

**CSTB**  
le futur en construction

# Le radon dans les bâtiments : généralités

Bernard Collignan - [bernard.collignan@cstb.fr](mailto:bernard.collignan@cstb.fr)  
Membre du Comité Exécutif de l'Association Européenne du Radon (ERA)



Monétier-les-Bains, C.A.U.E. 05, 5 avril 2023

CO-ORGANISÉE PAR:



05 Hautes-Alpes  
**c|a.u.e**  
Conseil d'architecture, d'urbanisme  
et de l'environnement

EN PARTENARIAT AVEC:



**CSTB**  
le futur en construction



## 4 activités clés

Excellence scientifique reconnue au niveau national et européen.

Présence dans les réseaux scientifiques européens et internationaux.

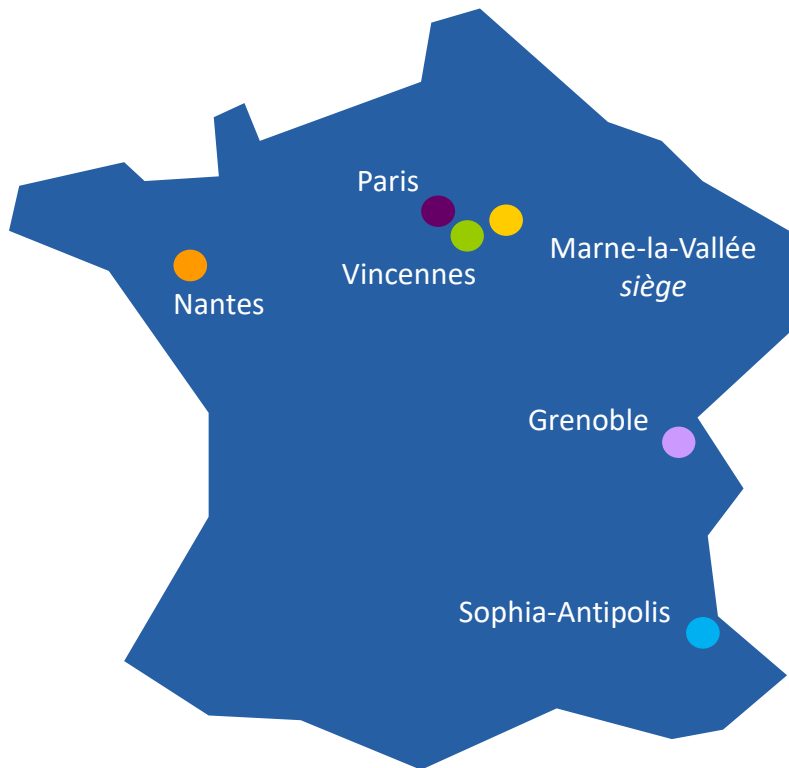
Accompagnement des professionnels de la filière par la diffusion des connaissances et la formation.



Expertise scientifique et technique en matière d'innovation et de prospective.

Indépendance qui fait du CSTB un partenaire fiable pour les acteurs économiques et les pouvoirs publics.

## Des équipes pluridisciplinaires sur l'ensemble du territoire



### Paris

- Formation professionnelle continue
- Filiales CSTB : Céquami, Certivéa

### Vincennes

- Sciences économiques et sociales

### Marne-la-Vallée

- **Siège social**
- Energie, santé, environnement
- Sécurité, structures, feu
- Techniques de construction
- Equipements et services
- Diffusion des connaissances

### Nantes

- Vent, climat
- Éclairage
- Gestion des pollutions et épuration

### Grenoble

- Environnement
- Santé
- Acoustique, Eclairage, Electromagnétisme
- Science et technologie d'enveloppe du bâtiment
- Filiale CSTB : Acoustb

### Sophia-Antipolis

- Techniques de l'information et de la communication
- Énergies renouvelables

## Effectifs env. 900 collaborateurs (hors filiales)



- 609 - Marne-la-Vallée
- 37 - Paris Vincennes
- 100 - Nantes
- 82 - Sophia-Antipolis
- 81 - Grenoble

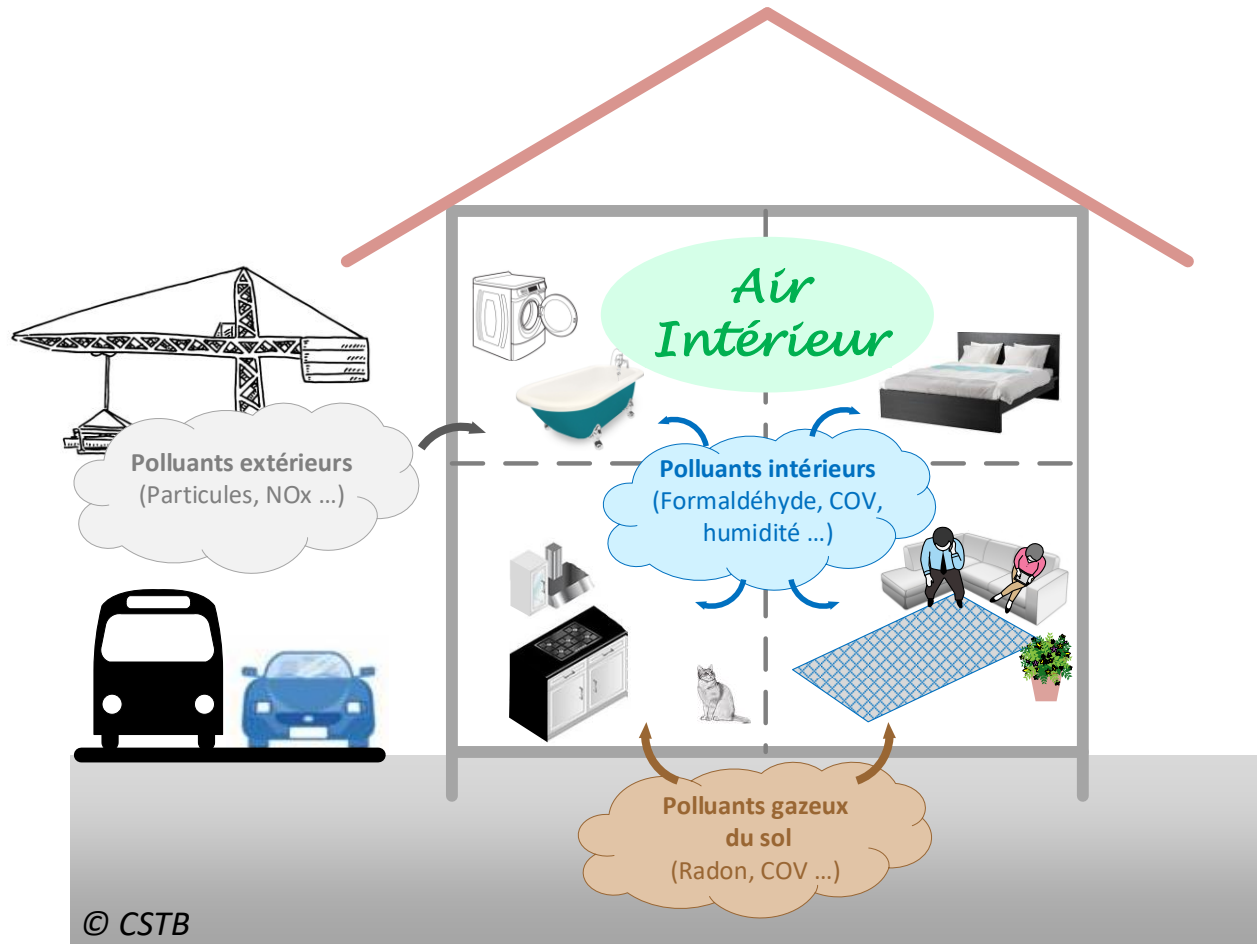
## Produits d'exploitation (%) (hors filiales)



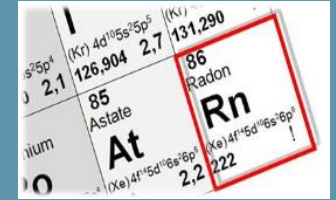
- 20 % - Subventions de recherche
- 25 % - Recherche contractuelle et Expertise
- 41 % - Activités technologiques
- 8 % - Diffusion des connaissances
- 6 % - Autres

## Sommaire

- Généralités, risque sanitaire, réglementation actuelle
- Entrée du radon dans les bâtiments
- Principe des solutions
- Typologies de soubassement
- Ventilation des bâtiments

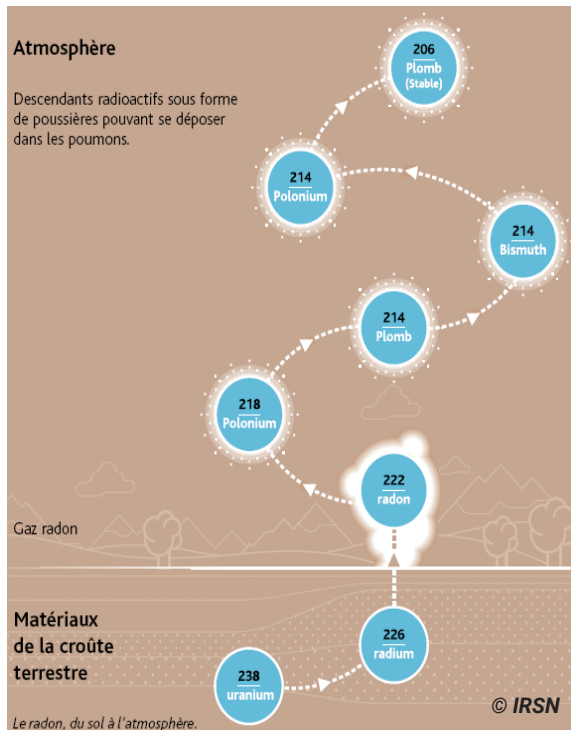


→ Le radon : un des polluants potentiels de l'air intérieur des bâtiments

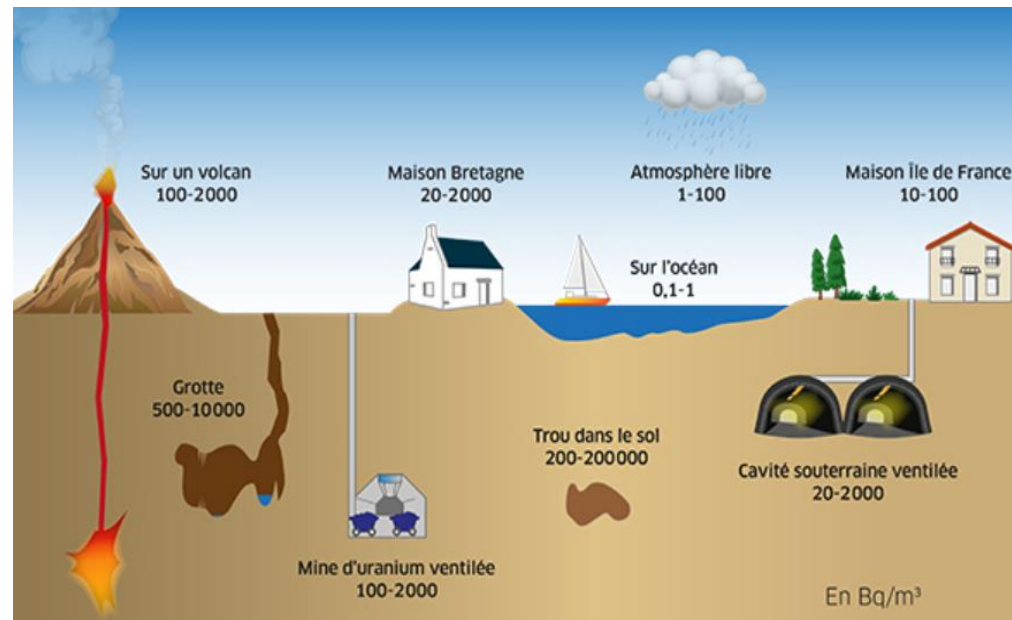


- **Radon : ... petit fils de l'Uranium**

- Gaz radioactif naturel inodore et incolore,
- présent naturellement dans le sol et les roches (surtout sous-sols granitiques et volcaniques),
- Omniprésent à des niveaux très variables à la surface de la terre

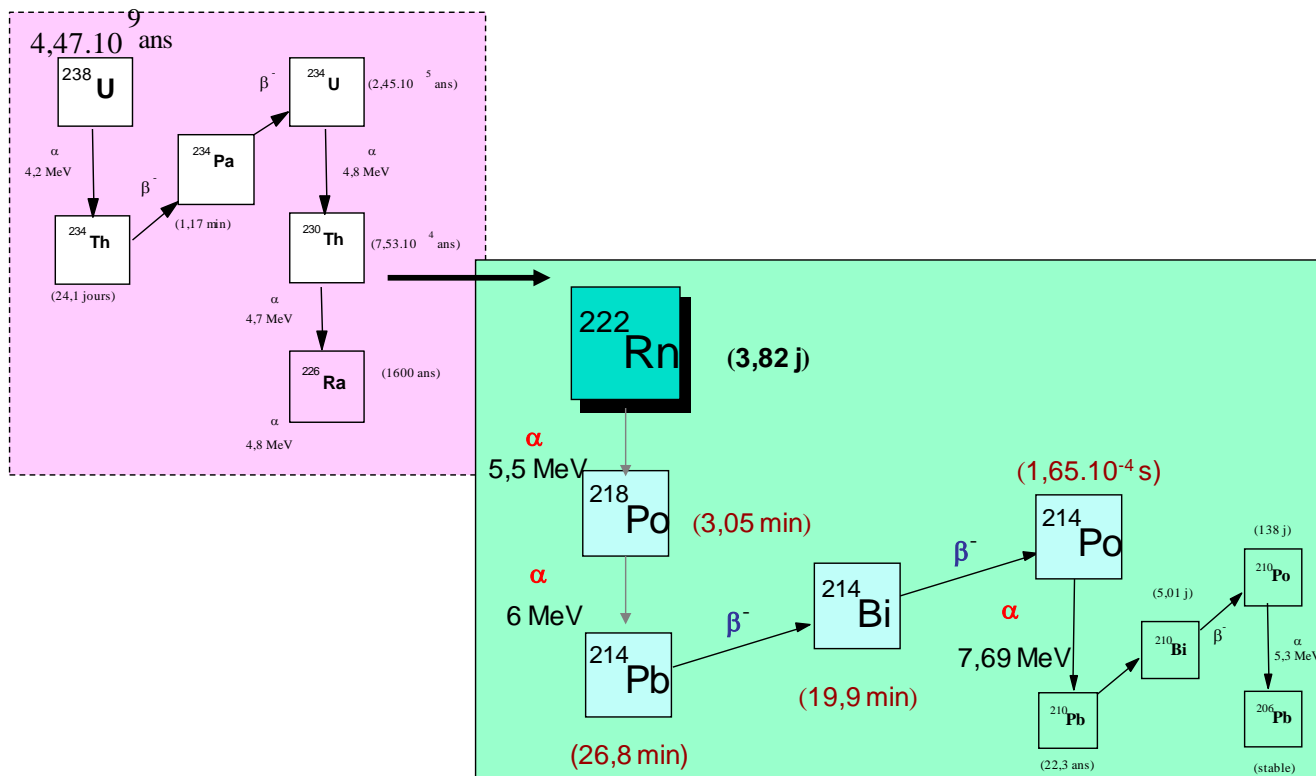


## Désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre



## Exemples de niveaux de radon dans différents environnements

- **Radon** : gaz issu de décomposition radioactives
- Ascendants et descendants : éléments solides





- **Impact sanitaire**

- Gaz cancérogène pulmonaire avéré (CIRC –groupe 1)
  - Le radon et ses descendants solides inspirés avec air .
  - Emission de rayonnements alpha ( $\alpha$ ), peu pénétrants,
  - Irradiation des cellules à la surface des bronches

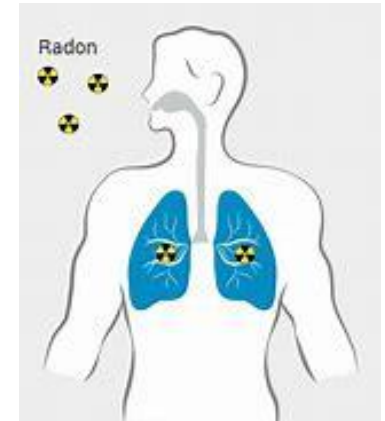
➤ peut induire le développement d'un cancer.

