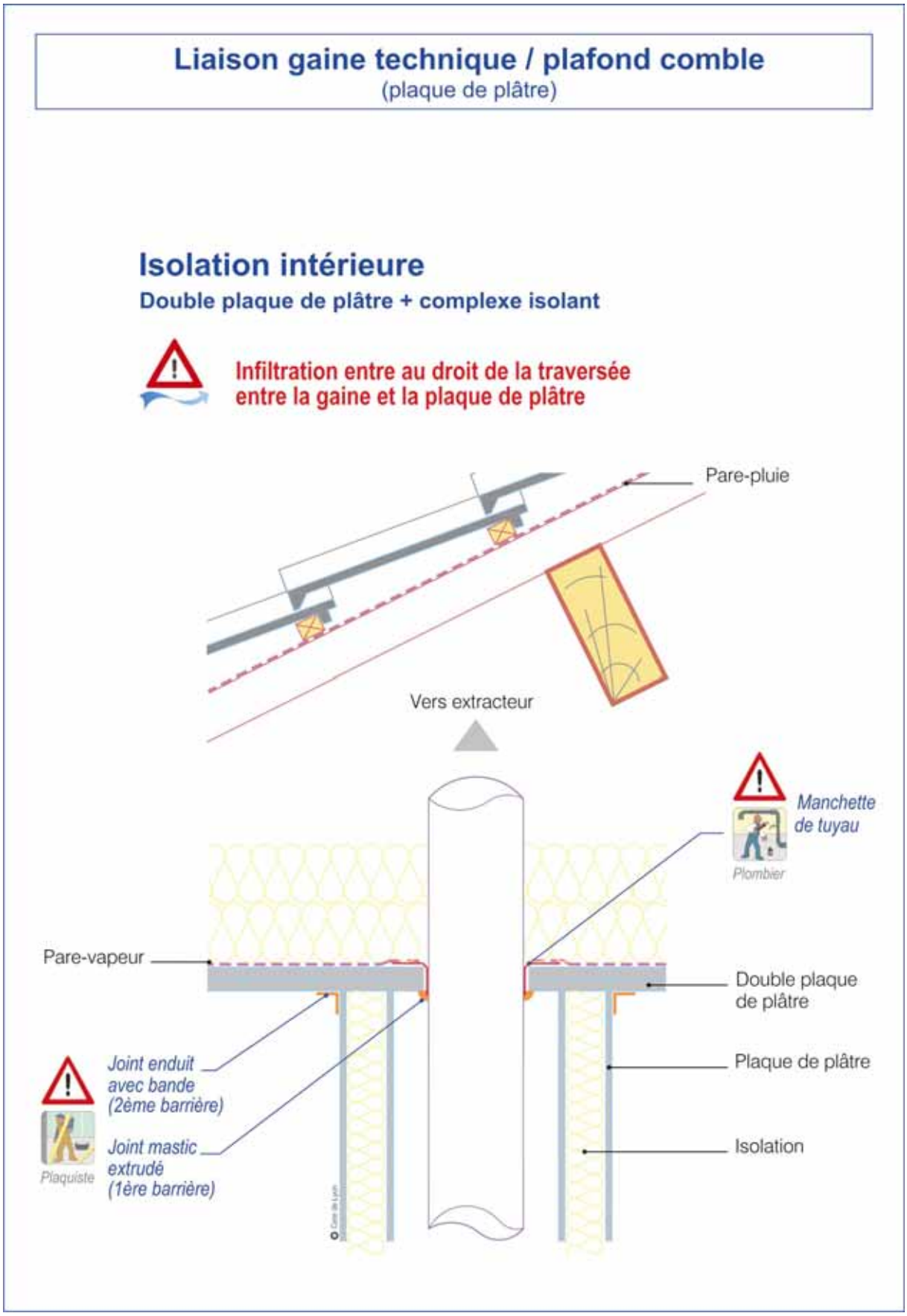


Figure 18 : Traversée de gaine technique en plafond-combles

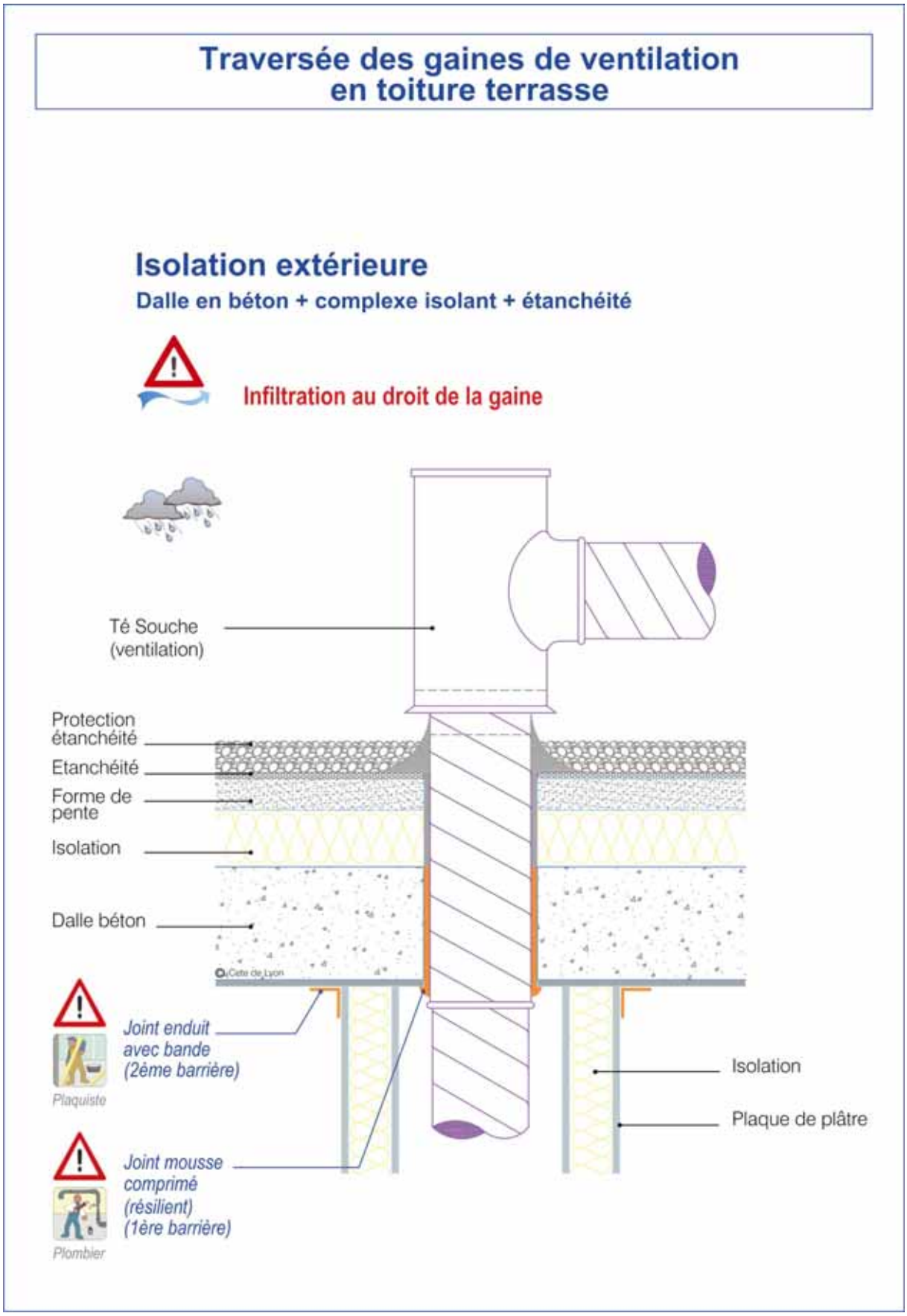


Figure 19 : Traversée de gaines de ventilation en toiture terrasse

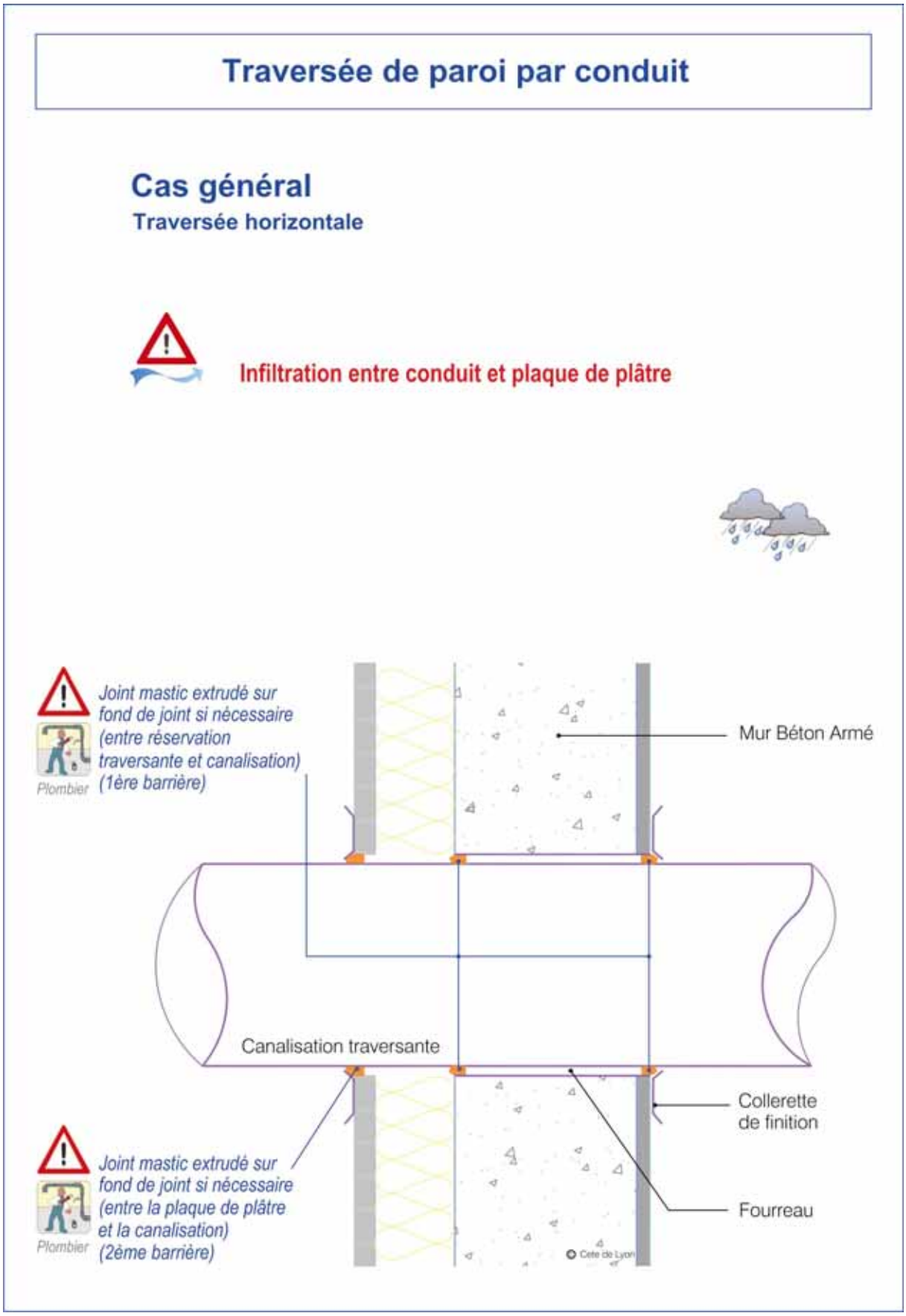


Figure 20 : Traversée horizontale de paroi par conduit

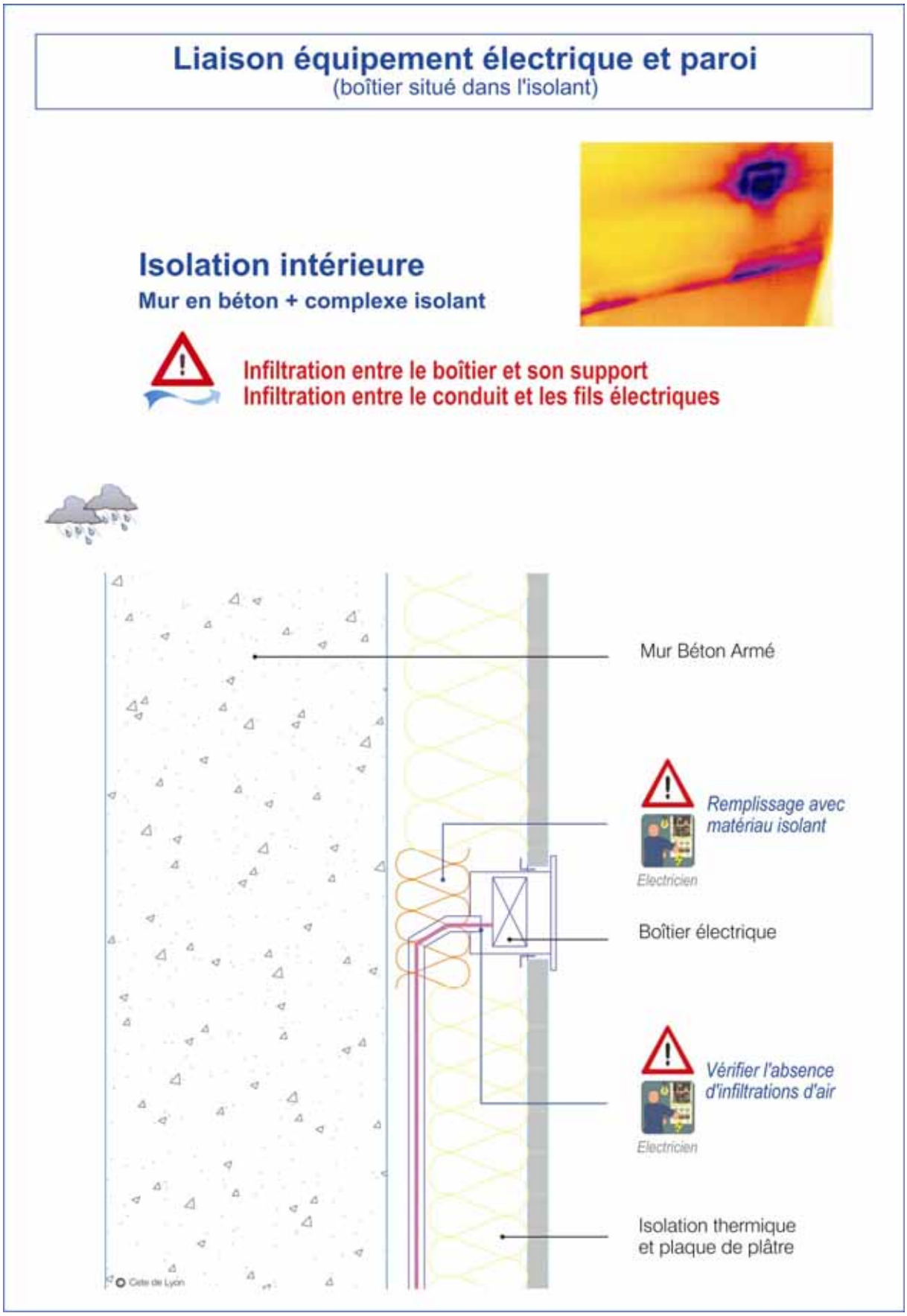


Figure 21 : Liaison équipement électrique et paroi

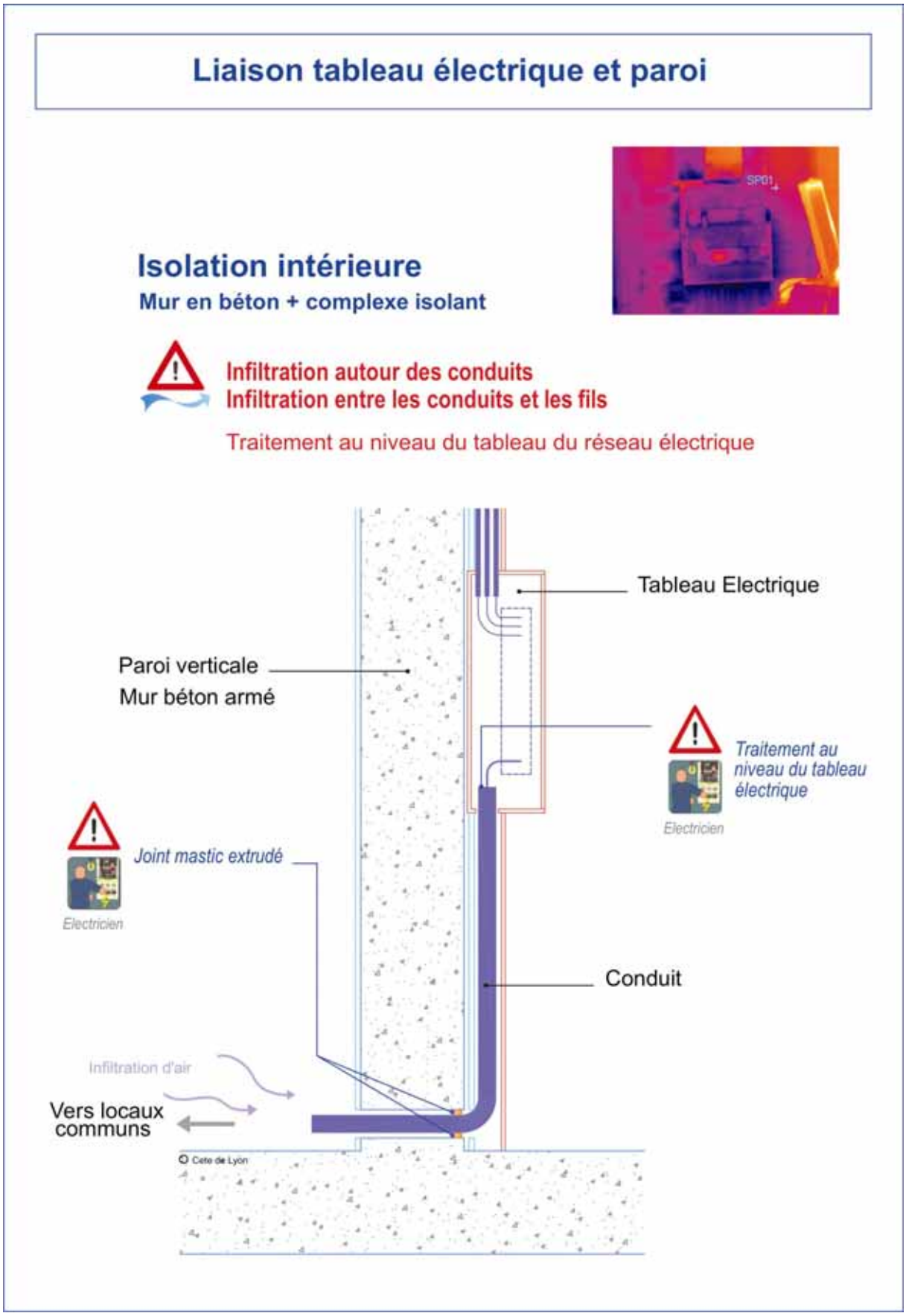