- 2<sup>ème</sup> cause de cancer du poumon en France derrière le tabac  
10% env. des cancers attribués à l'exposition au radon

- 3000 décès annuels par cancer du poumon en France attribuables au radon  
*source ANSP-IRSN. cf. Ajrouche, R., Roudier, C., Cléro, E. et al. Quantitative impact assesment of radon in France. Radiat Environ Biophys (2018) 57: 205.*

- Risque accru chez les fumeurs : effet synergique

- Facteur de risque /habitat identifié par l'OMS  
→ cible : 100 Bq/m<sup>3</sup> en concentration d'exposition moyenne annuelle



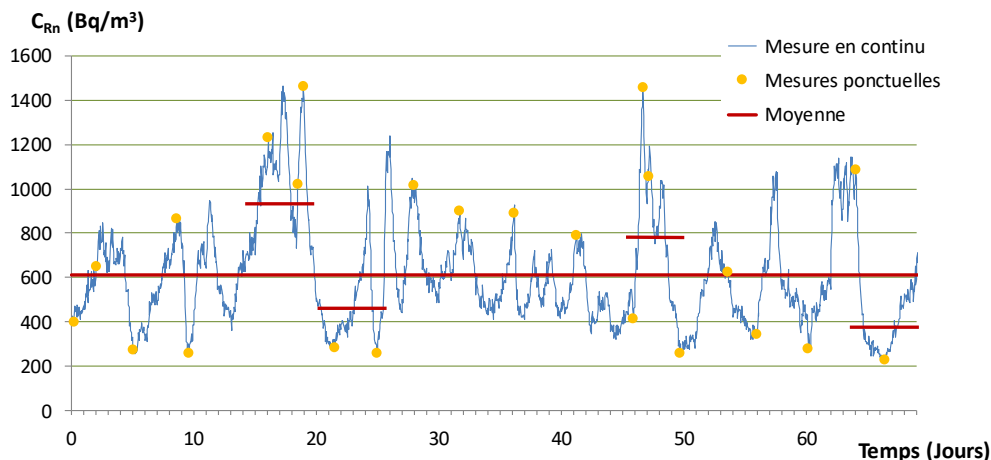
- **Unité : Becquerel par mètre cube (Bq/m<sup>3</sup>)**
  - Activité volumique
  - 1 Bq = 1 désintégration par seconde
  - Par simplification, Bq/m<sup>3</sup> : concentration en radon
- **Mesure du radon (Bq/m<sup>3</sup>)**
  - Mesure passive (détecteur); Mesure active (pompage)
  - Mesures ponctuelles
  - Mesures continues
  - Mesures intégrées (moyennes sur une durée donnée)



## Concentration intérieure de radon résulte de nombreux paramètres :

- Potentiel au sol (nature, perméabilité)
- Caractéristiques du bâtiment (géométrie, fondation, systèmes, ...)
- Conditions météorologiques (température, vent)
- Comportement des occupants

→ **variable au fil du temps**






Évaluation du risque fondée sur la **concentration moyenne annuelle** dans l'air intérieur

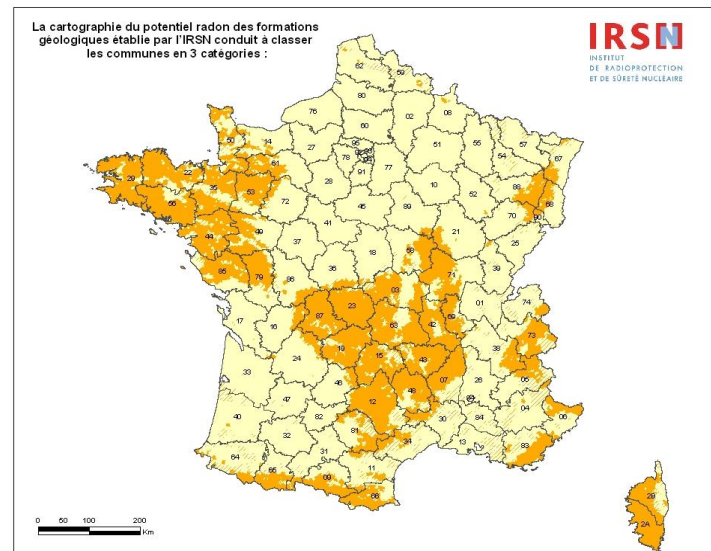
→ **Mesure intégrée par détecteur passif** sur au moins **deux mois** en période de **chauffage** considérée comme représentative



Exemples de détecteurs passifs

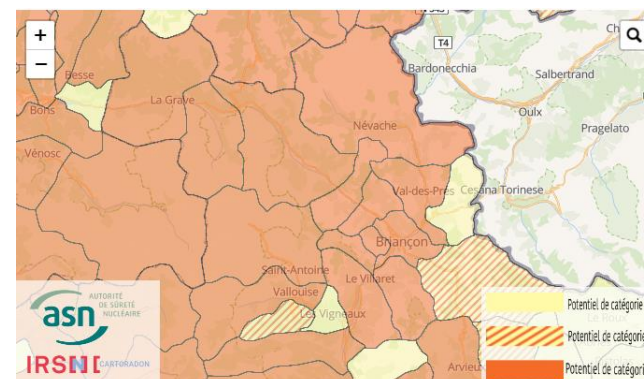
## Cartographie (IRSN) zonage communal

-  Catégorie 1 : potentiel faible
-  Catégorie 2 : potentiel faible mais avec présence de facteurs pouvant faciliter le transfert du radon
-  Catégorie 3 : potentiel significatif



## Carte interactive de l'IRSN

[Connaitre le potentiel radon de ma commune](#)



## Nouveau contexte réglementaire : Décret 2018-434 du 4 juin 2018

- Zones prioritaires (maillage communal)
- Seuil d'action réglementaire (ERP et travail) de 400 Bq/m<sup>3</sup> à **300 Bq/m<sup>3</sup>**
- Extension des types d'ERP concernés incluant notamment les établissements d'accueil collectif d'enfants de moins de six ans
- Application de la réglementation travail dans les zones prioritaires aux lieux non souterrains
- Obligation d'information de zones prioritaires lors des transactions immobilières (Information Acquéreur Locataire IAL).



## Code de la santé publique (articles R. 1333-28 à -36)

- 5 catégories d'Établissements Recevant du Public (ERP) concernées :
  - établissements d'enseignement,
  - établissements sanitaires et médicaux-sociaux,
  - établissements pénitentiaires,
  - établissements thermaux,
  - **établissements d'accueil d'enfants de moins de 6 ans (nouveau)**
- Obligation de dépistage dans les communes en zone 3 et dans les des communes des zones 1 et 2 dès lors qu'un dépistage antérieur a mis en évidence une activité volumique annuelle moyenne du radon supérieure à 300 Bq/m<sup>3</sup>.
- En cas de dépassement du niveau de référence (300 Bq/m<sup>3</sup>) : mesures correctives à apporter au bâtiment
- Dépistages réalisés par des organismes agréés par l'ASN
- Obligation d'affichage des résultats de mesure et intégration des éléments concernant le radon dans le registre de sécurité des ERP

## Code du travail (articles R. 4451-1 et suivants)

Obligation d'évaluation des risques liés au radon dans les communes situées en zone 1, 2 et 3. Toutefois dans son évaluation des risques, l'employeur prend en considération les zones à potentiels radon ainsi que les résultats d'éventuelles mesures déjà réalisées.

→ Gestion des situations en cas de dépassement du niveau de référence de 300 Bq/m<sup>3</sup> :  
Actions correctives ou suivi dosimétrique

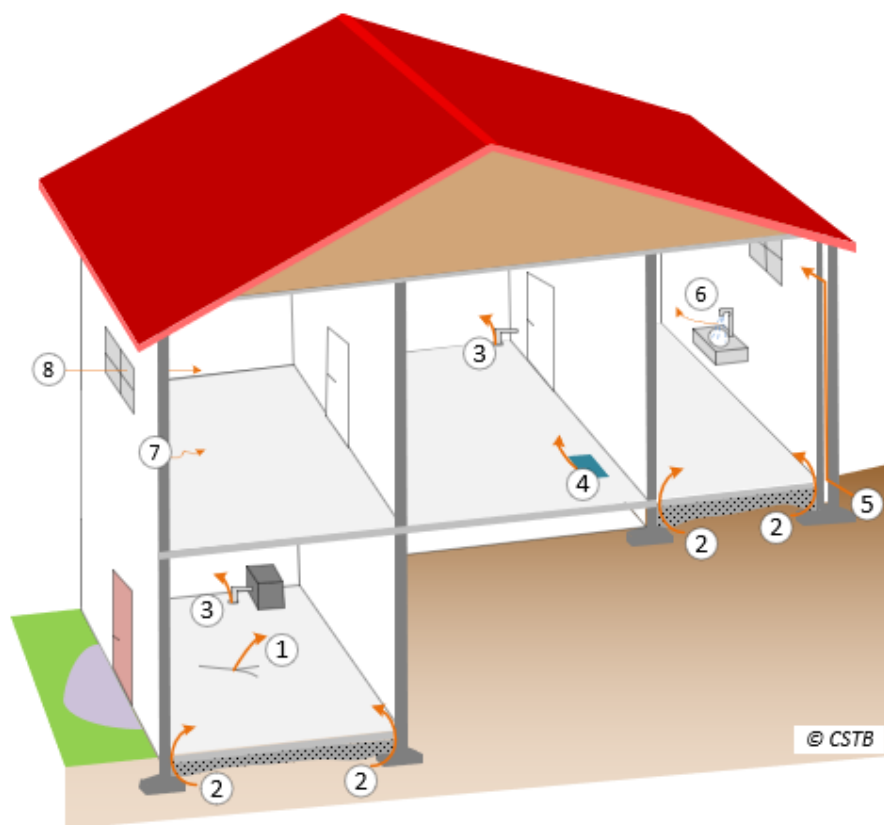
## Code de l'environnement (articles R. 125-23 et -24)

- Information des Acquéreurs et des Locataires (IAL) en Zone 3



Niveau important de radon dans un bâtiment (plusieurs centaines de Bq/m<sup>3</sup>)

→ cause principale est le sol sous le bâtiment



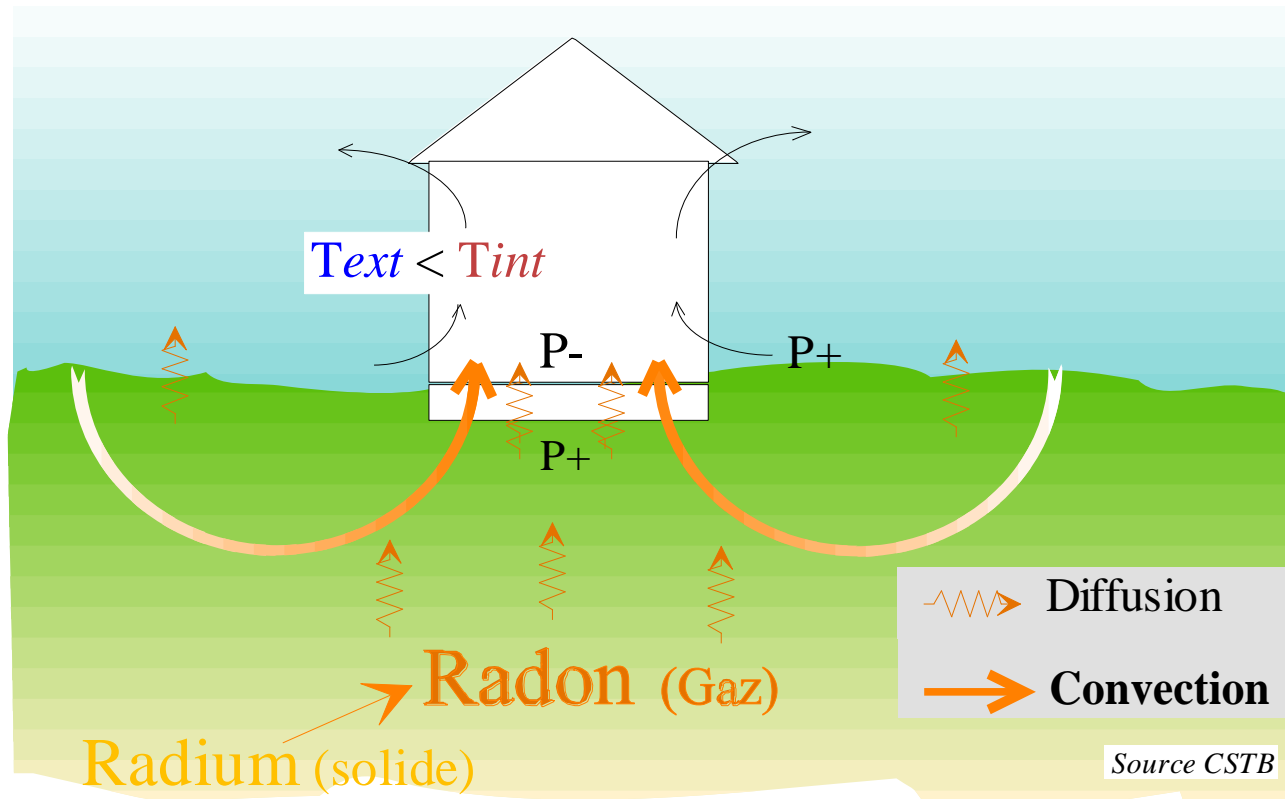
## Causes principales d'entrée du radon

### Provenant du sol

- ① Fissures
- ② Joints entre parois
- ③ Points d'entrées réseaux (VRD)
- ④ Trappes, portes intérieures de sous-sol, regards ...
- ⑤ Murs creux, contre-cloisons