Figure 22 : Liaison tableau électrique et paroi

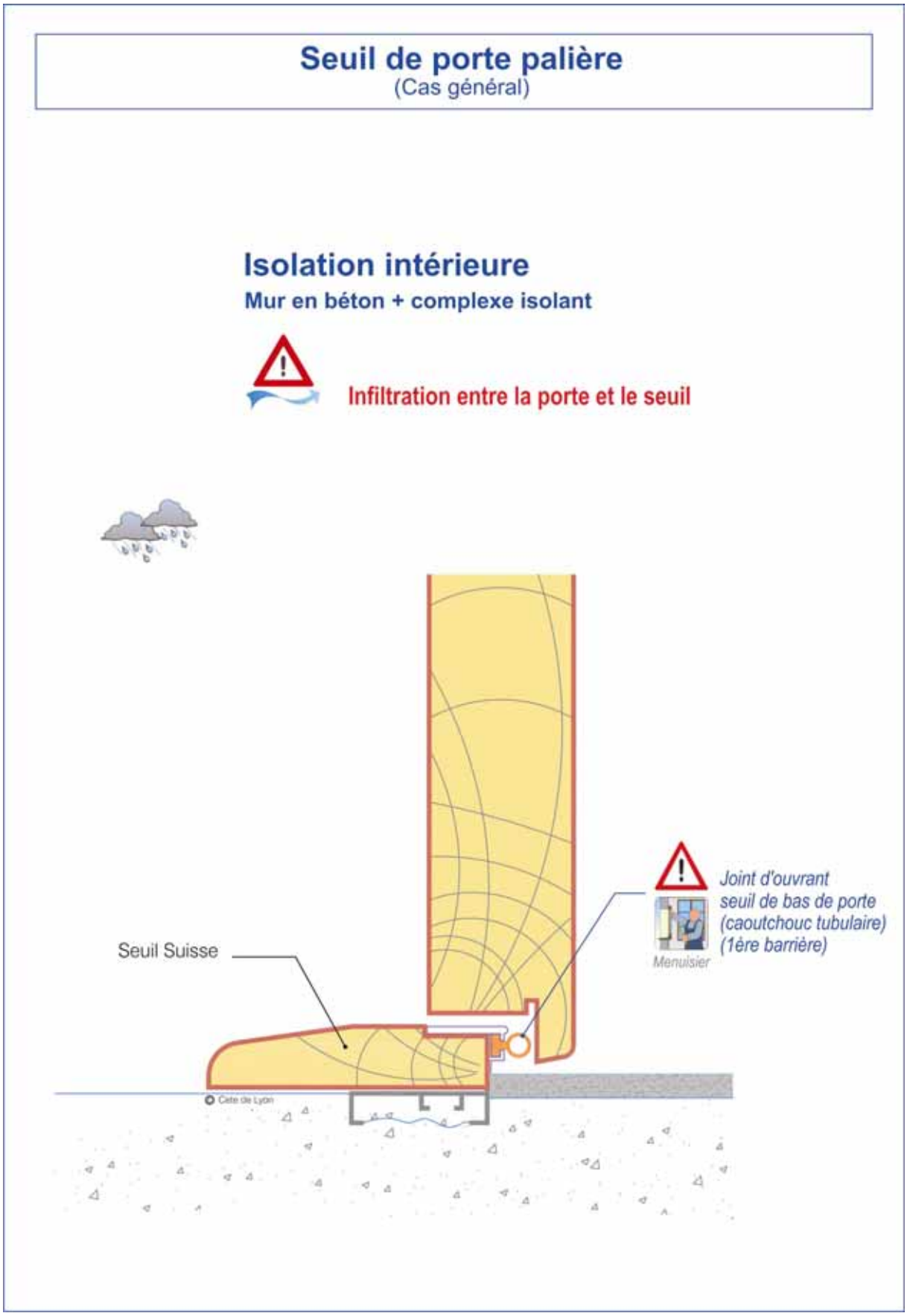


Figure 23 : Seuil de porte palière

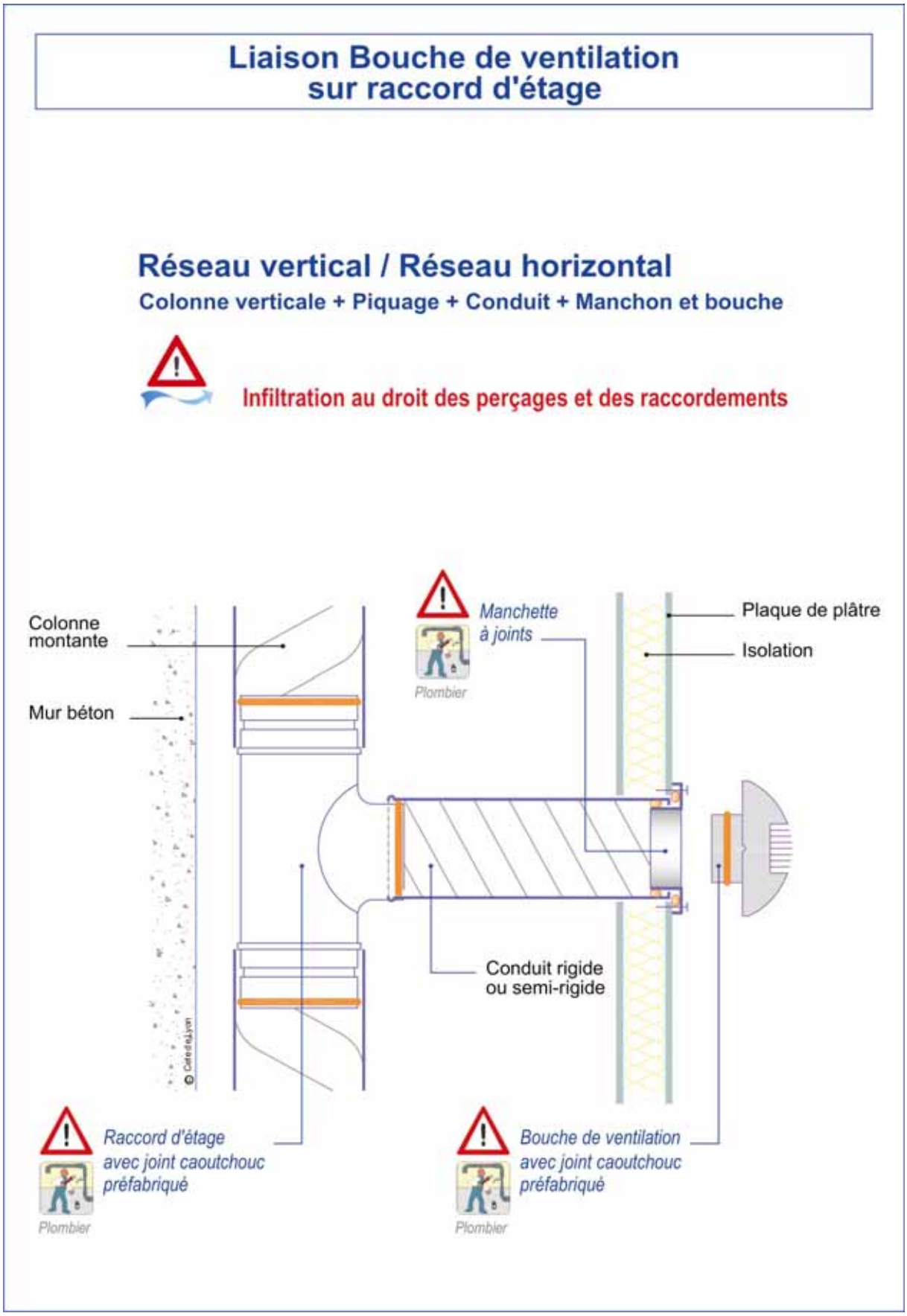


Figure 24 : Liaison bouche de ventilation

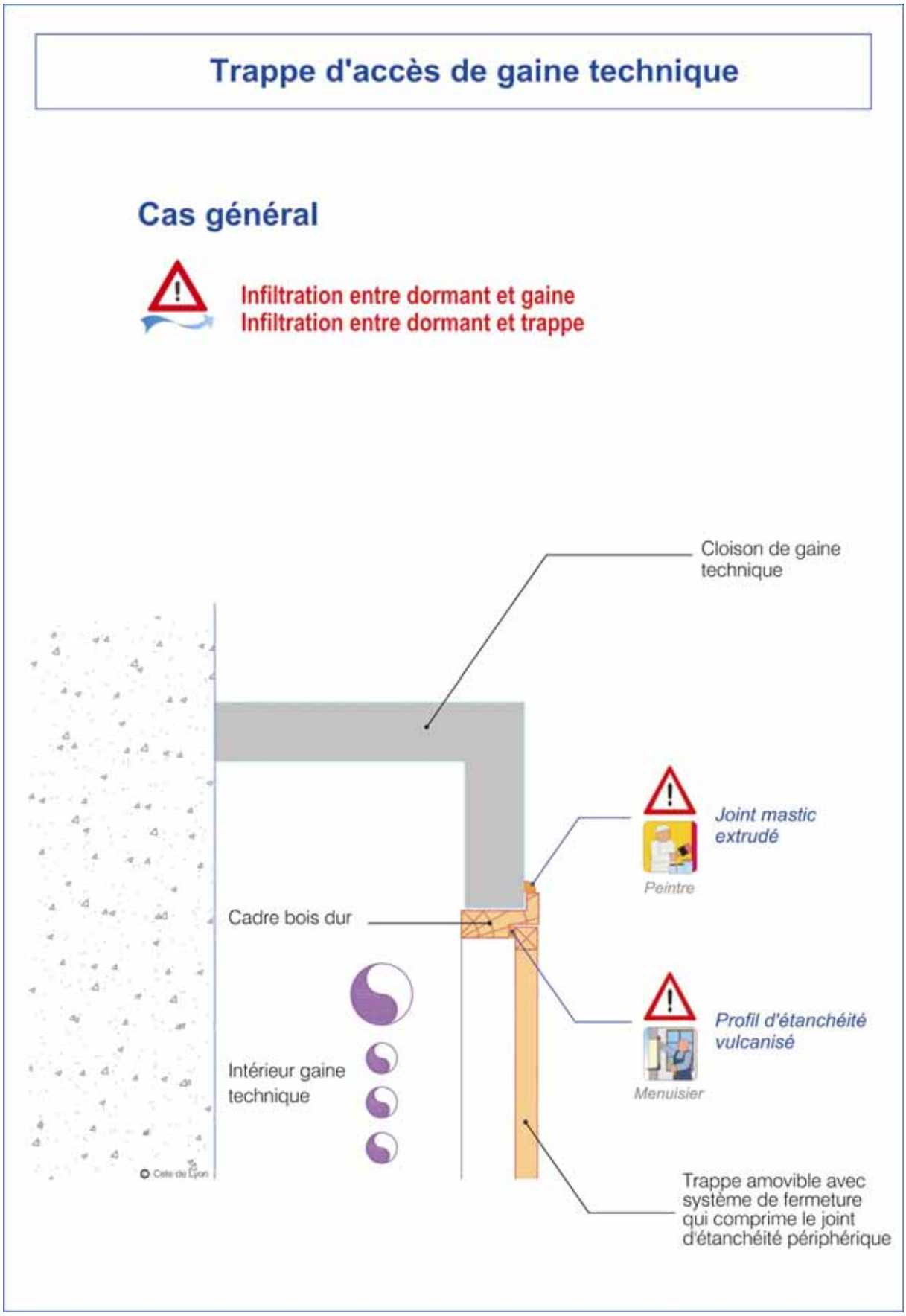


Figure 25 : Trappe d'accès de gaine technique

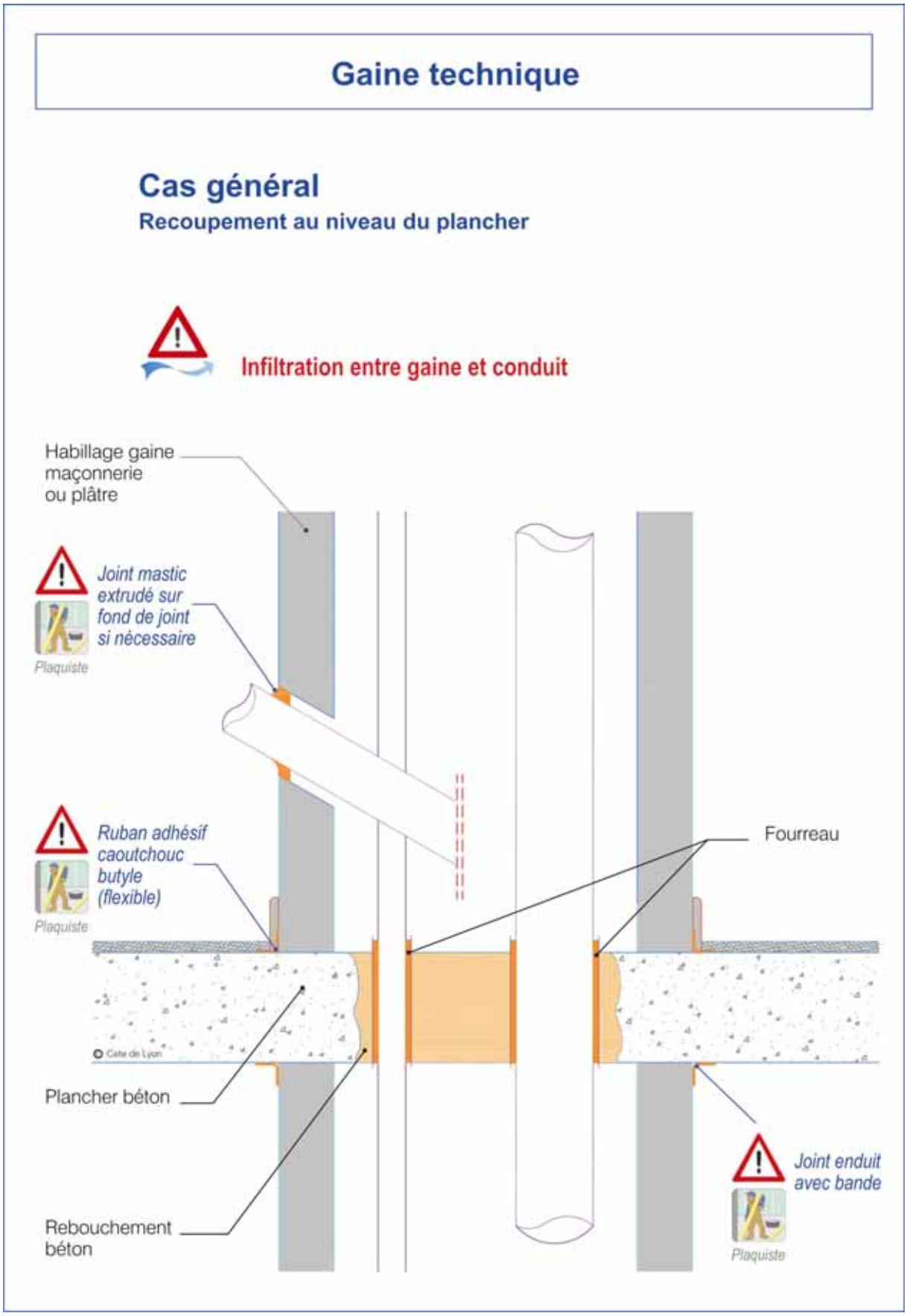


Figure 26 : Traversée de plancher par conduit

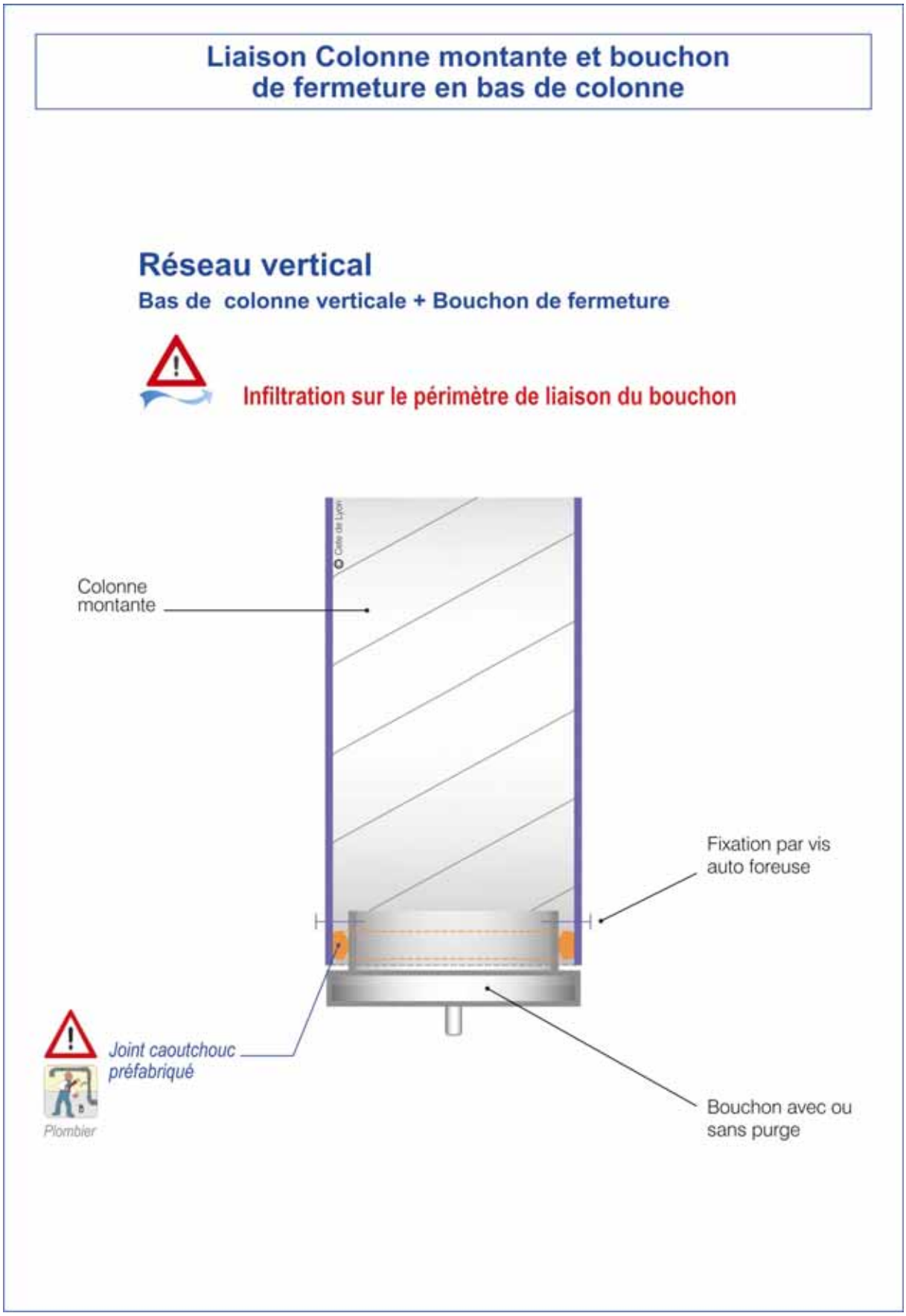


Figure 27 : Fermeture du bas de colonne

Figure 28 : Liaison Caisson de ventilation - Conduit (en toiture terrasse)

5. RESULTATS OBTENUS SUR DEUX OPERATIONS

La démarche qualité présentée dans les chapitres précédents a été mise en œuvre sur deux opérations de logements collectifs, l'une à Villeurbanne, l'autre à Paris. Son application n'a pu être totale en raison du phasage des opérations par rapport au calendrier du projet Performance. Les principaux enseignements sont résumés dans ce chapitre.