### Autres sources possibles (secondaire)

- ⑥ Eau à usage sanitaire
- ⑦ Matériaux de construction
- ⑧ Air extérieur



## Mécanismes d'entrée dans un bâtiment :

- ↪ Diffusion, liée à des différences de concentration entre milieux
- ↪ **Convection**, liée à la légère dépression du bâtiment

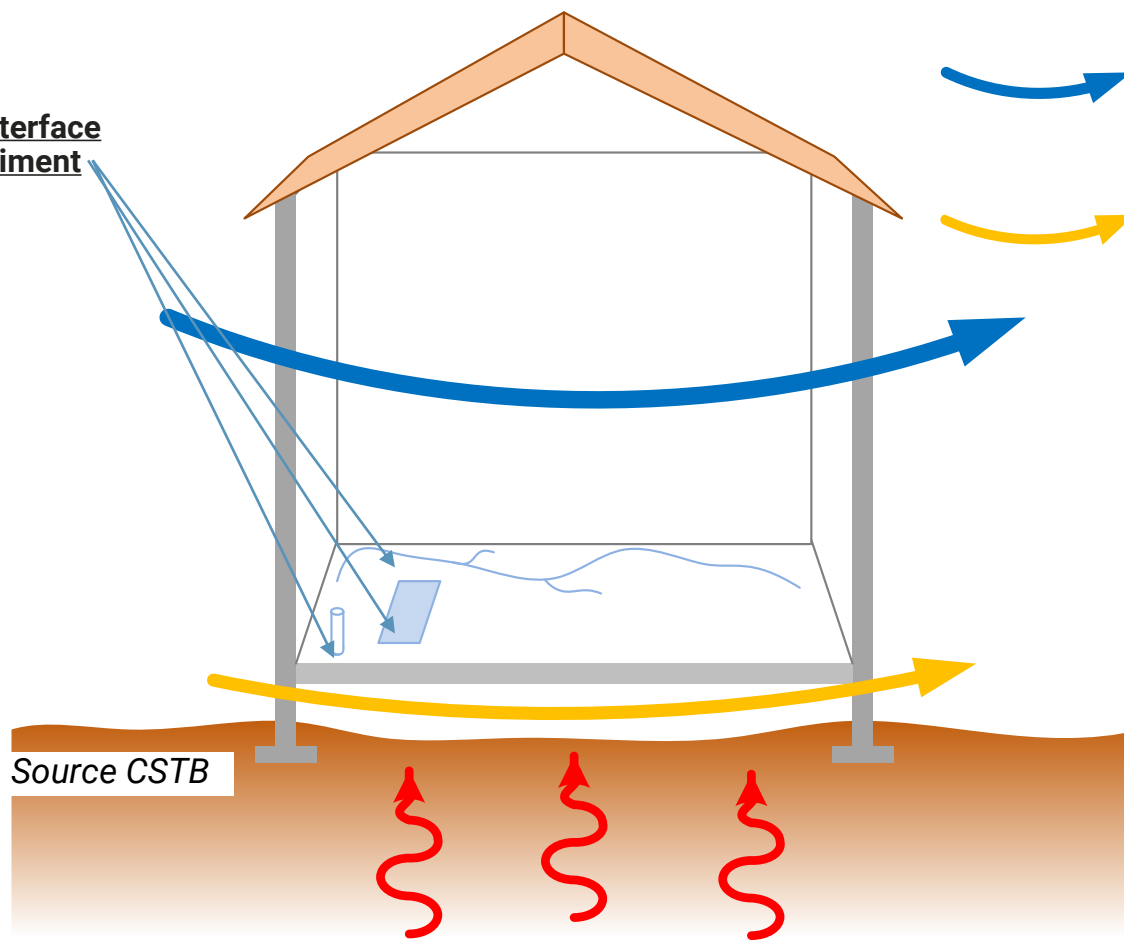
## Deux principes:

- ✓ Eviter l'entrée du radon dans le bâtiment
- ✓ Diluer la présence de radon dans le bâtiment

## Trois types ou « familles » de solutions:

- Etanchement de l'interface sol-bâtiment
- Traitement du volume habités (ventilation, pression)
- Traitement des soubassements (ventilation, pression)

Etanchement de l'interface entre le sol et le bâtiment



Traitement du volume habité (ventilation, pression)

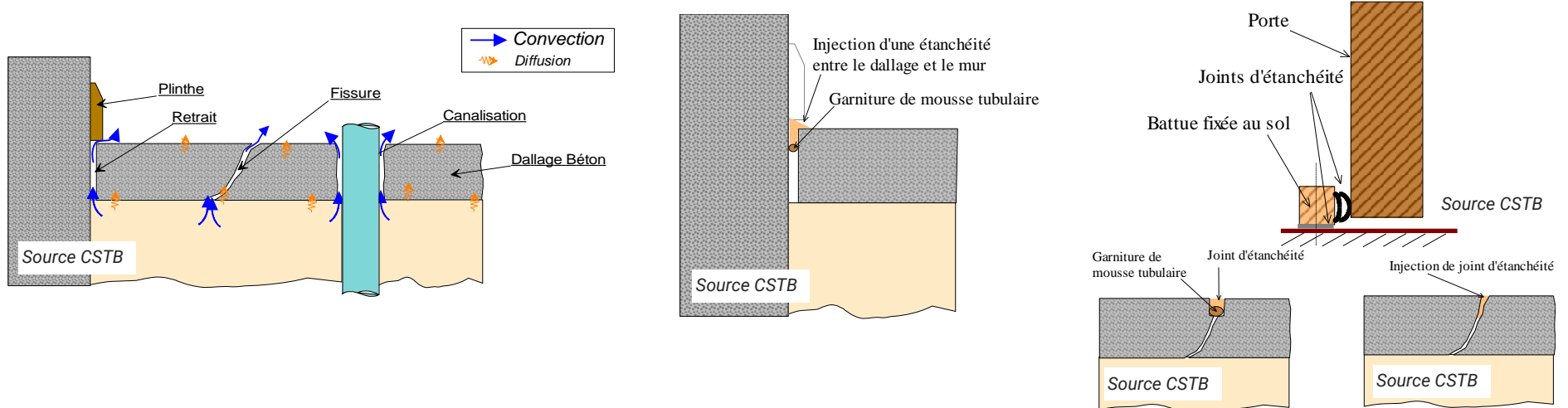
Traitement du soubassement (ventilation, mise en dépression)

Gaz radon venant du sol

Source CSTB

## Obturation des points d'entrée

Fissures, passages de réseaux (VRD), trappes, tours de portes, anciens conduits, ...



## Traitement de chape, du mur enterré, recouvrement des sols en terre-battue



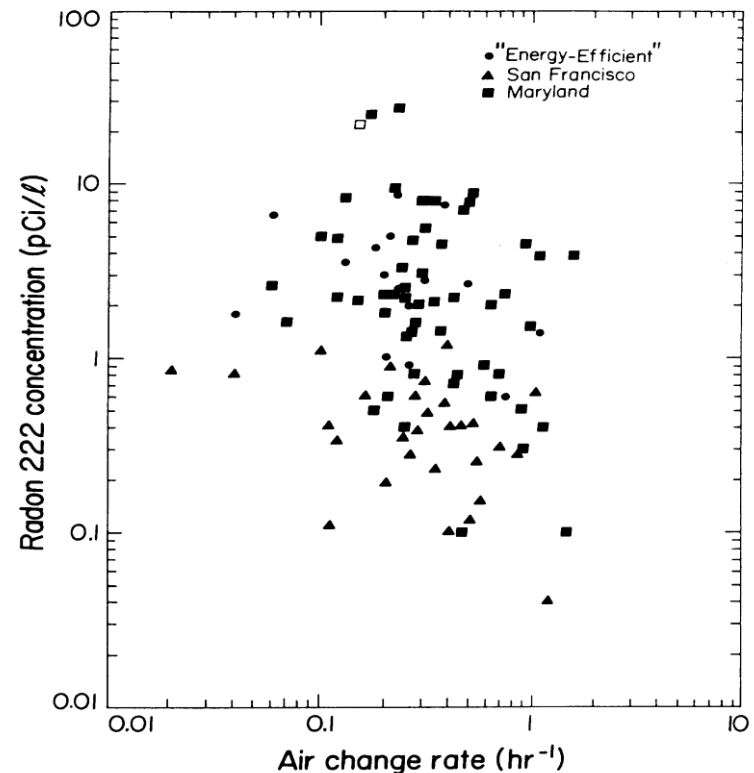
## dilution par renouvellement d'air (ventilation naturelle ou mécanique)

- se justifie si ce dernier est insuffisant
- + amélioration globale de la QAI
- efficacité aléatoire et dépendante de l'occupant,  
coût énergétique, inconfort

## cas particulier

### ventilation simple flux par insufflation ou double flux déséquilibré

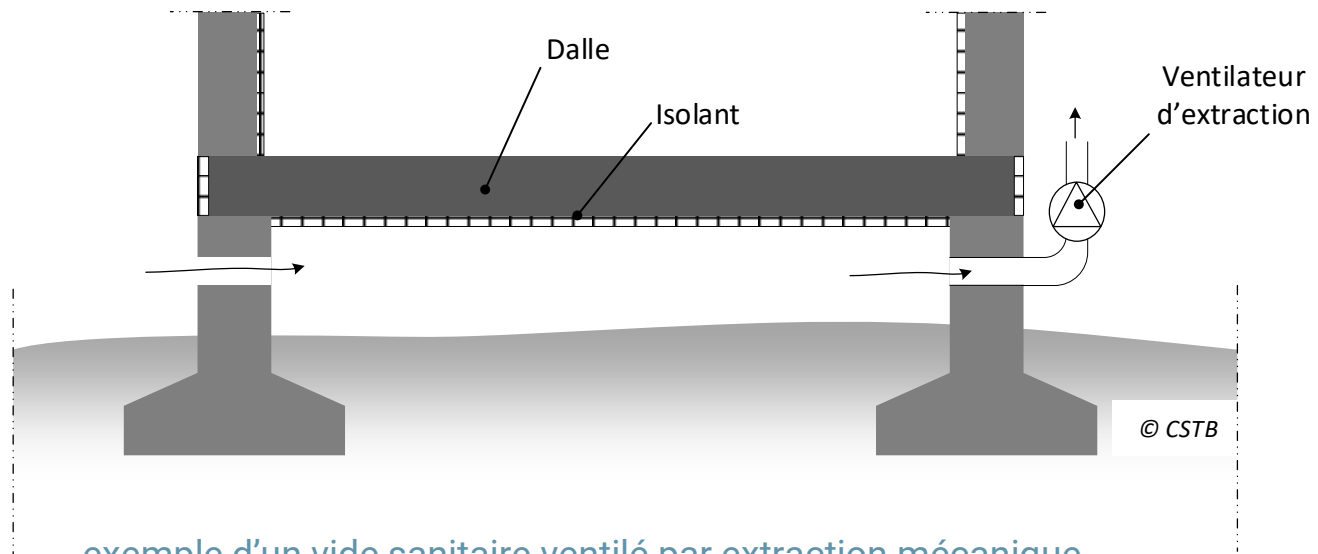
- + inversion ou diminution du  $\Delta P$
- risques de condensation dans les parois accru



*Radon, Technical Report Series, nov. 90*

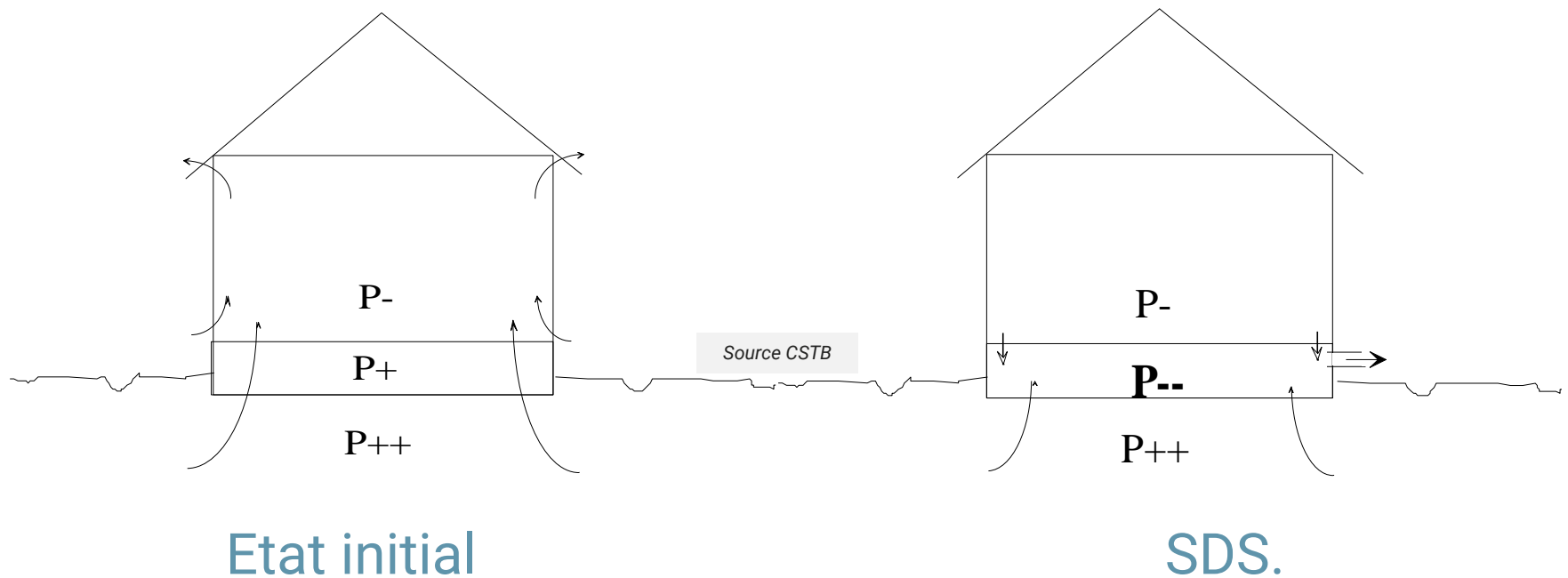
## Dilution par ventilation de l'interface (cave, sous-sol, ou vide sanitaire)