L'opération de Villeurbanne concernait 14 logements. En phase de démarrage chantier au début du projet, les exigences ont été intégrées après la consultation des entreprises. Le reste de la démarche a été adoptée au fil de l'eau grâce à la bonne volonté de l'ensemble des acteurs. A l'issue du chantier, des tests d'étanchéité ont été réalisés sur 12 logements et 8 portions de réseaux. Les résultats principaux sont représentés schématiquement en Figure 29-Figure 31. La médiane des perméabilités d'enveloppe mesurées est de 0.58 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa ou 0.85 vol/h à 50 Pa. La somme des débits de fuite à 4 Pa divisée par la surface froide des logements testés (qui correspond à la moyenne pondérée des I_4) est égale à 0.57 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa. Deux logements (référencés B42 et B61) présentent une étanchéité décevante en raison de pénétrations de l'enveloppe sous rampant. Cependant, les remèdes sont connus et ont donc été intégrés dans les carnets de détails. Globalement, le réseau aéraulique est de classe B et le débit de fuite est estimé à 3.2% du débit véhiculé par le réseau. Il ressort que les résultats sont excellents. Rappelons, à titre de comparaison, que :

- dans la réglementation thermique RT 2005, pour ce type de bâtiment et de système, la perméabilité à l'air de référence serait de 1.2 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa pour l'enveloppe (prise dans sa globalité) et de 5% pour les réseaux aérauliques. Pour le label BBC-Effinergie, l'étanchéité minimale de l'enveloppe serait de 1.0 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa ;
- l'étanchéité exigée pour le label PassivHaus est de 0.6 Vol/h à 50 Pa pour l'enveloppe (prise dans sa globalité) et de 3% pour les réseaux.

L'opération de Paris concernait 80 logements dont 19 ont été sélectionnés sur une cage d'escalier pour l'expérimentation. Les logements ont été instrumentés sur cette cage à partir du 4ème étage (sur 7), celui-ci étant en cours de construction au démarrage du projet. L'adoption de la démarche s'est révélée difficile dans ce cas. A l'issue du chantier, des tests d'étanchéité ont été réalisés sur les 19 logements et 11 portions de réseau. Les résultats principaux sont représentés schématiquement en Figure 32-Figure 34. La médiane des perméabilités d'enveloppe mesurées est de 0.90 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa ou 1.20 vol/h à 50 Pa. La moyenne pondérée des I_4 est de 0.83 $m^3/h/m^2$ à 4 Pa. Globalement, le réseau est hors classe et le débit de fuite estimé à 12.3% du débit véhiculé par le réseau. Les résultats sur cette opération sont donc décevants, plutôt mauvais pour les réseaux, et moyens pour l'enveloppe.

En somme, le contraste entre les deux opérations fait ressortir l'intérêt de l'adoption de la démarche qualité dans sa globalité et en amont pour faciliter son appropriation par les acteurs dans le processus de programmation, conception, réalisation et réception.

Concernant le coût de cette démarche, sa mise en place hors essais d'étanchéité est estimée à 832 € HT et à 528 € HT respectivement pour les opérations de Villeurbanne et de Paris (Tableau 3-Tableau 4). Ce sur-coût a été ré-évalué par l'entreprise GFC à 370 € par logement grâce à une meilleure adaptation des pratiques de chantier vis-à-vis des objectifs visés en termes d'étanchéité à l'air. Il est même estimé à 270 € HT par logement pour des bâtiments isolés par l'extérieur (Tableau 5). Ce faible sur-coût a conduit les constructeurs concernés à envisager à terme la généralisation de cette démarche à l'ensemble de leur production. Notez

que, de sa propre initiative, l'équipe travaux de l'opération Villeurbanne a d'ores et déjà systématisé cette démarche sur ses chantiers.

LOTS	PRESTATIONS	DETAILS	SURCOUT (€ HT)
ELECTRICITE	Rebouchages des fourreaux électriques	18 h d'électricien à 50 € HT	900,00 €
PLOMBERIE / VMC	Mise en place de pièces de piquage à joints + manchettes pour bouches VMC	Fourni par le partenaire industriel dans le cadre de l'expérimentation	0,00 €
PLATRERIE	Joints polyuréthanne en pieds de doublages et angles faux-plafonds en combles	8 € / ml * 201 ml	1 602,00 €
MENUISERIES EXT.	Joints d'étanchéité complémentaires		758,00 €
GROS-OEUVRE	Rebouchages étanches de gaines techniques	112h * 60 € HT (compris piquages, reprises, joints…)	6 720,00 €
			9 980,00 €

832 € HT par logement

Tableau 3. Coûts des prestations supplémentaires pour améliorer la perméabilité des réseaux et du bâti. Opération Villeurbanne.

LOTS	PRESTATIONS	DETAILS	SURCOUT (€ HT)
ELECTRICITE	Obturation des fourreaux en gaine		1 137,30 €
PLOMBERIE / VMC	Colonnes avec accessoires à joints	Fourni par le partenaire industriel dans le cadre de l'expérimentation	0,00 €
MENUISERIES EXT.	Pose de joints ILLBRUCK expansifs sur 15 châssis au R+7 et R+8	2 étages x 15 châssis x 4€	120,00 €
CLOISONS DOUBLAGES	Tasseaux sous les doublages et calfeutrement autour des sorties de gaines	4 x 500€ 1 780 €	3 780,00 €
ENCADREMENT TRAVAUX	Suivi et contrôle des prestations, réunions et visites (environ 6 jours)		5 000,00 €
			10 037,30 €

528 € HT par logement

Tableau 4. Coûts des prestations supplémentaires pour améliorer la perméabilité des réseaux et du bâti. Opération Paris.

LOTS	PRESTATIONS	DETAILS	SURCOUT (€ HT)
ELECTRICITE	Rebouchages des fourreaux électriques	1h d'électricien à 50 € HT	50,00 €
PLOMBERIE / VMC	Mise en place de pièces de piquage à joints	30 € HT par colonne	90,00 €
	Manchettes de raccordement pour bouches	5 € / manchettes	20,00 €
PLATRERIE	Bandes à joints en pieds de doublages	5 € / ml * 20 ml	100,00 €
PEINTURE	Joints d'étanchéité complémentaires au mastic acrylique autour des menuiseries ext.	10 € / menuiseries	70,00 €
GROS-OEUVRE	Rebouchages étanches de gaines techniques	Surqualification du personnel affecté aux rebouchages (+5 € HT * 8h)	40,00 €
			370,00 €

370 € HT par logement

Nota :
Il convient de prendre en considération que les bâtiments à venir seront isolés par l'extérieur. Le poste d'étanchéité en pied de doublage sera donc supprimé, ramenant le surcoût à **270 € HT / logement**

Tableau 5. Coûts des prestations supplémentaires pour améliorer la perméabilité des réseaux et du bâti prévisibles à l'avenir. Suite aux enseignements sur l'opération Villeurbanne.

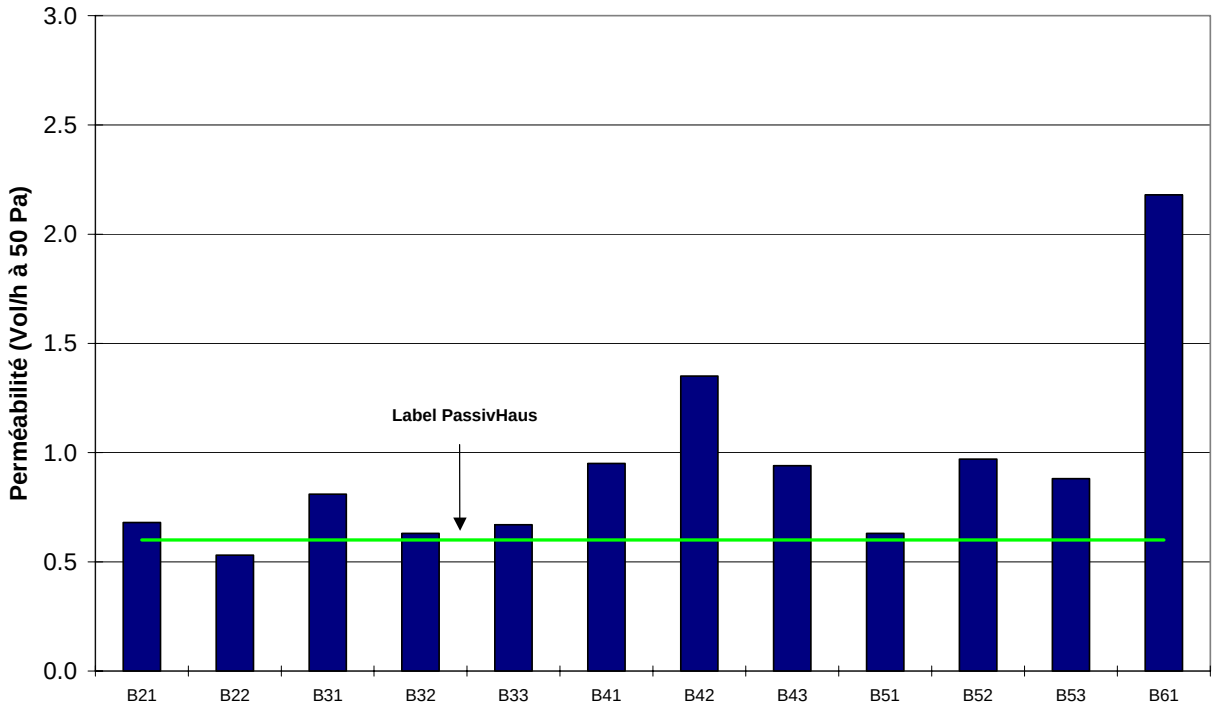


Figure 29 : Perméabilités à l'air des logements mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application de la démarche qualité. Opération Villeurbanne.

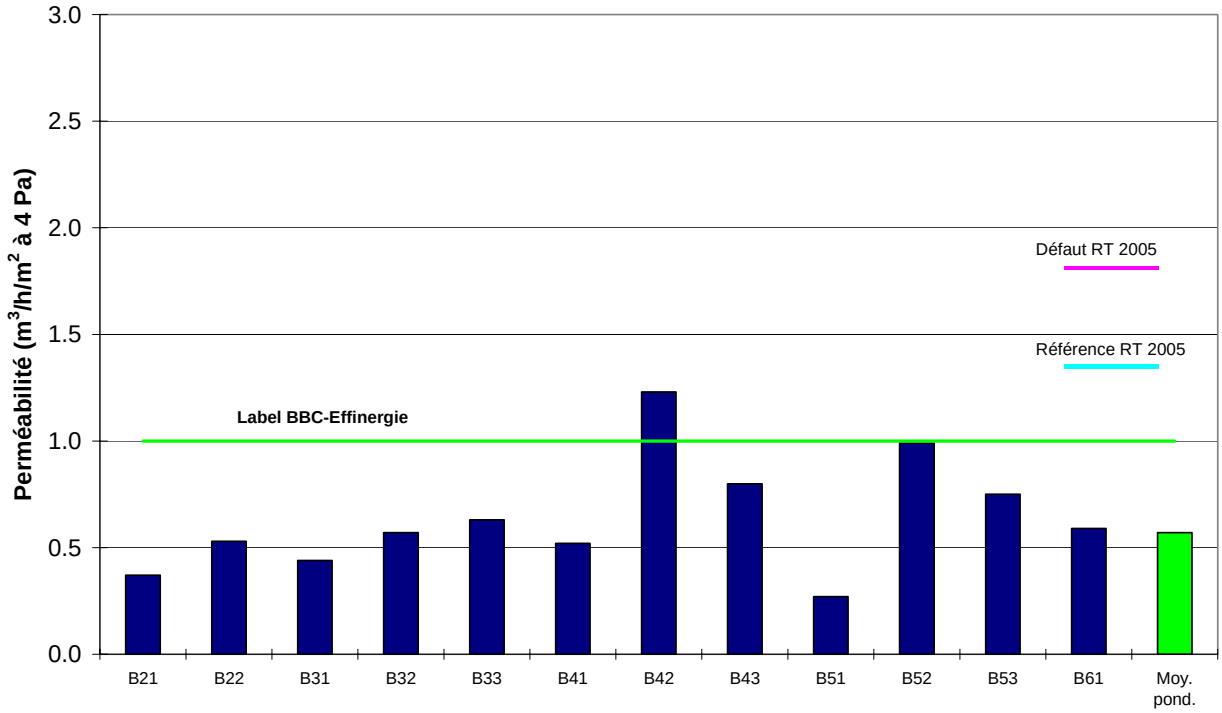


Figure 30 : Perméabilités à l'air des logements mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application de la démarche qualité. Opération Villeurbanne.

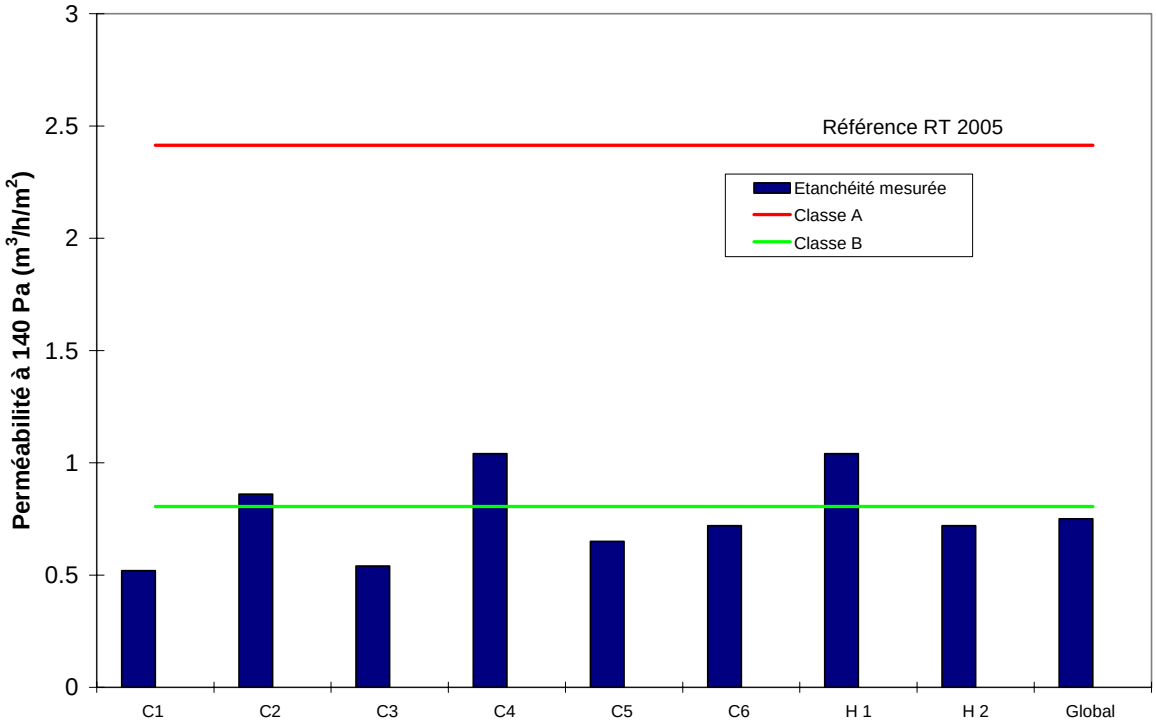


Figure 31 : Perméabilités à l'air des réseaux mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application de la démarche qualité. Opération Villeurbanne.

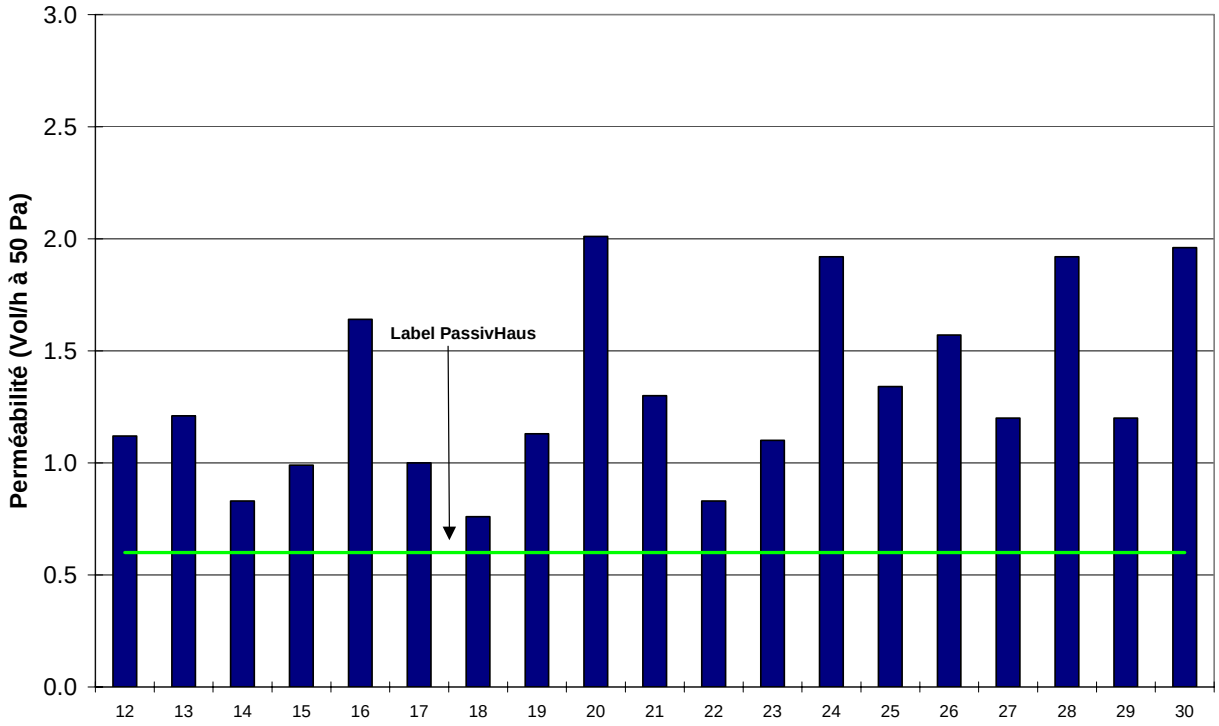


Figure 32 : Perméabilités à l'air des logements mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application partielle de la démarche qualité. Opération Paris.

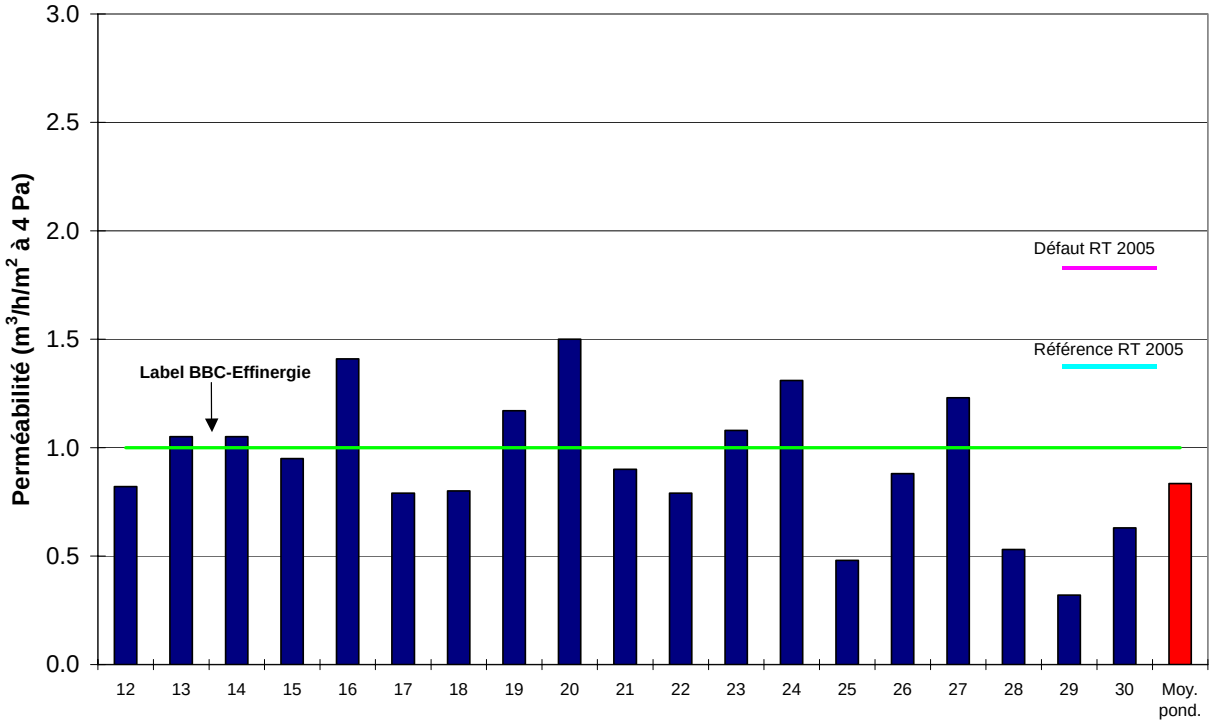


Figure 33 : Perméabilités à l'air des logements mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application partielle de la démarche qualité. Opération Paris.

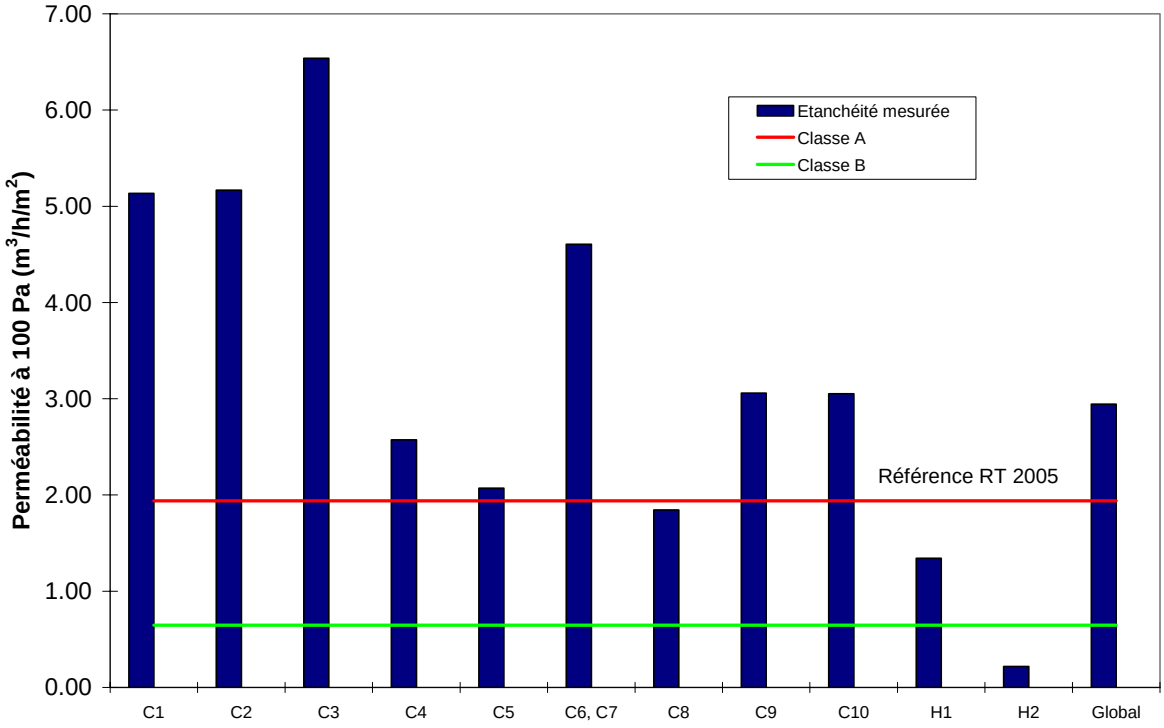


Figure 34 : Perméabilités à l'air des réseaux mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application partielle de la démarche qualité. Opération Paris.

6. RECOMMANDATIONS PRATIQUES POUR LES INSTALLATEURS DE SYSTEMES DE VENTILATION

Les paragraphes suivants relatifs à l'analyse des fuites aérauliques ainsi qu'aux procédures à adopter pour améliorer la mise en œuvre des réseaux aérauliques ont été rédigés à partir d'analyses bibliographiques et d'enquêtes menées auprès d'une dizaine de professionnels tels que des installateurs et des bureaux d'études. Ces entretiens ont été menés par le COSTIC notamment auprès d'entreprises de l'Union Climatique de France.

Rappelons en préalable que la ventilation est essentielle tant pour l'occupant que pour le bâtiment car elle permet :

- D'assurer le confort et l'hygiène des occupants en introduisant de l'air neuf et en évacuant l'air intérieur vicié ;
- D'assurer l'alimentation en air neuf des appareils à combustion et ainsi éviter les risques d'intoxication par le monoxyde de carbone ;
- De limiter les condensations et moisissures qui dégradent le bâtiment et la qualité de l'air intérieur.

Un système de ventilation mécanique est constitué d'une multitude de composants récapitulés en Figure 35. Nous récapitulons et illustrons ci-après les principaux points où une vigilance accrue est nécessaire en vue d'améliorer l'étanchéité du réseau.

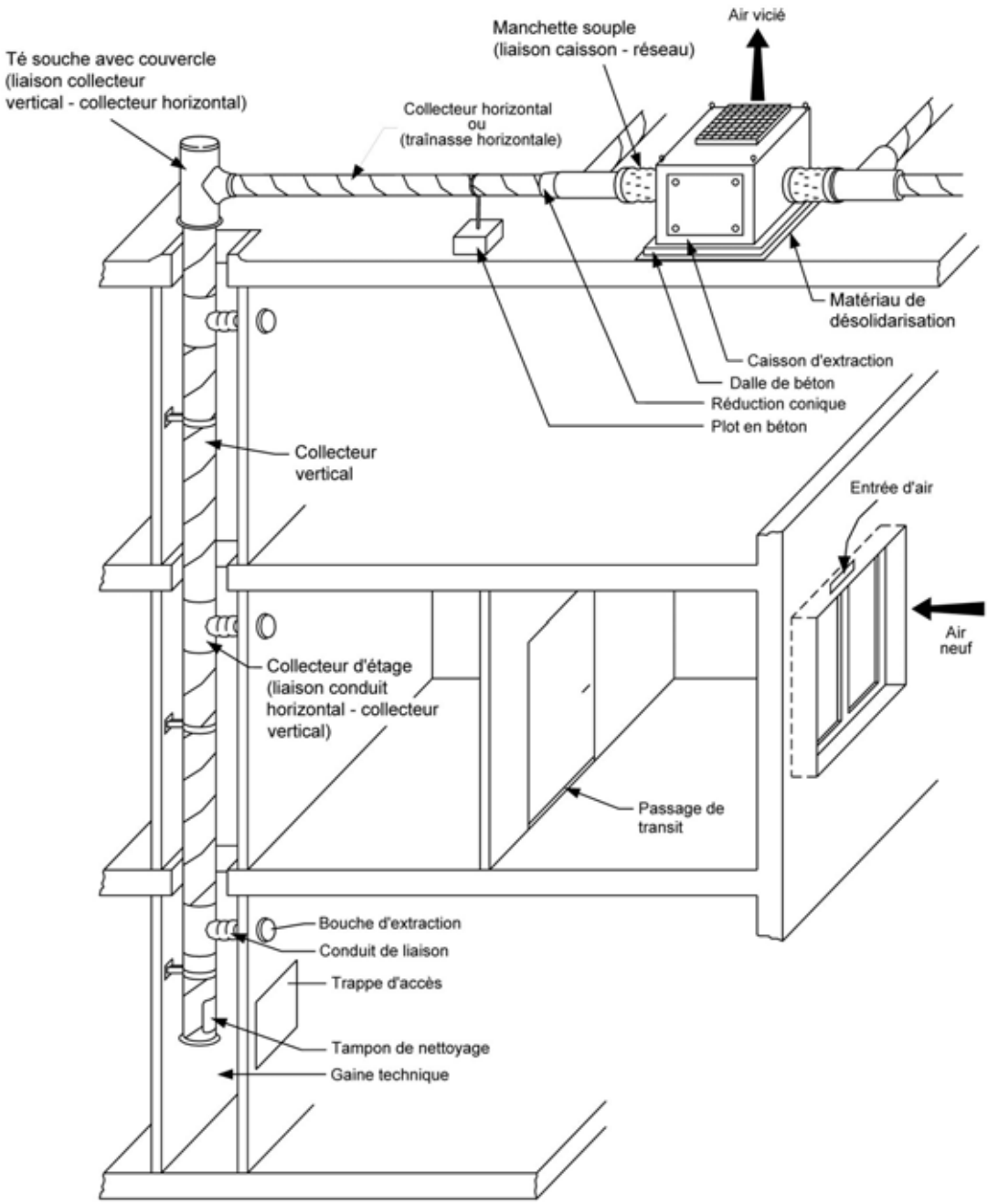
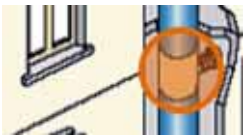