Naturelle, par extraction ou par insufflation mécanique



exemple d'un vide sanitaire ventilé par extraction mécanique  
(principe de balayage, éviter les zones mortes)

## Systeme de mise en Dépression du Sol (SDS) sous le bâtiment

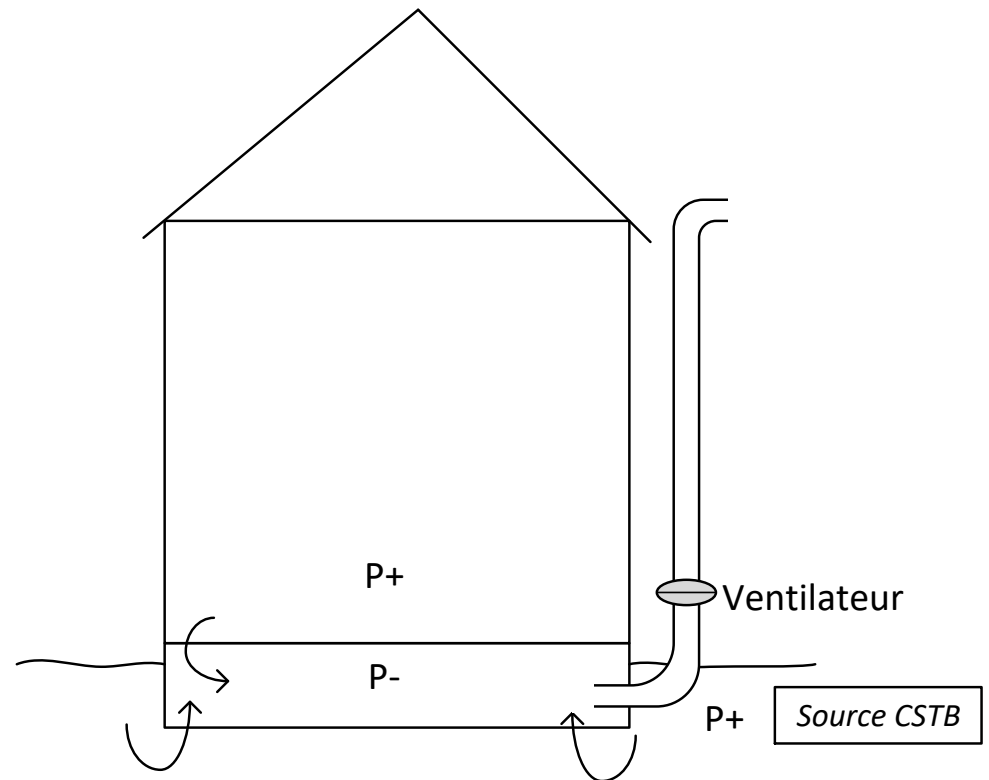
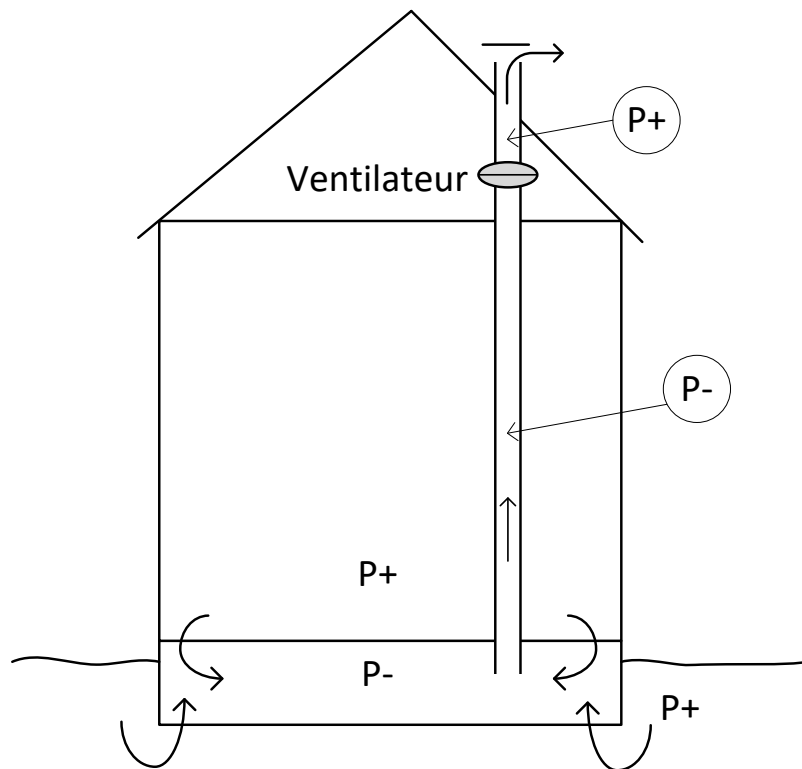


Mettre le soubassement en dépression au plus faible débit

→ étanchement adapté du soubassement



## Systeme de mise en Dépression du Sol (SDS) sous le bâtiment



## Contraintes et risques associés /usage, typologie de bâtiment, environnement

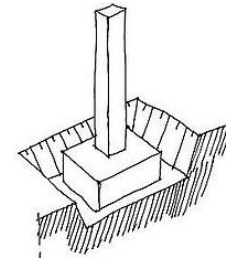
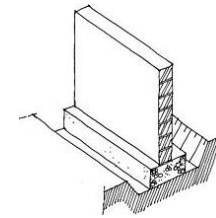
- ✓ Pertes énergétiques
- ✓ Risque de gel
- ✓ Risque de refoulement
- ✓ Membrane et drainage de l'eau
- ✓ Efficacité et pérennité d'une solution technique

## Définition

partie d'un bâtiment ou d'un ouvrage qui assure la transmission dans le sol des charges de celui-ci afin d'en assurer la stabilité (poids propre, forces climatiques, sismiques et charges d'exploitation)

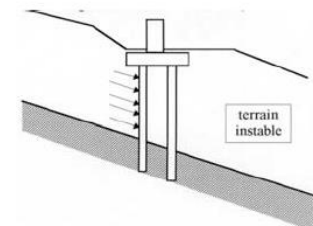
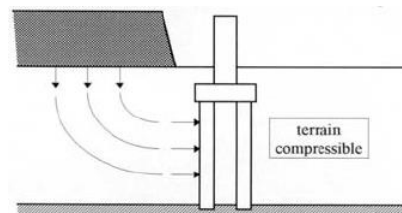
## Fondations superficielles

utilisées lors d'une construction sur un terrain stable et qui ne s'enfonce que légèrement dans le sol. (semelle ou plot de fondation)



## Fondations profondes

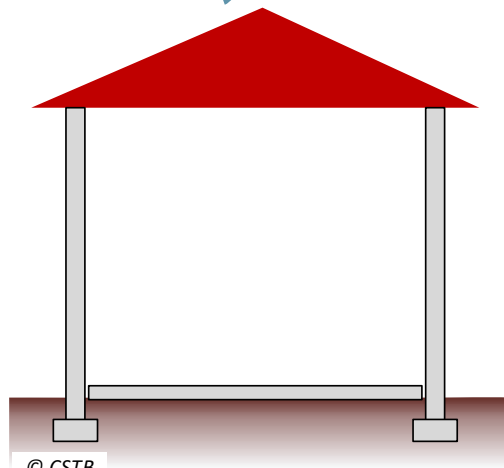
utilisées lors d'une construction sur un terrain instable ou compressible désignées par le terme de « pieux » supportant la « semelle de liaison »



## Soubassement (interface sol-plancher)

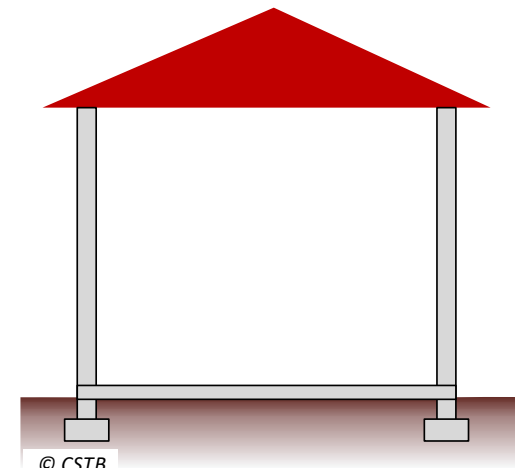
Correspond à l'assise du bâtiment :

- Dallage indépendant sur terre-plein
- Dalle portée sur terre-plein
- Dalle sur vide sanitaire ou cave
- Radier