Figure 35 : Composants d'un système de ventilation

6.1. Raccordement entre conduits et au niveau des bouches



Raccordement bouches de ventilation / conduit liaison

Le raccordement bouches de ventilation / conduit de liaison est un des points les plus sensibles vis-à-vis d'une bonne étanchéité à l'air. Le conduit de liaison permet d'assurer le lien entre la bouche d'extraction et le collecteur vertical. Selon sa longueur, le conduit de liaison sera flexible ou rigide. Il peut être flexible si sa longueur n'excède pas 1,5 m. Dans tous les cas, il faut minimiser au maximum la longueur du conduit semi-flexible. La mise en œuvre de la bouche d'extraction au niveau du conduit de liaison doit se faire de préférence par l'intermédiaire d'une manchette rigide comme indiqué en Figure 36.

La bouche est fixée sur le conduit de liaison à l'aide d'une manchette :

- de type classique. Dans ce cas, le conduit flexible est fixé sur la manchette avec une colle spécifique pour assurer l'étanchéité et la tenue de l'ensemble.
- de type à joint. Celui-ci permet d'assurer la tenue et l'étanchéité entre la manchette de raccord de la bouche et le conduit de liaison, sans action spécifique (ex. colle)

Il est nécessaire d'avoir la **manchette rigide adaptée à la bouche d'extraction considérée**. Cette information (livraison bouches d'extraction et manchettes associées) doit être précisée au niveau du CCTP et être un point de vigilance de la part de la maîtrise d'œuvre. Une mauvaise livraison de la manchette ou encore une manchette non adaptée obligent à une solution d'improvisation sur le chantier. Des manchettes « standards » adaptables à une multitude de composants pourraient être une solution pour remédier en partie au problème. **En tout cas, il est nécessaire d'avoir un conduit de liaison en parfait état et d'une longueur suffisante.**

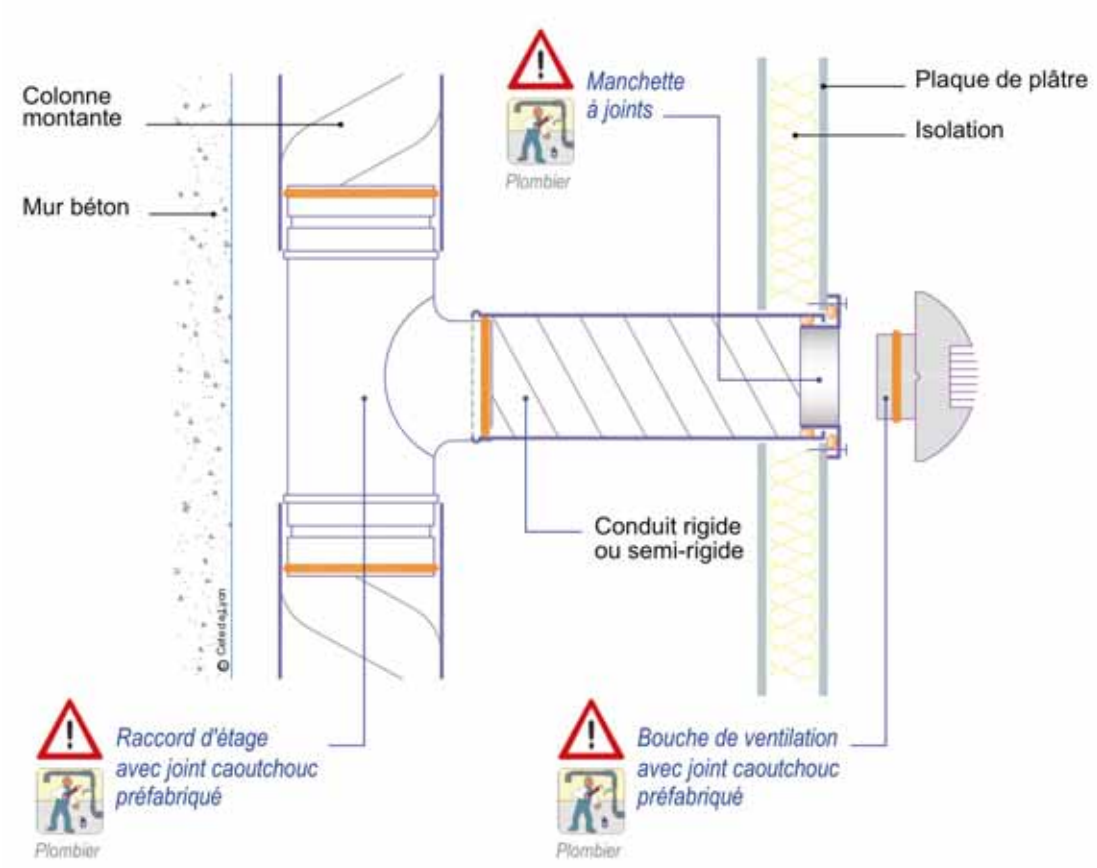
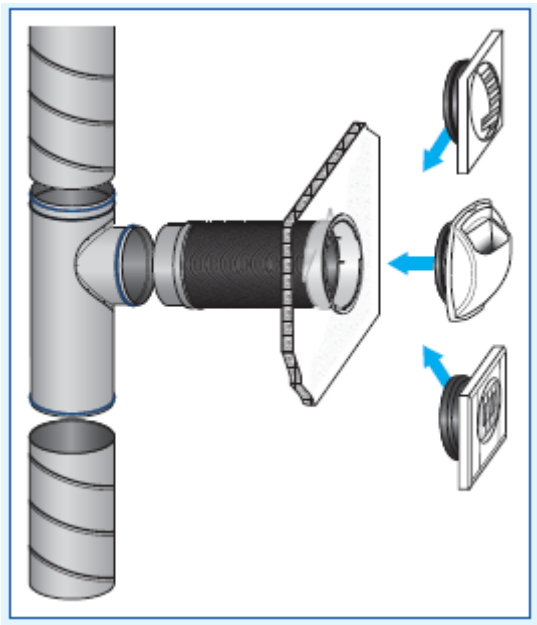


Figure 36 : Schéma de principe de la liaison conduit-bouche



Liaison flexible « tout-en-un » (schéma ALDES)

Représentation de l'ensemble bouche-manchette-conduit (schéma ANJOS)

Figure 37 : Exemples de produits de raccordement bouches de ventilation / conduit liaison

Figure 38 : Exemples de manchettes rigides avec joint. Photo ALDES (à gauche) et schéma ANJOS (à droite).

Raccordement conduit liaison / collecteur vertical (raccord d'étage)

Le raccord d'étage permet d'assurer la liaison entre le collecteur vertical et les conduits horizontaux de liaison avec les bouches d'extraction. Trois cas sont possibles :

Cas n° 1 : Utilisation de pièces préfabriquées en usine avec joint préfabriqué (un collecteur d'étage, cf. Figure 39).
Cette solution est recommandée car elle permet, en théorie, d'atteindre à la fois d'excellents niveaux d'étanchéité et un gain de temps. L'utilisation d'accessoires à joints dispense d'utiliser du mastic et du ruban adhésif pourvu que les conduits soient en bon état. En revanche, pour assurer une bonne résistance mécanique, il est nécessaire de parfaire la fixation avec des rivets et ce, notamment dans le cas des conduits de diamètres supérieurs à 250 mm – 315 mm (conduits plus facilement abîmés lors du transport et du stockage). Les rivets ne doivent pas percer les joints.

Figure 39 : Exemples de raccords d'étage avec joints préfabriqués

Cas n° 2 : Utilisation de pièces préfabriquées en usine sans joint préfabriqué (Figure 40).
Le mastic doit être placé sur tout le pourtour de la pièce mâle. L'utilisation conjointe de mastic, vis autoperforantes et bande adhésive permet d'assurer un bon niveau d'étanchéité de ce raccord.

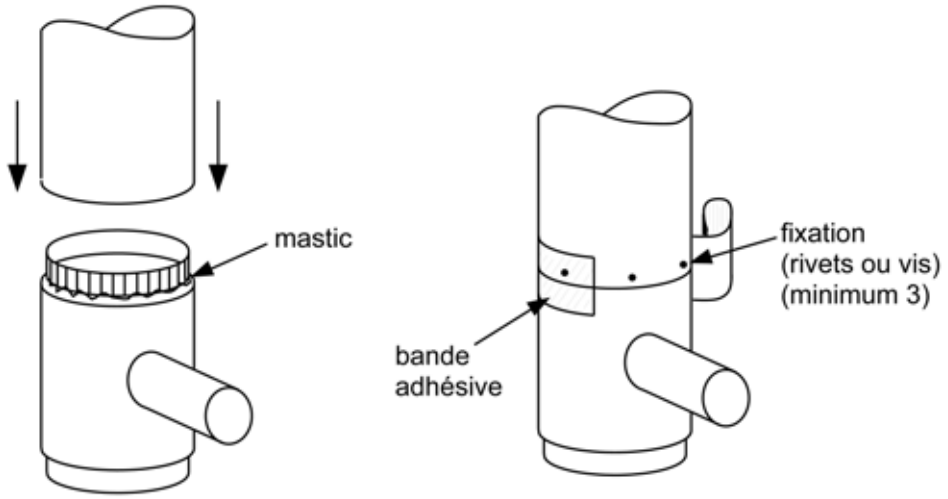


Figure 40 : Réalisation d'un raccord d'étage avec une pièce préfabriquée sans accessoire à joints

Cas n° 3 : Utilisation du conduit vertical dans lequel est réalisé un piquage (pas d'utilisation de pièces préfabriquées en usine, cf. Figure 41).
A défaut, la réalisation d'un piquage express, à la place du collecteur d'étages, nécessite une mise en œuvre soignée pour éviter tout problème de fuites. Ainsi, il est nécessaire de procéder comme suit :

- découper proprement la colonne **au même diamètre** que le piquage avec une grignoteuse (1) ;
- fixer le piquage sur la colonne avec des vis auto-perforeuses ou des rivets (2) ;
- étanchéifier le raccord en appliquant du mastic sur tout le pourtour du raccord (2).

Il est primordial que le piquage soit d'un diamètre identique au diamètre de la pièce mise en place sur ce piquage : un diamètre inadapté provoquera des fuites ou/et des pertes de charge supplémentaires.

La réalisation d'un piquage peu soigné entraîne :

- une augmentation des pertes de charge ;
- une augmentation des fuites au niveau du réseau aéraulique ;
- une accumulation de la poussière à cet endroit.

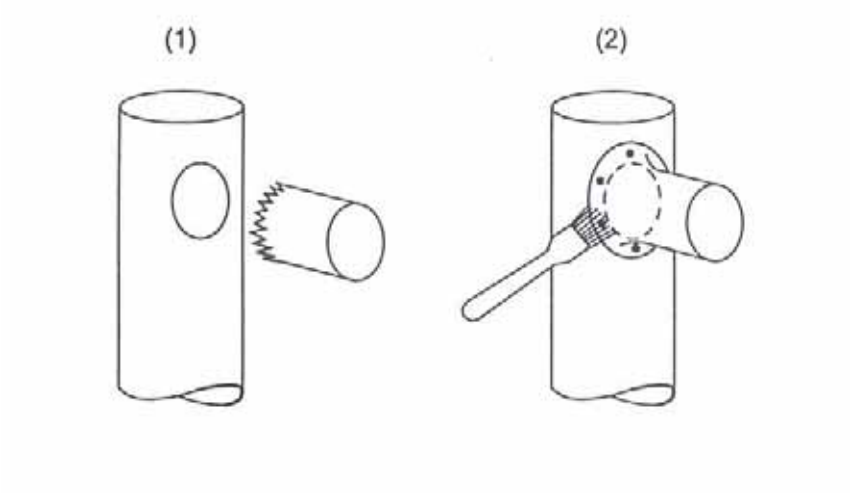


Figure 41 : Procédure de réalisation d'un piquage express

Figure 42 : Exemple de raccord par piquage d'apparence correcte (à gauche), peu soigné (à droite)

Raccordements entre conduits aérauliques

Pour raccorder entre eux les conduits aérauliques, il faut privilégier l'utilisation de pièces préfabriquées avec accessoires à joints : raccord mâle-mâle, coude, etc. Ils permettent d'atteindre d'excellents niveaux d'étanchéité (classe B voire C) et sont faciles à poser. Une légère rotation de l'accessoire dans le conduit permet de l'introduire sans effort. L'utilisation de mastic et de bandes adhésives n'est pas nécessaire. Les raccords utilisant des accessoires à joints permettent de réduire le temps de réalisation du réseau aéraulique.

A défaut, ce raccordement peut se faire avec du mastic, vis autoperforantes et bande adhésive. Moyennant une mise en œuvre soignée et un bon conditionnement des conduits, ces deux techniques permettent d'assurer une bonne étanchéité des raccords.

Enfin, l'étanchéité des raccordements peut aussi être obtenue via l'utilisation de bandes thermo-rétractables. Cette technique nécessite d'utiliser un chalumeau afin de chauffer toute la périphérie du conduit pour faire adhérer la bande. En raison de problèmes d'accessibilité

dans les gaines techniques, cette solution s'applique plus pour la réalisation des conduits horizontaux (conduits de petits diamètres).

Figure 43 : Utilisation d'un raccord mâle à joints pour le raccordement entre deux conduits

Figure 44 : Utilisation d'une pièce préfabriquée pour le raccord entre deux conduits (mise en place de mastic, rivets et bande adhésive)

6.2. Traversée de plancher

La traversée de plancher d'un réseau aéraulique nécessite la mise en place sur **la totalité du conduit circulaire** d'un joint de traversée de dalle (résiliant) dépassant légèrement de part et d'autre de la dalle ou du mur traversé. Ce résiliant a une épaisseur comprise entre 2 mm et 3 mm au minimum. Ce joint à base de caoutchouc naturel, de classe M0, permet de désolidariser la dalle du conduit et ainsi éviter tout problème sur le réseau lors des phases de dilatation du béton. Après mise en place d'un coffrage de rebouchage, la réservation est ensuite rebouchée sur toute l'épaisseur.

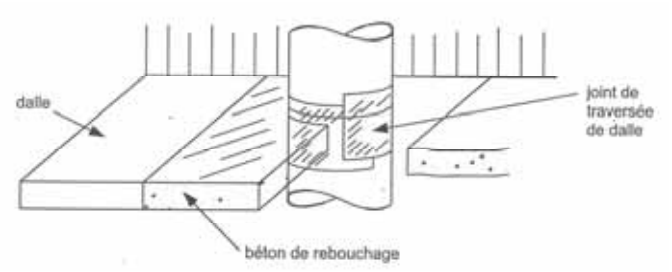


Figure 45 : Traversée de dalle

6.3. Stabilité du réseau

Une mauvaise réalisation du support du collecteur vertical peut entraîner, à plus ou moins long terme, des mouvements de conduits avec craquelure du mastic, déboîtement des conduits, etc. Ainsi, le supportage avec des **feuillards perforés est à éviter pour la fixation des réseaux verticaux**. Cette fixation manque de rigidité et de stabilité pour ces réseaux. La solution à préconiser pour la fixation de réseaux verticaux repose sur l'utilisation de tige filetée rigide avec mise en place d'un collier. Ce collier peut être associé à un isolant anti-vibratile. En plus de maintenir le réseau aéraulique, cette préconisation évite de transmettre les vibrations aux cloisons voisines. Egalement, une autre solution pour minimiser la propagation de bruit est de mettre une patte de suspension anti-vibratile entre le collier et la tige filetée rigide.

La fixation de réseaux horizontaux peut être réalisée via l'utilisation de feuillard.

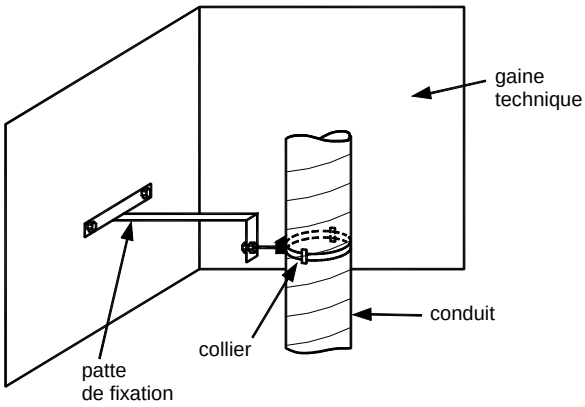


Figure 46 : Illustration du supportage d'un réseau collecteur vertical

6.4. Raccordement au ventilateur

Le raccordement entre caisson d'extraction et collecteur horizontal doit être réalisé par l'intermédiaire d'une manchette souple afin d'éviter la transmission des vibrations du ventilateur au conduit. Pour assurer son rôle de désolidarisation entre les composants, **la manchette peut être fixée par l'intermédiaire de colliers plats métalliques de serrage**. Ces colliers doivent être de diamètre et de largeur suffisants adaptés au diamètre à assembler. Une bande adhésive (de type alu si réseau extérieur) peut être posée au niveau des liaisons pour parfaire l'étanchéité de l'ensemble (Figure 47). S'agissant d'une liaison mécanique, la manchette souple va amortir les vibrations du caisson. Ainsi, le mastic n'est pas préconisé pour assurer cette liaison.

Il faut également veiller à ce que la manchette souple ne soit pas vrillée, froissée et qu'elle soit bien alignée entre le caisson et le réseau aéraulique. Pour cela, **il est impératif d'avoir une section constante de part et d'autre de la manchette**. Une pièce d'adaptation doit être utilisée si nécessaire.

Une autre solution consiste à utiliser des éléments préfabriqués. Ces produits remplissent les mêmes fonctions tout en garantissant une bonne étanchéité des liaisons.

Placée à l'extérieur, la manchette souple se détériore en raison du soleil (UV) et des variations de température extérieure. Dans ces conditions, sa durée de vie est estimée à 1,5-2 ans maximum. En conséquence, ce composant devrait être remplacé (ou a minima vérifié) lors des visites périodiques d'entretien du ventilateur. Le remplacement de la manchette souple pourrait également s'accompagner d'un remplacement (vérification) des colliers qui eux aussi, vont perdre de leur efficacité dans le temps.

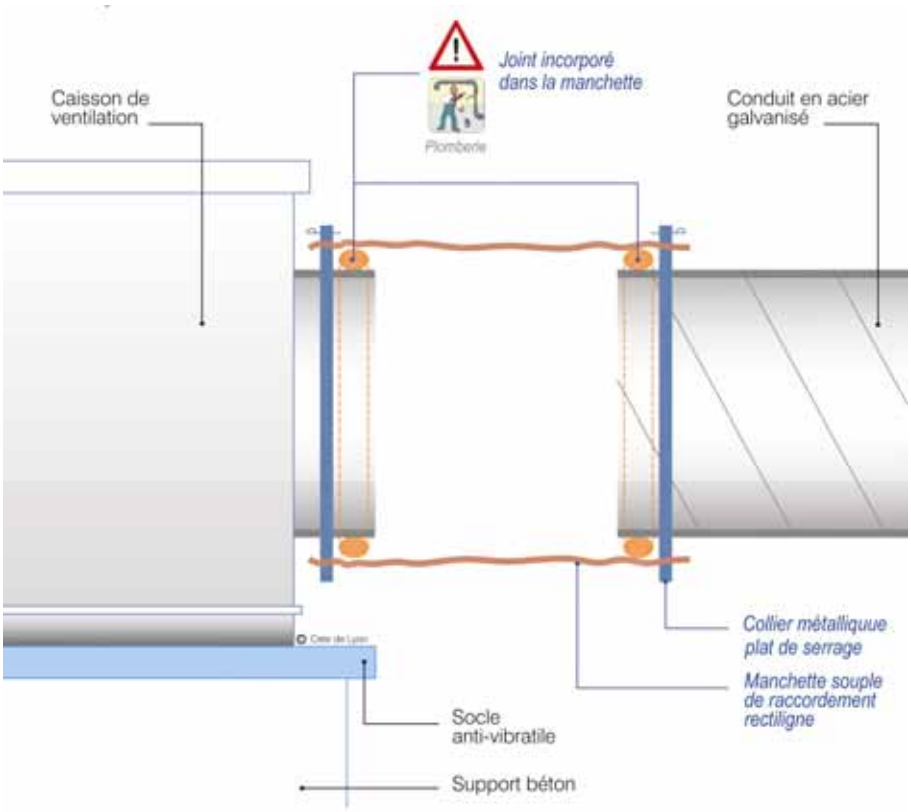


Figure 47 : Schéma de principe du raccordement au niveau du ventilateur

Figure 48 : Exemples de raccordements entre le caisson d'extraction et le conduit aéraulique. Apparence correcte à gauche ; machette fissurée raccordant deux sections différentes à droite (solution à proscrire)

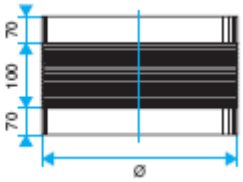


Figure 49 : Exemple de pièce de raccordement préfabriquée entre caisson et conduit (document ALDES)

6.5. Extrémité des conduits

Le té-souche est un composant du réseau collecteur horizontal permettant de relier celui-ci à un conduit collecteur vertical (Figure 50). Etant donné la faible épaisseur de tôle à la base du té-souche, la possible remontée d'étanchéité autour du té-souche doit être réalisée avec précaution afin d'éviter tout déboîtement du té-souche. Le té-souche doit disposer d'un couvercle en vue d'assurer les opérations ultérieures de nettoyage. Egalement, en pied de colonne, un tampon ou bouchon doit être placé pour permettre son obturation. Pour assurer une bonne étanchéité du conduit vertical, il est essentiel de bien vérifier la présence et la bonne fixation de ces deux éléments. A minima, l'étanchéité sera assurée par la mise en place de bande adhésive et de vis, composants faciles à enlever et à ajouter à l'issue d'une opération de maintenance. **L'utilisation seule de vis autoperforeuses n'est pas suffisante pour une bonne étanchéité. L'utilisation de mastic est à proscrire car elle rend difficile l'ouverture et la fermeture du té-souche lors des opérations de nettoyage**.

En cas de contrainte acoustique, de la laine minérale est disposée au niveau des tés-souches.

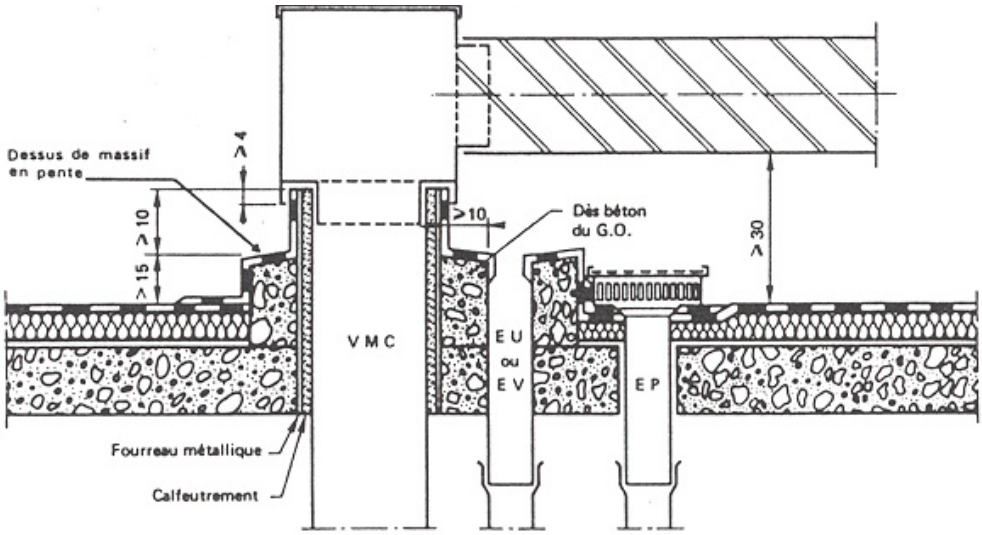


Figure 50 : Mise en œuvre d'un té-souche (conformément au DTU 68.2)

Figure 51 : Fermeture du té-souche avec des vis uniquement (étanchéité insuffisante)

Figure 52 : Fermeture d'un té-souche avec rivets et ruban adhésif

Figure 53 : Pose d'une bande adhésive au niveau du té-souche suite à opération de nettoyage

Figure 54 : Intérieur d'un té-souche avec présence de laine minérale

6.6. Trappes de visite

La trappe de visite permet d'accéder au réseau aéraulique pour assurer notamment l'entretien de ce dernier. Les étapes de la réalisation d'une trappe sont définies et illustrées ci-après :

- poser le masque de la trappe ;
- percer un trou avec une perceuse pour démarrer le découpage de la tôle ;
- découper aux limites du masque ;
- poser la trappe et serrer les deux vis pour assurer l'étanchéité.