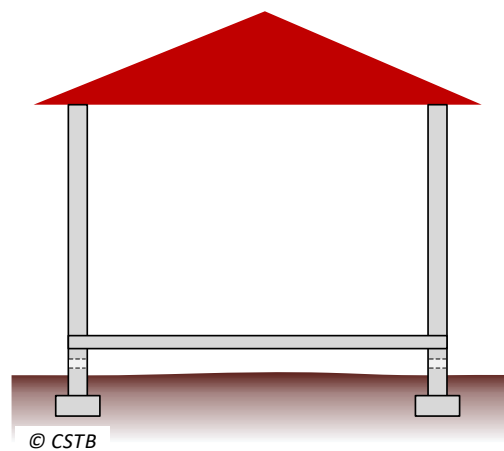
© CSTB

**Dallage indépendant sur terre-plein**



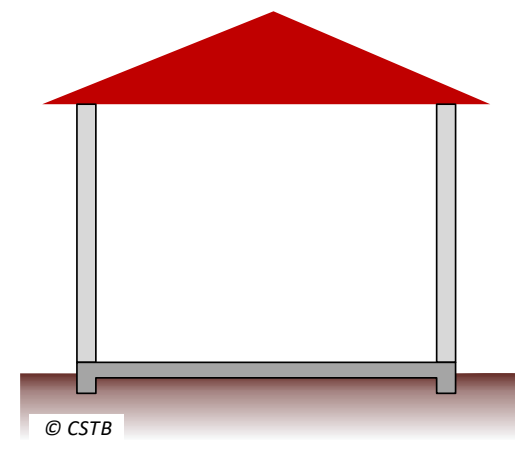
© CSTB

**Dalle portée sur terre-plein**



© CSTB

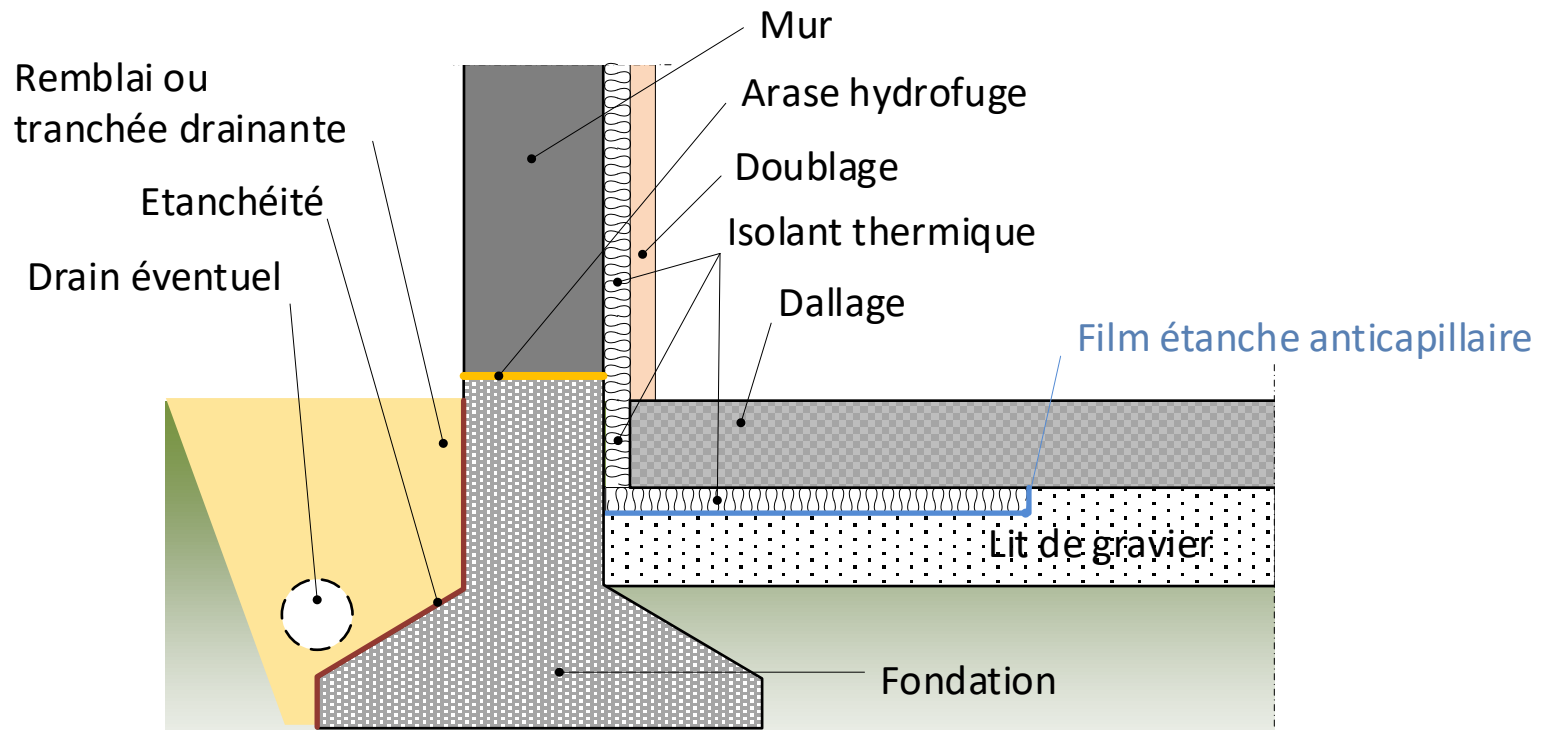
**Dalle sur vide sanitaire**



© CSTB

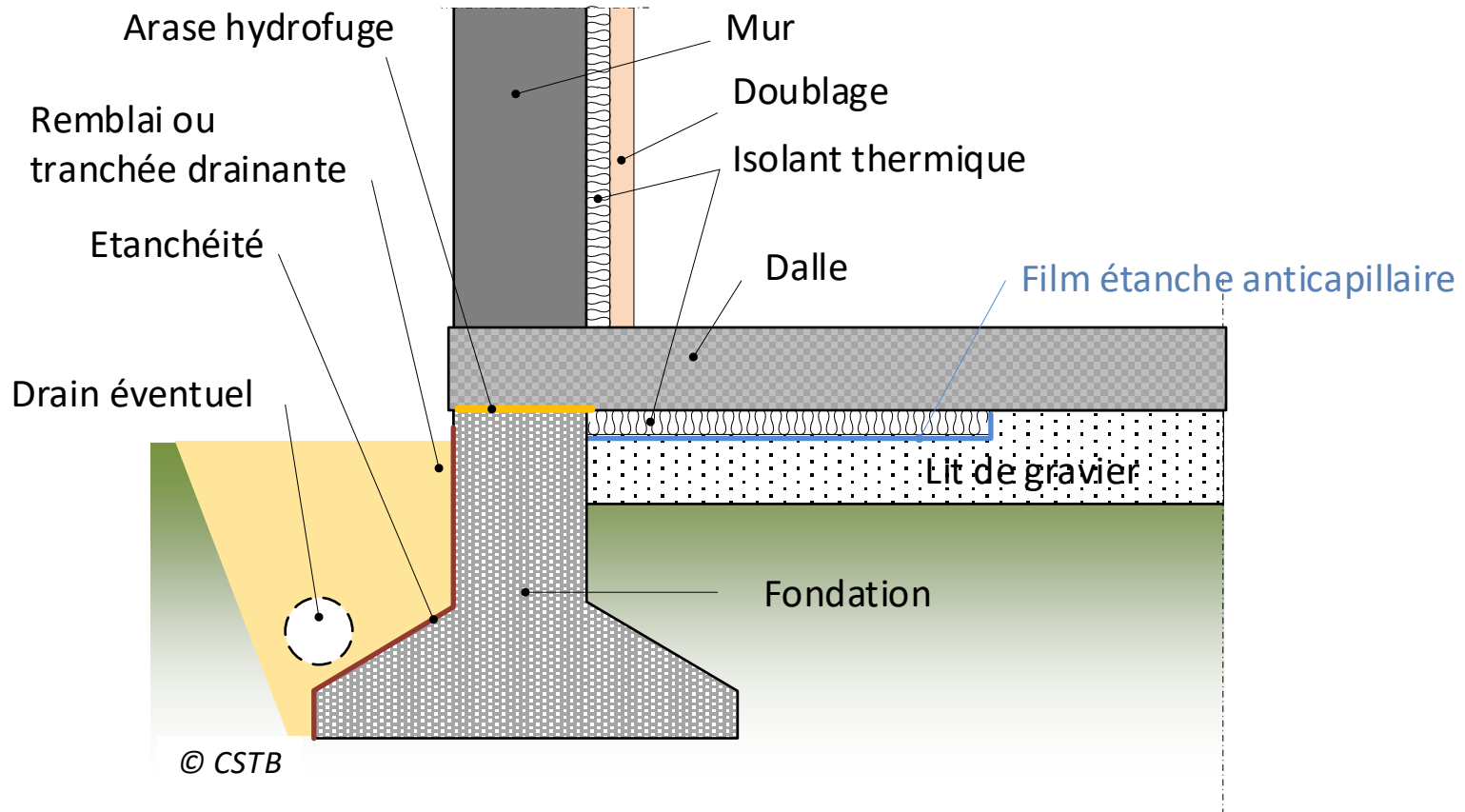
**Radier**

## Dallage indépendant sur terre-plein

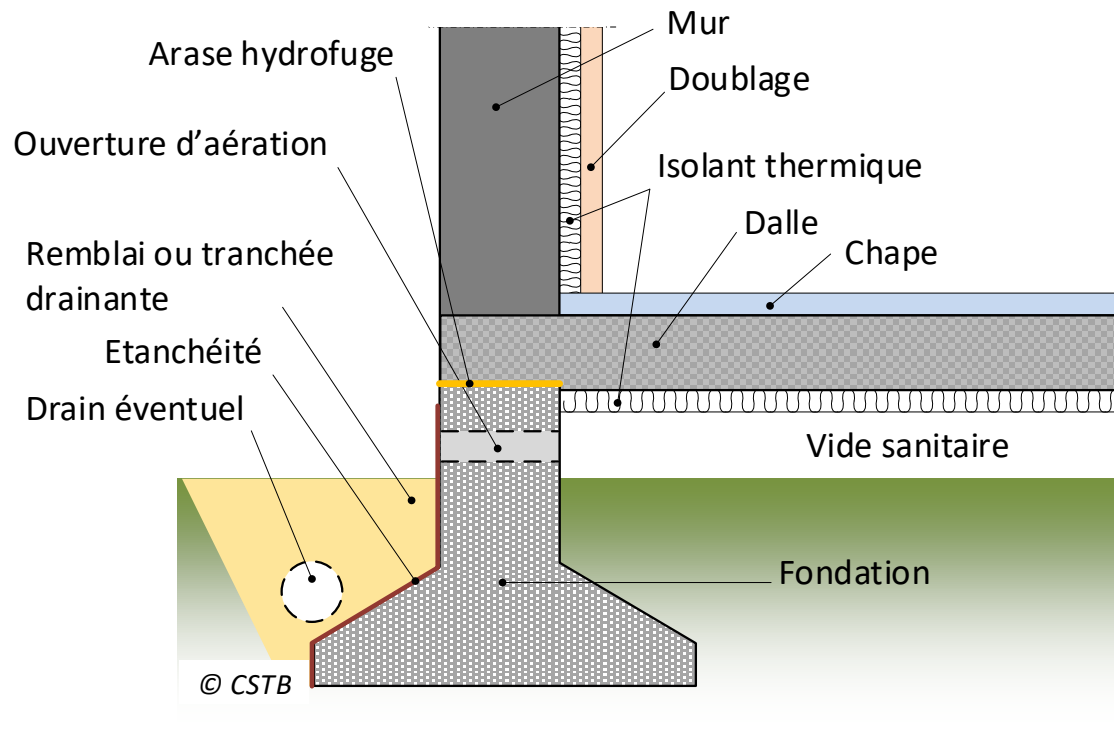


© CSTB

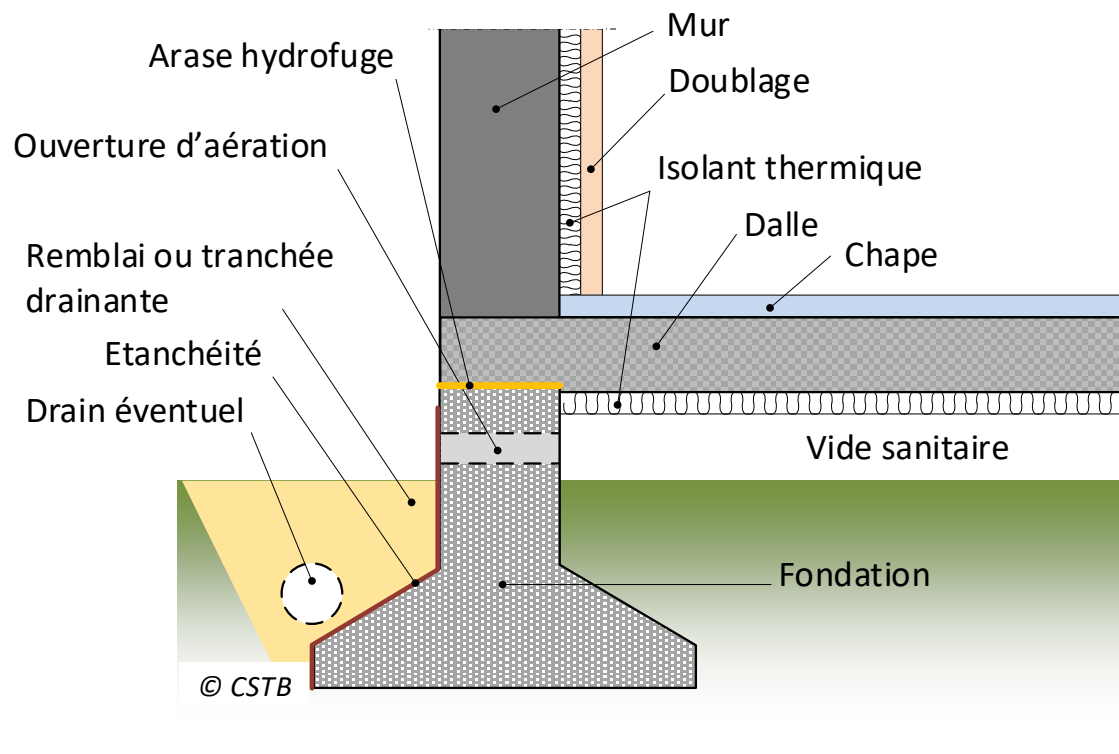
## Dalle portée sur terre-plein



## Dalle sur vide sanitaire (ou cave ou sous-sol)

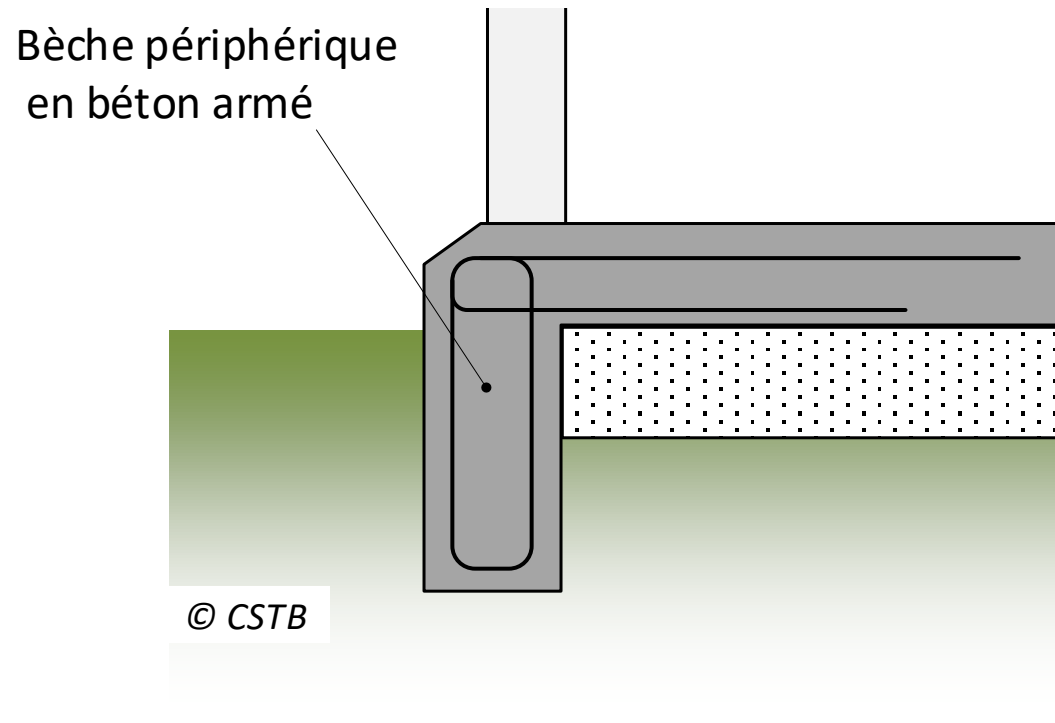


## Types de plancher

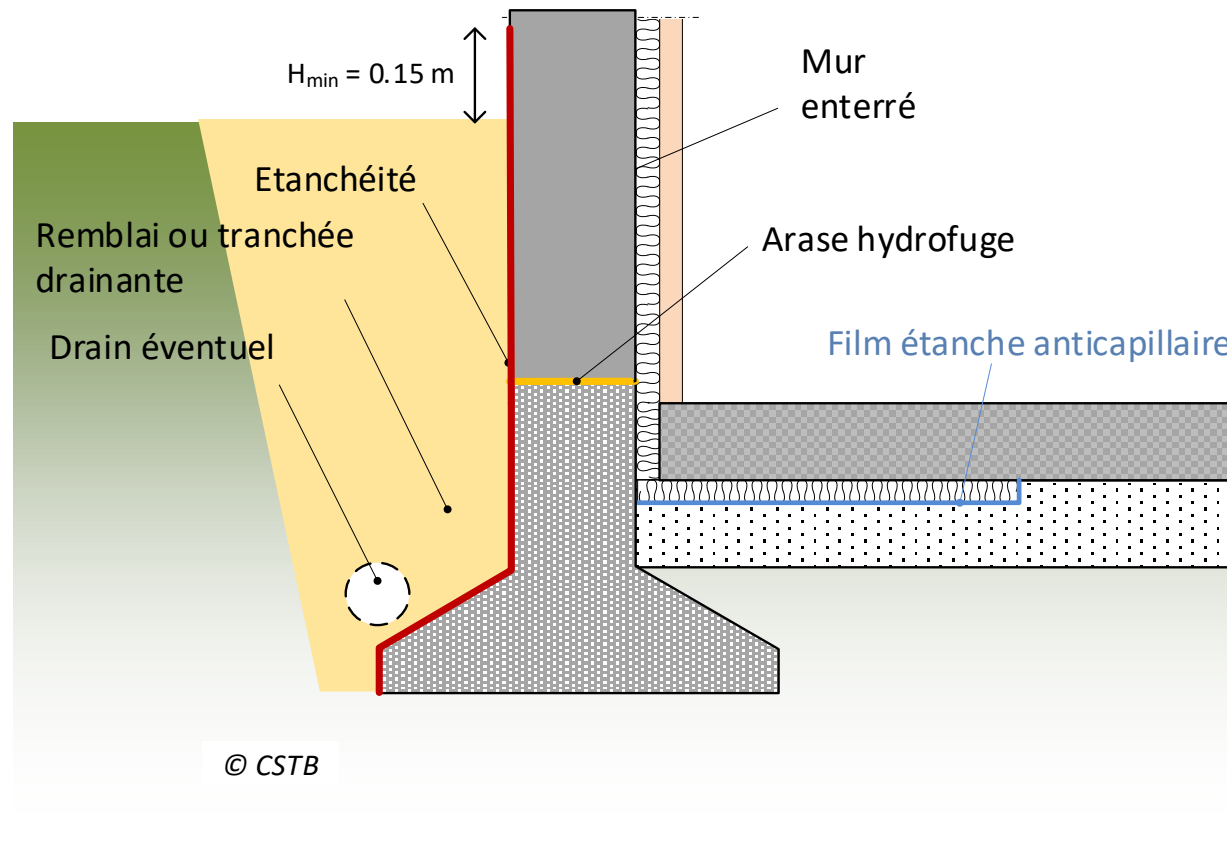




## radier

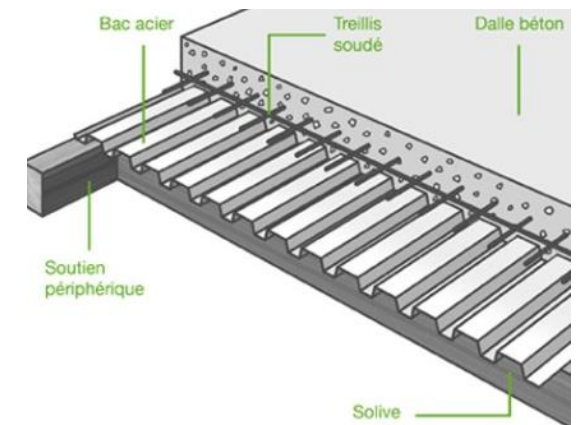
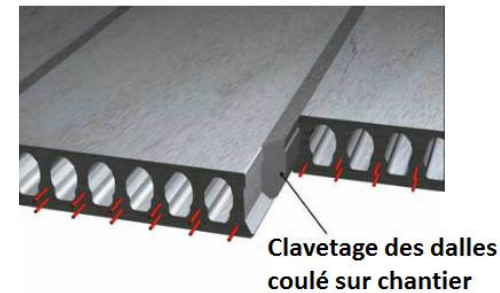
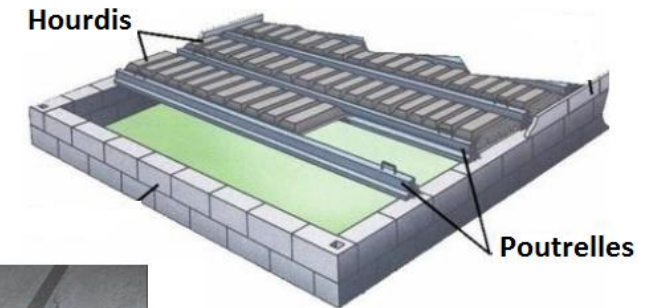


## Mur enterré

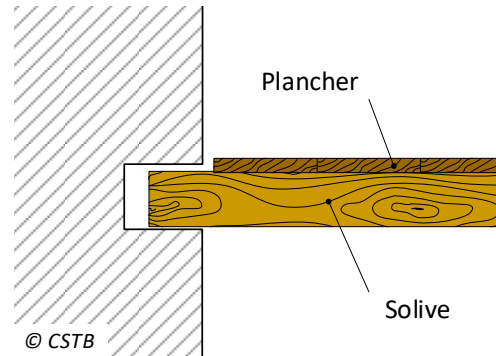


## Types de dalles ou planchers :

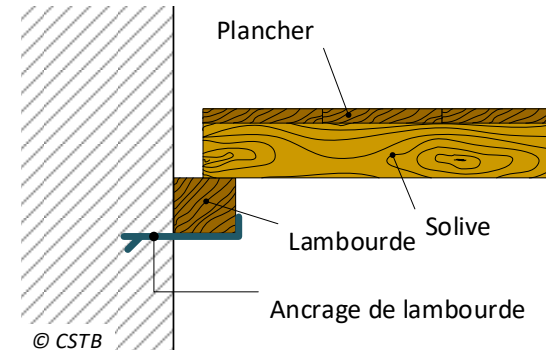
- Dalle béton
- Dalle à entrevous (poutrelles-ourdis)
- Dalle alvéolée
- Dalle mixte béton à bac collaborant,
- Plancher bois,
- ...



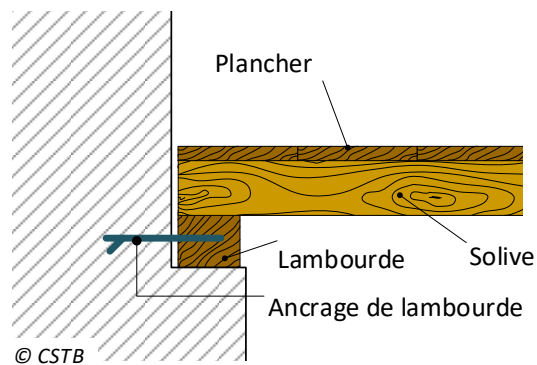
## Planchers bois



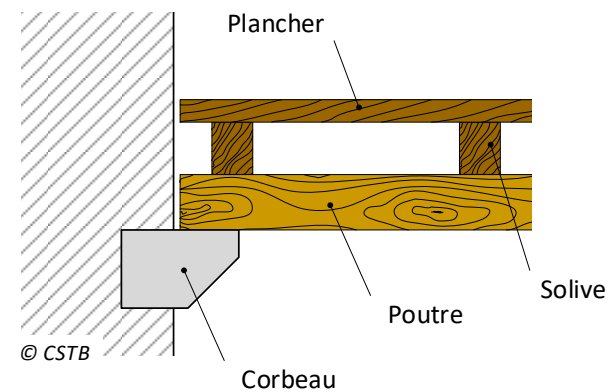
**Solive encastrée**



**Solive sur lambourde**

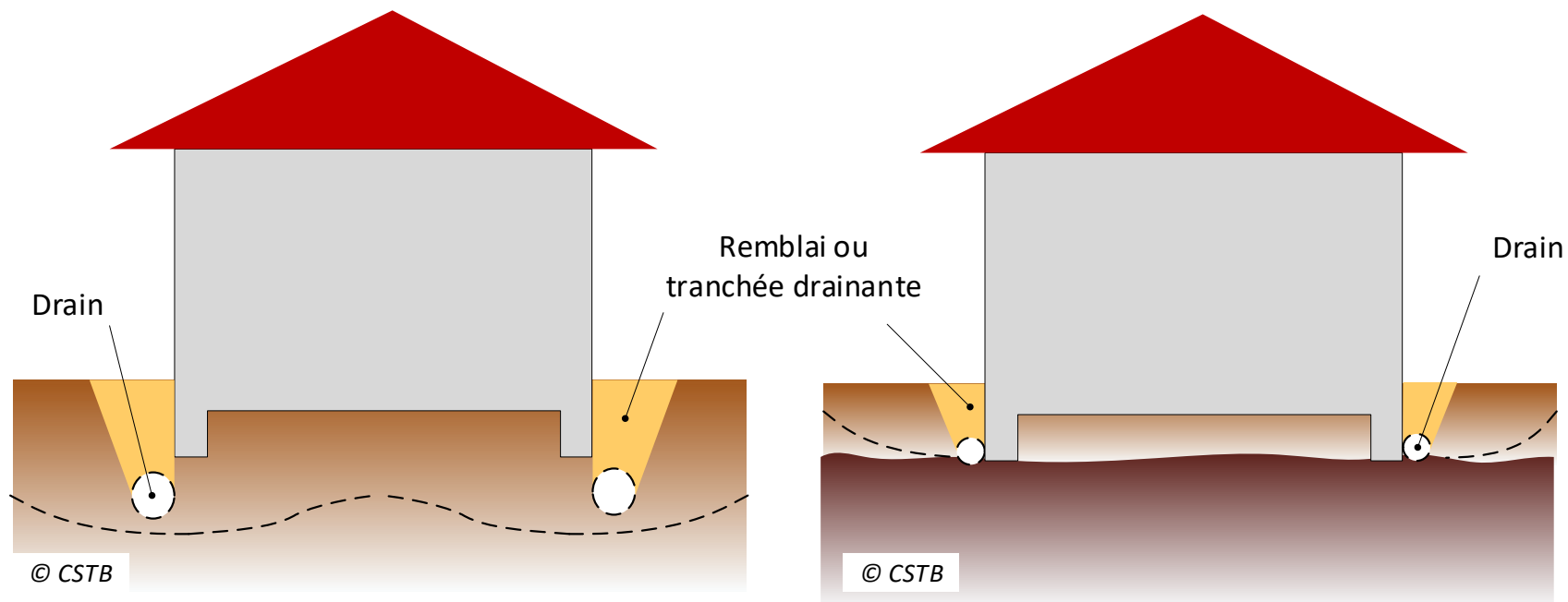


**Solive sur mur à redans**



**Poutre sur corbeau en pierre**

## Drainage

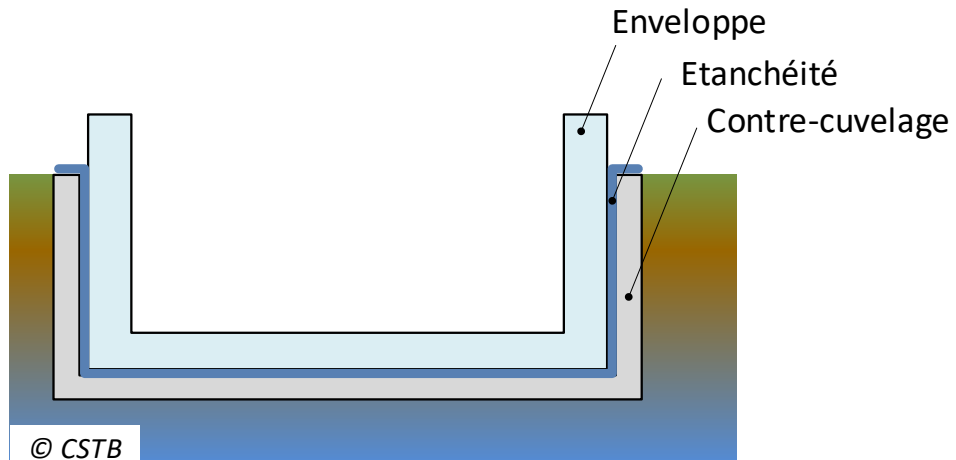


**Sol perméable, risque de remontée de nappe phréatique**

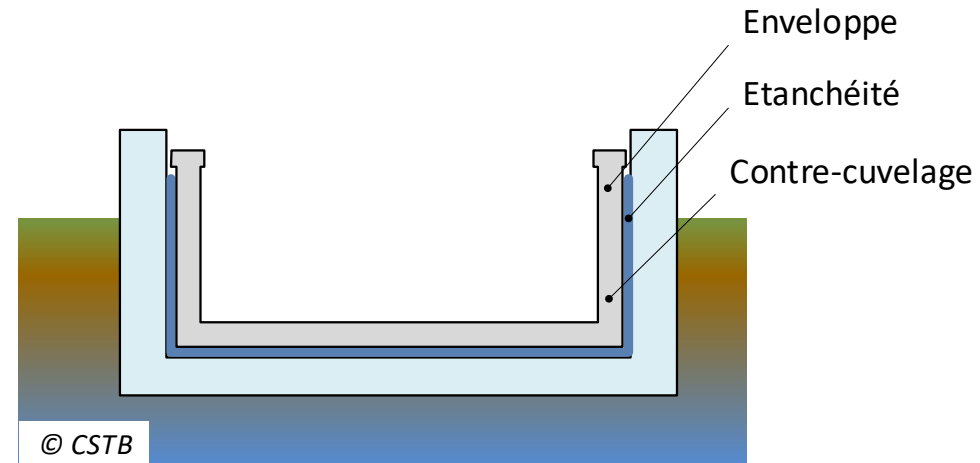
**Sol imperméable, risque d'accumulation d'eau pluviale au pied des fondations**