Il est primordial que le modèle de la trappe soit adapté au diamètre du conduit. Une trappe mal dimensionnée sera à l'origine de problème d'étanchéité (Figure 56).

La trappe de visite doit être réalisée avec une grignoteuse, une meuleuse. L'utilisation de la scie sauteuse est à proscrire car elle ne permet pas d'effectuer une bonne coupe du conduit. Une découpe sur un conduit spiralé pourra être moins nette (en fonction de l'outil utilisé et de la précision de l'opérateur) que sur un conduit non spiralé (Figure 57). La découpe moins nette nécessite une précaution supplémentaire pour une bonne étanchéité.

D'autres orifices peuvent être créés lors des opérations de maintenance. Dans tous les cas, il est impératif, avant la remise en route de l'installation, d'obturer ces orifices avec du matériel durable tel que plaque métallique ou bouchon obturateur.

Figure 55 : Pose d'une trappe de visite

Figure 56 : Exemple d'une trappe de visite non adaptée à la dimension du conduit

Figure 57 : Découpe de la trappe de visite sur un conduit spiralé (à gauche) et non spiralé (à droite).

6.7. Transport et stockage des conduits

Le transport et le stockage des conduits peuvent, en l'absence de précaution, être à l'origine de déformations des conduits circulaires. De fait, une attention particulière devra être portée sur l'étanchéité conduit/conduit ou conduit/accessoire afin de garantir une bonne étanchéité de l'ensemble du réseau. Cela peut nécessiter dans ce cas de grosses déformations du conduit et ce, quelle que soit la technologie de l'accessoire (avec ou sans joint), d'avoir recours à un ajout de mastic et d'adhésif entre conduit/conduit ou conduit/accessoire.

Dans les pays d'Europe du Nord, le recours à un « bouchonnage rigide » des conduits limite les risques de déformation. Cette technique existe en France mais est surtout utilisée pour des aspects hygiéniques (les bouchons obturent l'intérieur du conduit qui a été préalablement

dégraissé). Cette disposition mériterait, afin de garantir un assemblage aisé sur chantier des composants du réseau, d'être considérée et ce, particulièrement pour les réseaux utilisant des accessoires à joint ou l'utilisation de mastic et de bande adhésive n'est pas nécessaire.

Figure 58 : Illustration du stockage de conduits en France (à gauche) et en Finlande (à droite)

6.8. Test d'étanchéité

Pour valider la bonne mise en œuvre du réseau aéraulique, il est impératif d'effectuer des essais et mesures aérauliques. Le principe du test d'étanchéité sur un système de ventilation est identique à celui du test sur l'enveloppe : on pressurise artificiellement le réseau en ayant obturé au préalable tous les orifices volontaires. Les débits de fuite mesurés pour une série de différences de pressions permet de caractériser l'étanchéité du réseau et de la classer selon la norme EN 12 237 (2003). Le lecteur pourra se reporter à cette norme pour plus de détails concernant cette mesure ainsi que sur le guide Uniclima (1997) pour les mesures de débit et pression à réaliser pour la réception.

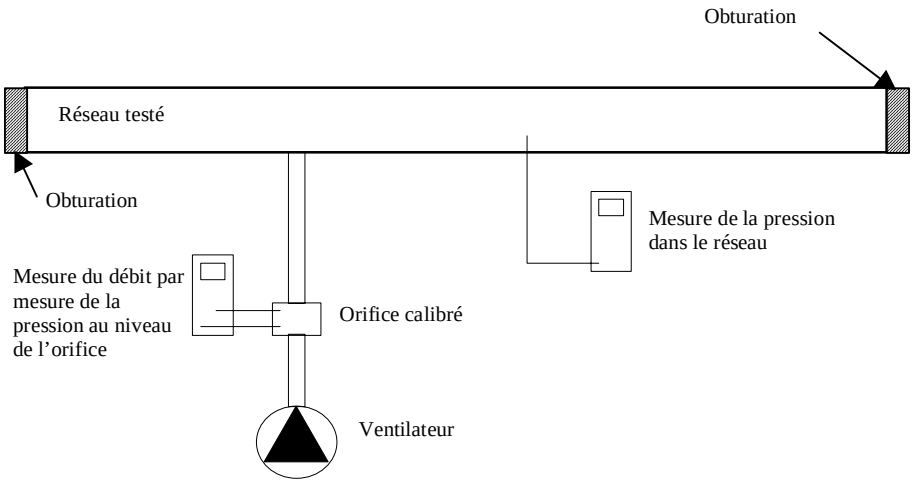


Figure 59 : Principe d'un test d'étanchéité d'un réseau aéraulique

7. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 : Représentation schématique d'une démarche qualité (roue de Deming). 8
Figure 2. Exemples de fuites détectées à la caméra infrarouge sur des logements récents 25
Figure 3 : I_4 mesuré sur site (taille de l'échantillon entre parenthèses). Les rectangles pleins représentent la valeur moyenne ; les barres d'erreurs représentent les premiers et troisièmes quartiles. 26
Figure 4. Exemples de fuites observées. Source Pierre Barles Consultant (PBC). 26
Figure 5 : Etanchéité mesurée sur site de 47 réseaux. Le rectangle plein représente la valeur médiane ; les barres d'erreurs représentent les premiers et troisièmes quartiles. 27
Figure 6 : L'enveloppe, localisation des infiltrations d'air parasites 31
Figure 7 : Le réseau, localisation des infiltrations d'air parasites 34
Figure 8 : Illustration du principe de la peau étanche et continue 37
Figure 9 : Liaison mur et dalle plancher 41
Figure 10 : Liaison mur et fenêtre 42
Figure 11 : Liaison mur et porte-fenêtre au niveau de l'appui 43
Figure 12 : Liaison mur et fenêtre ou porte-fenêtre (coupe horizontale) 44
Figure 13 : Liaison mur et fenêtre ou porte-fenêtre (au niveau du linteau) 45
Figure 14 : Liaison coffre de volet roulant, fenêtre et mur (au niveau du linteau) 46
Figure 15 : Liaison mur et rampant de toiture 47
Figure 16 : Traversée de verticale de conduit en toiture 48
Figure 17 : Liaison fenêtre de toiture en plafond-combles 49
Figure 18 : Traversée de gaine technique en plafond-combles 50
Figure 19 : Traversée de gaines de ventilation en toiture terrasse 51
Figure 20 : Traversée horizontale de paroi par conduit 52
Figure 21 : Liaison équipement électrique et paroi 53
Figure 22 : Liaison tableau électrique et paroi 54
Figure 23 : Seuil de porte palière 55
Figure 24 : Liaison bouche de ventilation 56
Figure 25 : Trappe d'accès de gaine technique 57
Figure 26 : Traversée de plancher par conduit 58
Figure 27 : Fermeture du bas de colonne 59
Figure 28 : Liaison Caisson de ventilation - Conduit (en toiture terrasse) 60
Figure 29 : Perméabilités à l'air des logements mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application de la démarche qualité. Opération Villeurbanne. 64
Figure 30 : Perméabilités à l'air des logements mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application de la démarche qualité. Opération Villeurbanne. 64
Figure 31 : Perméabilités à l'air des réseaux mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application de la démarche qualité. Opération Villeurbanne. 65
Figure 32 : Perméabilités à l'air des logements mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application partielle de la démarche qualité. Opération Paris. 65
Figure 33 : Perméabilités à l'air des logements mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application partielle de la démarche qualité. Opération Paris. 66
Figure 34 : Perméabilités à l'air des réseaux mesurées sur une opération pilote du projet PREBAT-Performance avec application partielle de la démarche qualité. Opération Paris. 66
Figure 35 : Composants d'un système de ventilation 68

Figure 36 : Schéma de principe de la liaison conduit-bouche 70
Figure 37 : Exemples de produits de raccordement bouches de ventilation / conduit liaison 70
Figure 38 : Exemples de manchettes rigides avec joint. Photo ALDES (à gauche) et schéma ANJOS (à droite). 71
Figure 39 : Exemples de raccords d'étage avec joints préfabriqués 71
Figure 40 : Réalisation d'un raccord d'étage avec une pièce préfabriquée sans accessoire à joints 72
Figure 41 : Procédure de réalisation d'un piquage express 73
Figure 42 : Exemple de raccord par piquage d'apparence correcte (à gauche), peu soigné (à droite) 73
Figure 43 : Utilisation d'un raccord mâle à joints pour le raccordement entre deux conduits 74
Figure 44 : Utilisation d'une pièce préfabriquée pour le raccord entre deux conduits (mise en place de mastic, rivets et bande adhésive) 74
Figure 45 : Traversée de dalle 75
Figure 46 : Illustration du supportage d'un réseau collecteur vertical 75
Figure 47 : Schéma de principe du raccordement au niveau du ventilateur 76
Figure 48 : Exemples de raccordements entre le caisson d'extraction et le conduit aéraulique. Apparence correcte à gauche ; machette fissurée raccordant deux sections différentes à droite (solution à proscrire) 77
Figure 49 : Exemple de pièce de raccordement préfabriquée entre caisson et conduit (document ALDES) 77
Figure 50 : Mise en œuvre d'un té-souche (conformément au DTU 68.2) 78
Figure 51 : Fermeture du té-souche avec des vis uniquement (étanchéité insuffisante) 78
Figure 52 : Fermeture d'un té-souche avec rivets et ruban adhésif 78
Figure 53 : Pose d'une bande adhésive au niveau du té-souche suite à opération de nettoyage 79
Figure 54 : Intérieur d'un té-souche avec présence de laine minérale 79
Figure 55 : Pose d'une trappe de visite 80
Figure 56 : Exemple d'une trappe de visite non adaptée à la dimension du conduit 80
Figure 57 : Découpe de la trappe de visite sur un conduit spiralé (à gauche) et non spiralé (à droite). 80
Figure 58 : Illustration du stockage de conduits en France (à gauche) et en Finlande (à droite) 81
Figure 59 : Principe d'un test d'étanchéité d'un réseau aéraulique 82

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les quatre pôles principaux d'une démarche qualité 8
Tableau 2. Eléments clés de la démarche qualité retenue dans le projet PREBAT-Performance. 30
Tableau 3. Coûts des prestations supplémentaires pour améliorer la perméabilité des réseaux et du bâti. Opération Villeurbanne. 62
Tableau 4. Coûts des prestations supplémentaires pour améliorer la perméabilité des réseaux et du bâti. Opération Paris. 62
Tableau 5. Coûts des prestations supplémentaires pour améliorer la perméabilité des réseaux et du bâti prévisibles à l'avenir. 63

8. RÉFÉRENCES

ADEME-FFB. 2003. ***Perméabilité à l'air des bâtiments en maçonnerie ou en béton – guide des bonnes pratiques***. ISBN 2-915162-07-7. Février 2003

Berthault S, Fournier M, Voeltzel A, Kappes-Grange J, Froment N. 2005 ***Amélioration de la mise en œuvre des menuiseries.*** Rapport ADEME 0304C0122. Novembre 2005.

Bouchet, J-.A. 2006. ***RT 2005. Démarche de qualité de l'étanchéité à l'air pour la construction d'une maison individuelle***. CETE Méditerranée. Novembre 2006.

Carrié, R., Jobert, R., Fournier, M., Berthault, S., Van Elslande, H. 2006. ***Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments – Généralités et sensibilisation.*** CETE de Lyon. Rapport n° DVT 06-95. Octobre 2006. Disponible en ligne sur le site du CETE de Lyon.

EDF-CETE de Lyon. 2001. ***Perméabilité à l'air des bâtiments d'habitation – Guide améliorer la performance des logements existants.*** CETE de Lyon. Rapport DVT n°01.43. Juillet 2001.

EN 12237. 2003. ***Réseau de conduits. Résistance et étanchéité des conduits circulaires en tôle***. Juin 2003.

EN 13829. 2001. ***Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments. Méthode de pressurisation par ventilateur. Performance thermique des bâtiments***. Février 2001.

Guillot K, Litvak A. 2000***. Étanchéité à l'air des constructions. Campagne de mesure de perméabilité à l'air et de ventilation de 70 logements.*** CETE de Lyon. Rapport DVT n°00.173. Septembre 2000. ADEME.

Litvak A, et al. 2000. ***Étanchéité à l'air des constructions. État de l'art et recensement des pratiques.*** CETE de Lyon. Rapport DVT n°00.41. Avril 2000. ADEME.

Litvak A, et al. 2001. **Résultats de mesures de perméabilité à l'air sur 12 bâtiments tertiaires de grands volumes**. CETE de LYON. Rapport DVT n° 01.45. Novembre 2001. ADEME-EDF.

Litvak A, et al. 2005. ***Campagne de mesure de l'étanchéité à l'air de 123 logements***. CETE Sud Ouest. Rapport n°DAI.GVCH.05.10. ADEME-DGUHC.

RT 2005. Arrêté du 25 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiment.

UNICLIMA. 1997. **Guide de réception d'une installation de VMC**. Editions SEPAR, Paris.

CETE
de Lyon

département
Villes et Territoires

46, rue Saint-Théobald
BP 128
38081 l'Isle d'Abeau
cedex

téléphone :
04 74 27 51 03
télécopie :
04 74 27 51 18
mél : dvt.cete-lyon
@equipement.gouv.fr

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