### Conception de système de drainage

## Cuvelage (risque d'immersion d'un sous-sol)



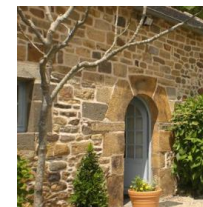
**Cuvelage externe**



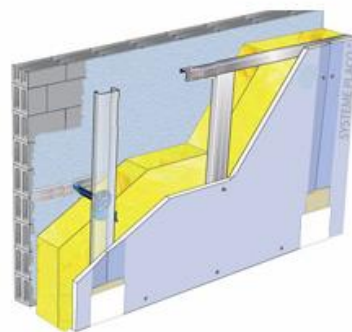
**Cuvelage Interne**

## Types de façades

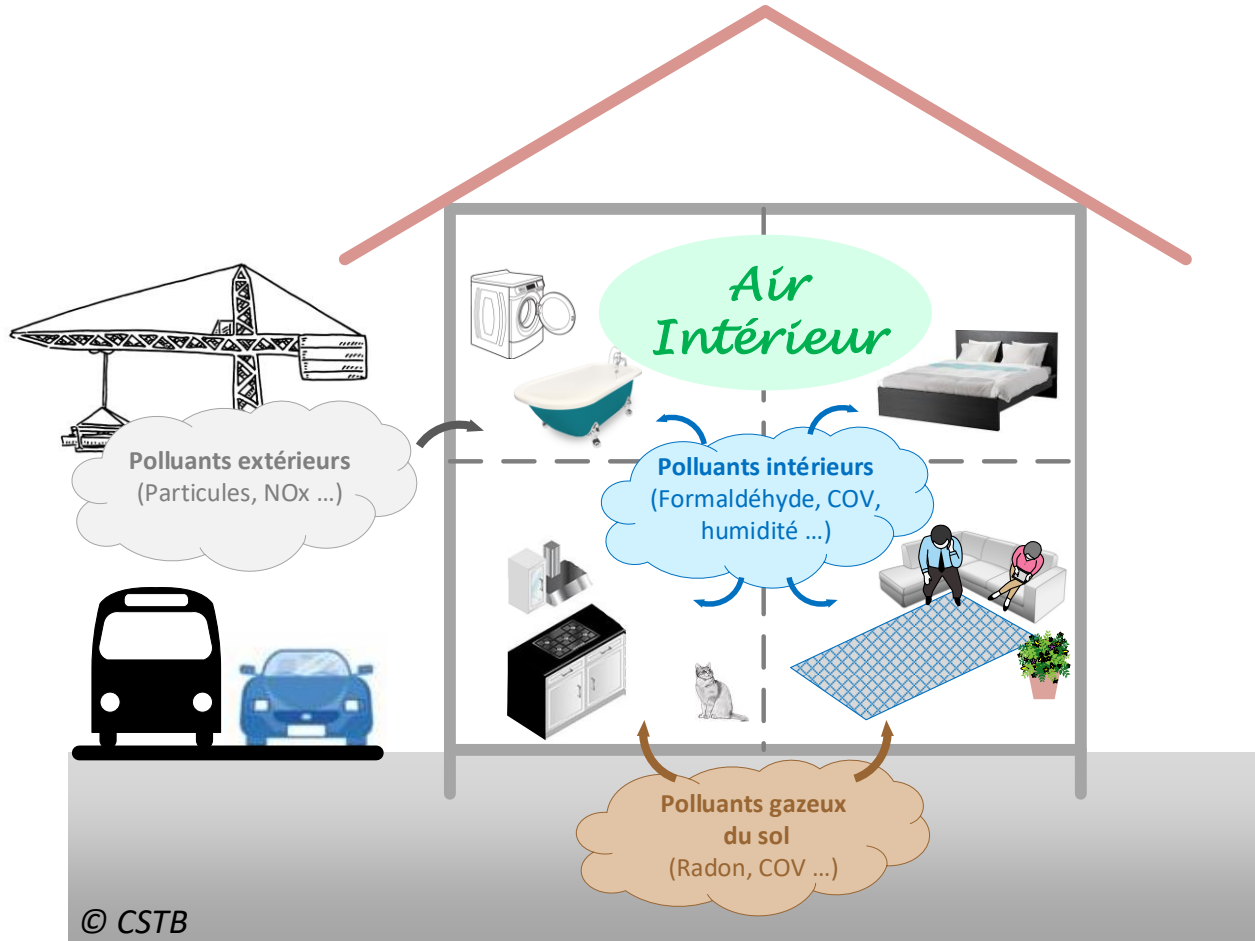
- Mur pleins : béton, pierre, brique
- Murs en parpaing, brique creuse
- Façade double cloison (mur creux)
- Ossature bois



## Isolation extérieure, intérieure, répartie (mono mur)



## Qualité de l'air Intérieur (QAI)





## Objectifs

- Contribuer à une bonne Qualité d'Air Intérieur (QAI)
- Eviter la détérioration de la structure du bâtiment et de ses composants (présence d'humidité, de moisissures)

## Moyens

- Extraction des polluants produits à l'intérieur (vapeur d'eau, COV, odeurs, ...)  
→ efficacité d'élimination des polluants
- Apport d'air extérieur efficace  
→ efficacité du renouvellement d'air

Exigences réglementaires dépendent de l'usage du bâtiment

## Pathologies liées à un défaut de ventilation

### Manque de ventilation

- Condensations moisissures (surtout dans l'habitat)
- Accumulation de composés chimiques (produits de combustion, matériaux de construction et d'ameublement, nettoyage, activités diverses), radioactifs (radon).
- Confinement (propagation bactériologique et virale, inconfort olfactif)

### Trop de ventilation

- Coût énergétique
- Inconfort thermique
- Bruit
- Sick Building Syndrome (S.B.S.) - syndrome des bâtiments malsains  
→ Causes multiples dont ventilation

## Pathologies liées à un défaut de ventilation

### Causes

- Mauvaise conception du système de ventilation
- Mauvaise mise en oeuvre du système de ventilation
- Défaut de maintenance du système de ventilation
- Intervention de l'occupant
- Inadéquation du système de ventilation au bâti
  - > Réhabilitations du bâtiment (thermique, ravalement, cloisonnements intérieurs)
  - > Changement d'usage du bâtiment

## Humidité dans les bâtiments

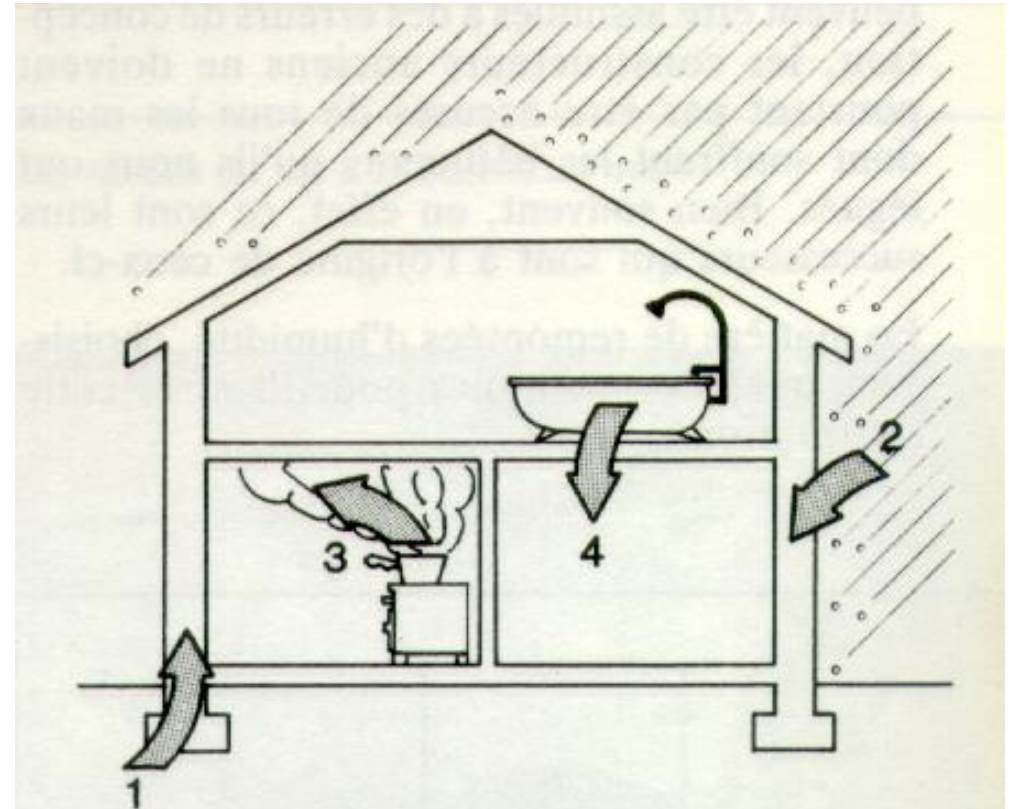
- Défaut le plus fréquent dans les logements français.
- Env. un quart des habitations concernées (INSEE)
- Problème n°1 parmi une liste de défauts comme la mauvaise exposition du logement, bruit, défaut d'installation électrique, panne de chauffage ...



## Présence d'humidité dans les bâtiments

### Causes

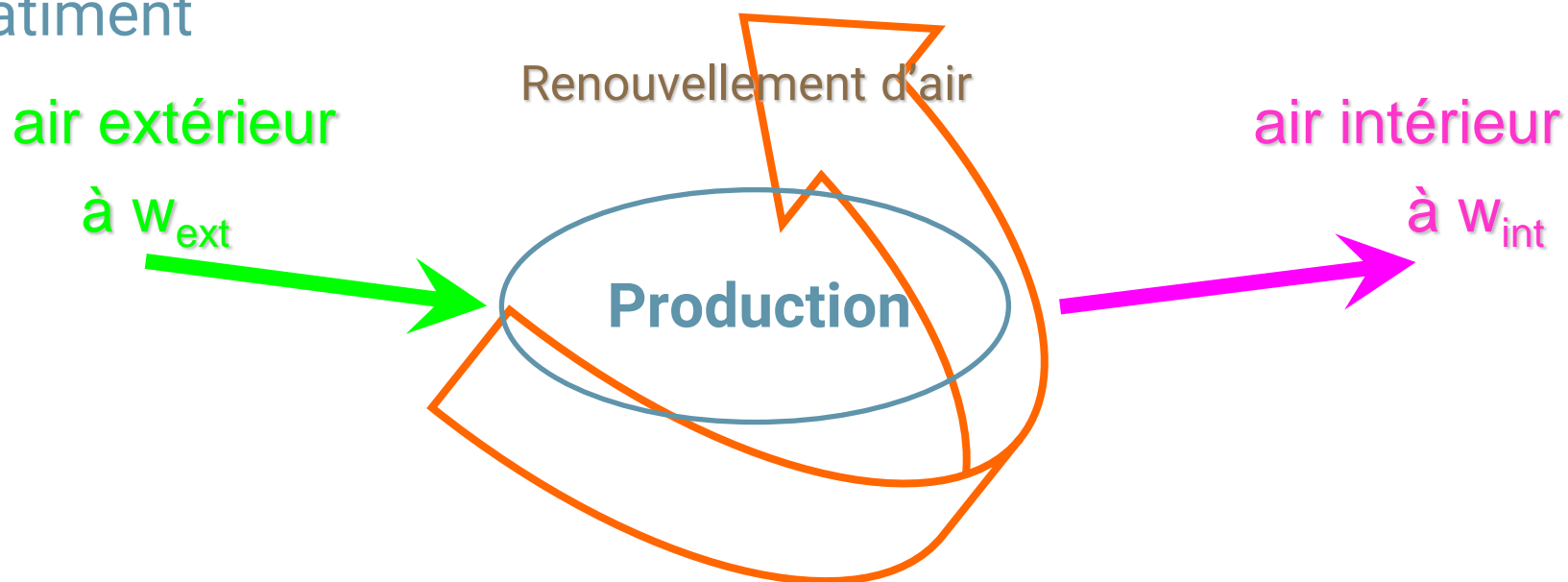
1. Remontées capillaires
2. Infiltrations
3. Production intérieure (activités, présence)
4. Fuites



## Humidité et ventilation

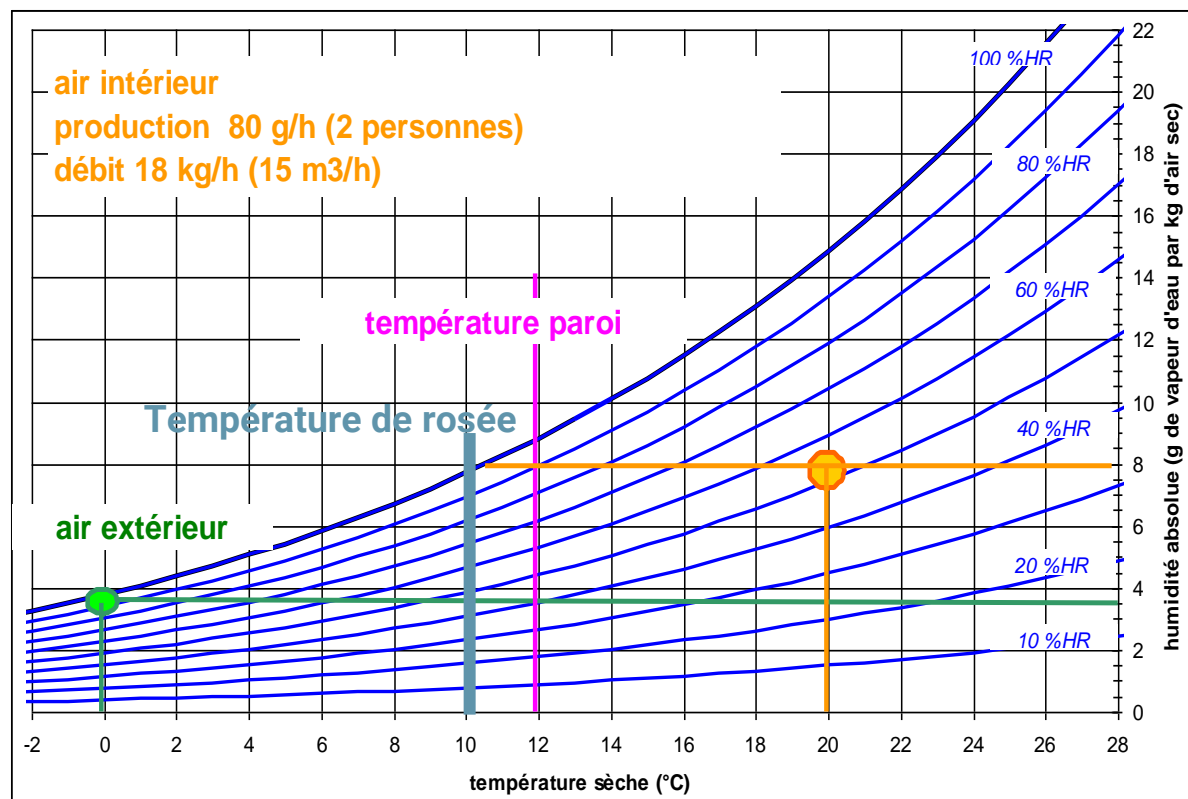
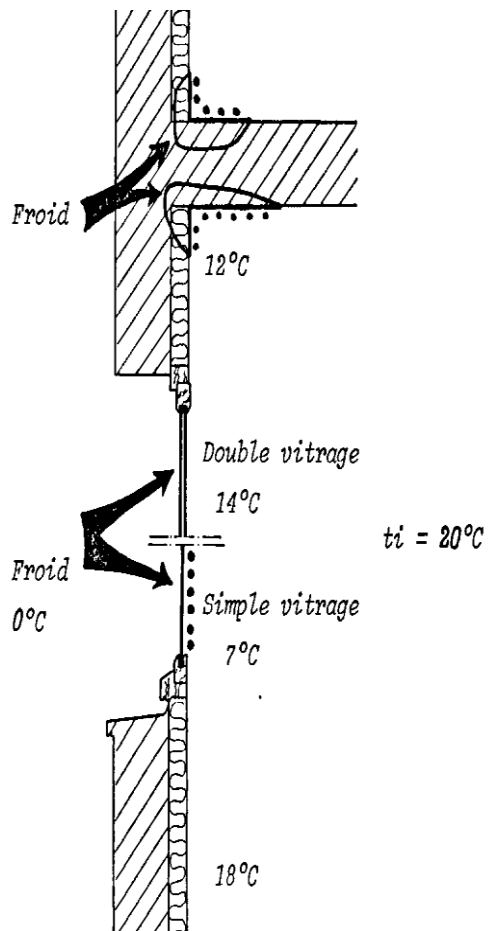
Ventilation :

→ Contribue à éviter la condensation d'humidité dans le bâtiment



$$w_{int} = w_{ext} + \frac{\text{Production}}{\text{débit de renouvellement d'air}}$$

## Risque de condensation

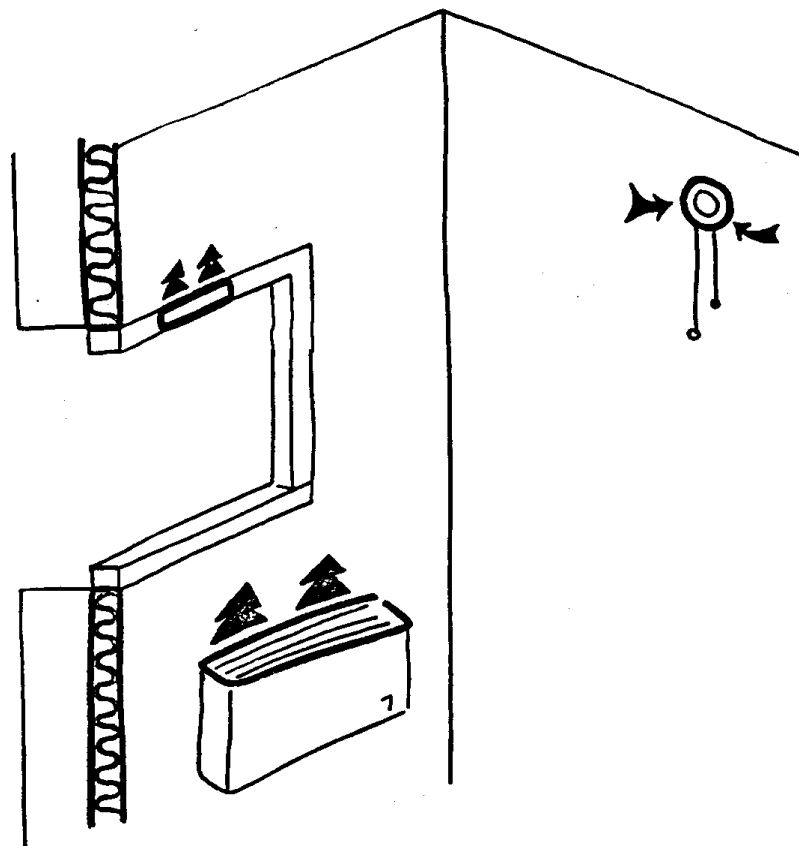


## Limiter les condensations

Isoler

Chauffer

Ventiler





## Point réglementaire

- ***Dans l'habitat***

Exigence sur les débits extraits dimensionnés sur la présence d'H<sub>2</sub>O  
(arrêté du 24 mars 1982)

→ exigence exprimée en fonction du nombre de pièces du logement

- ***Dans le non résidentiel***

Exigence sur l'apport d'air extérieur dimensionnés sur la présence  
de CO<sub>2</sub> (RSdT)

→ exigence de débit d'air "neuf" par personne

## Point réglementaire résidentiel

1937 : Règlement sanitaire départemental

aération WC

conduit de ventilation en cuisine

1958 : Première réglementation nationale

ventilation par pièces séparées

1969 : Ventilation par balayage.

Extraction en pièces humides (Cuisine, SdB, WC).

Amenée d'air en pièces de vie (Séjour, Chambres)

1982 : Ventilation par balayage.

Extraction en pièces humides (Cuisine, SdB, WC).

Amenée d'air en pièces de vie (Séjour, Chambres)

+ réduction possible des débits

## Point réglementaire non résidentiel

### Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT)

- Exigence de débit d'air "neuf" par personne.
- Débits requis entre 15 et 18 m<sup>3</sup>/h/pers.
- "Obtention" de l'exigence possible par ouverture des fenêtres en fonction du rapport volume pièce / surface des ouvrants.

### Conséquences

- Pas de système de ventilation dans de nombreux bâtiments non résidentiels (notamment les écoles).
- Confusion entre l'extraction spécifique des sanitaires et la ventilation générale du bâtiment

## Fonctions associées

filtration

humidification

chauffage

rafraîchissement

confort d'été

...

→ Améliorer le confort

## Fonctions Contraintes

Compatibilité avec les appareils à combustion

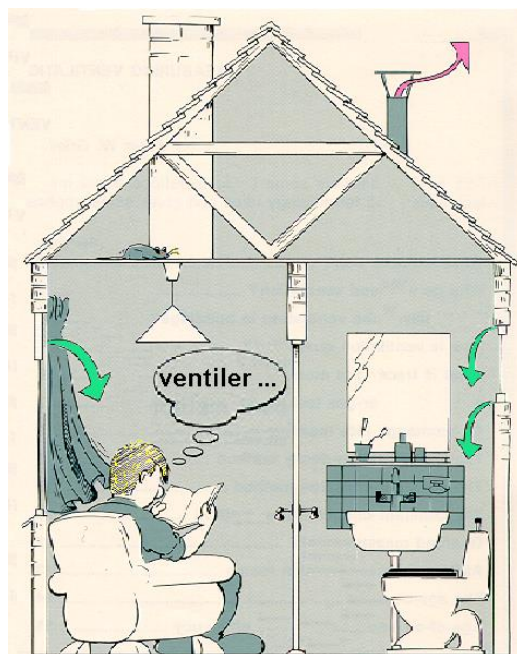
bruit (généré, transmis)

déperditions énergétiques

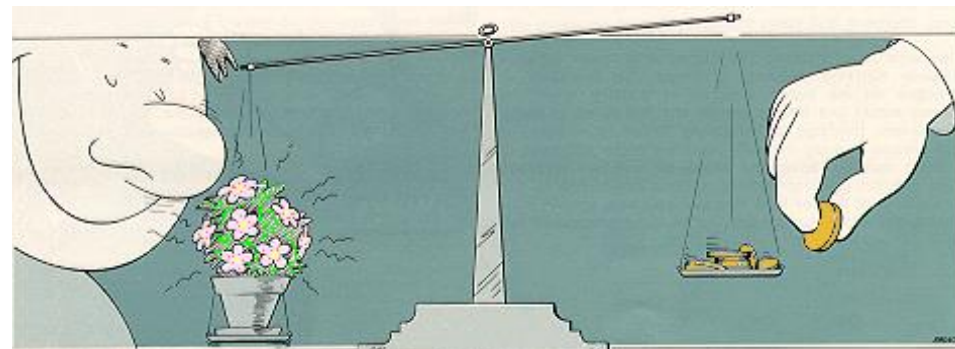
inconfort (courants d'air)

sécurité incendie

## Comment ventiler ?



## A quel coût ?



## Principes de ventilation

### ➤ Ventilation par pièces séparées

Apport d'air extérieur et extraction d'air intérieur dans la même pièce

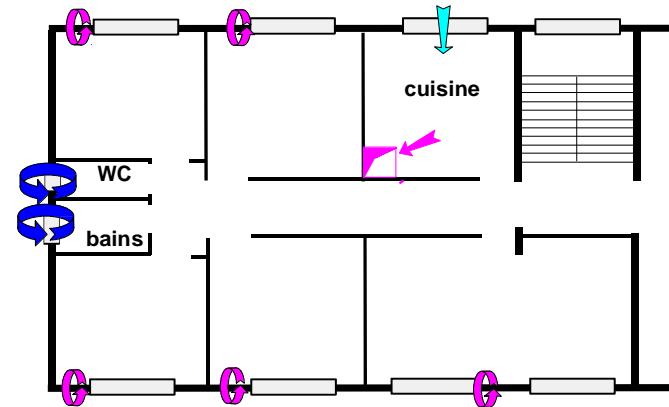


Illustration dans l'habitat

Source CSTB

### ➤ Ventilation par balayage

- Apport d'air extérieur dans les pièces de vie,
- transferts par grille de transit ou détalonnement de portes,
- extraction d'air intérieur dans les pièces techniques

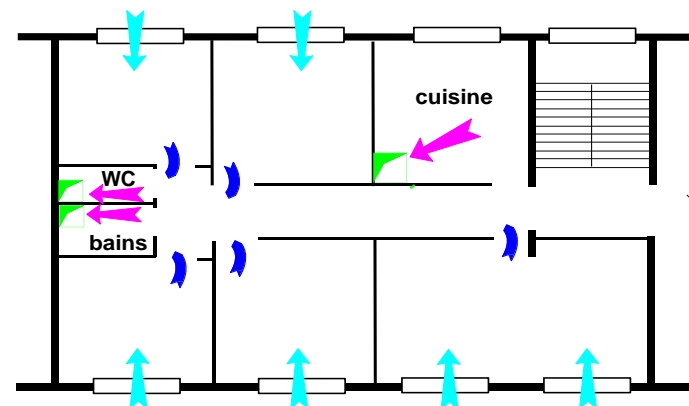


Illustration dans l'habitat

Source CSTB

## Paramètres de la ventilation

1. **Perméabilité à l'air (ou défauts d'étanchéité) de l'enveloppe**
2. **Système de ventilation spécifiques**
3. **Comportement des occupants (ouverture des portes et fenêtres)**

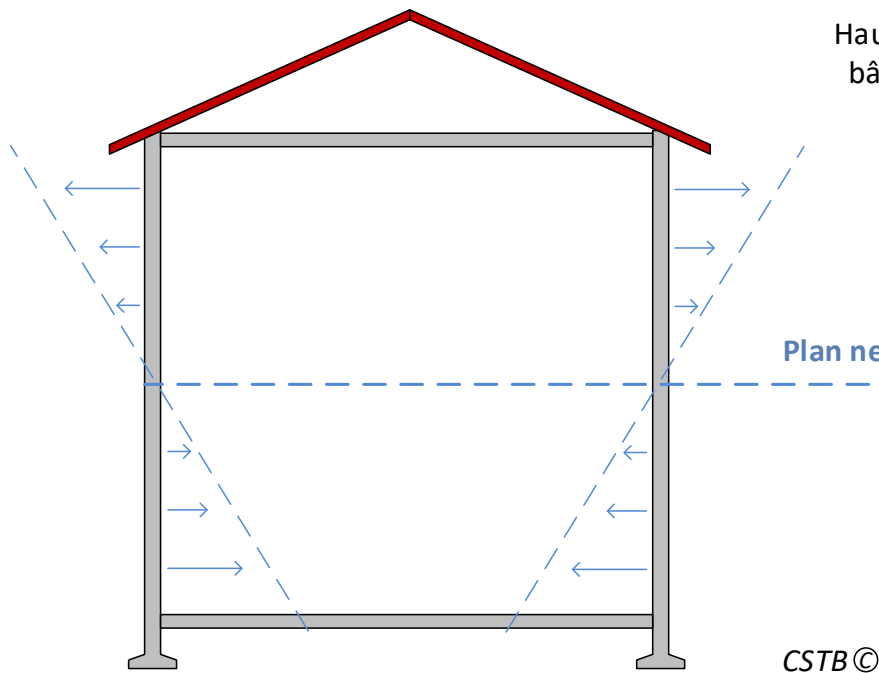
## Moteurs de la ventilation

- ✓ **Tirage thermique**
- ✓ **vent**
- ✓ **ventilateurs**

## Tirage thermique

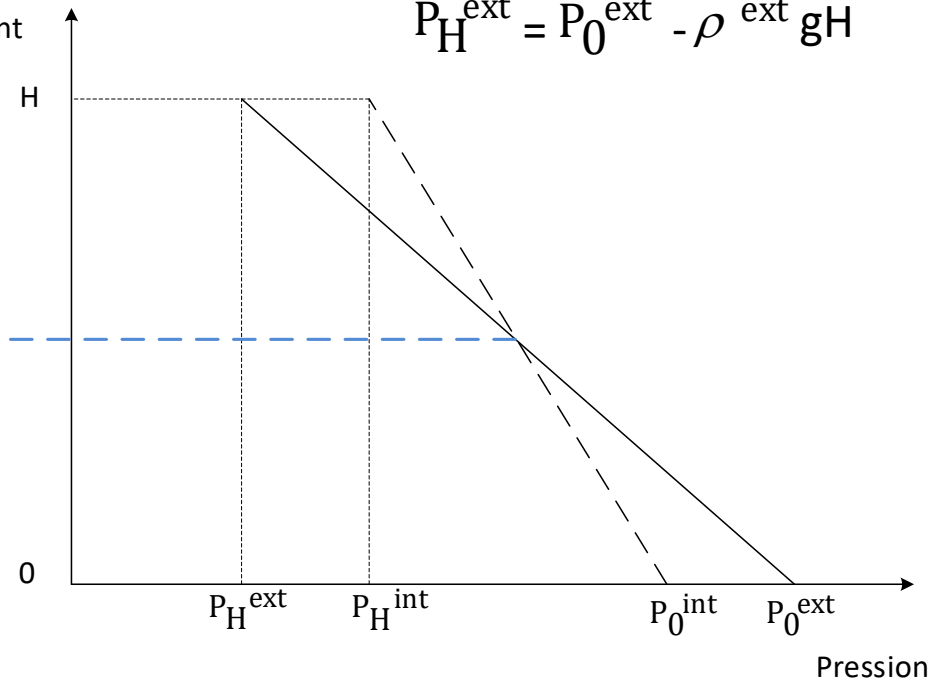
Quand  $T^{\text{ext}} < T^{\text{int}}$  alors  $\rho^{\text{ext}} > \rho^{\text{int}}$

→ Tirage Thermique



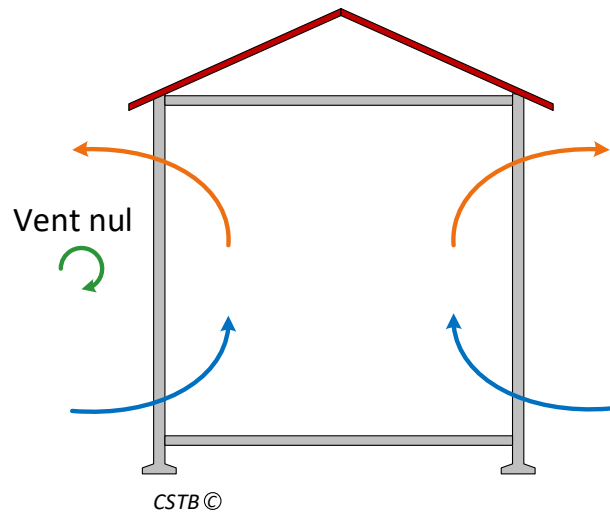
$$P_H^{\text{int}} = P_0^{\text{int}} - \rho^{\text{int}} gH$$

$$P_H^{\text{ext}} = P_0^{\text{ext}} - \rho^{\text{ext}} gH$$

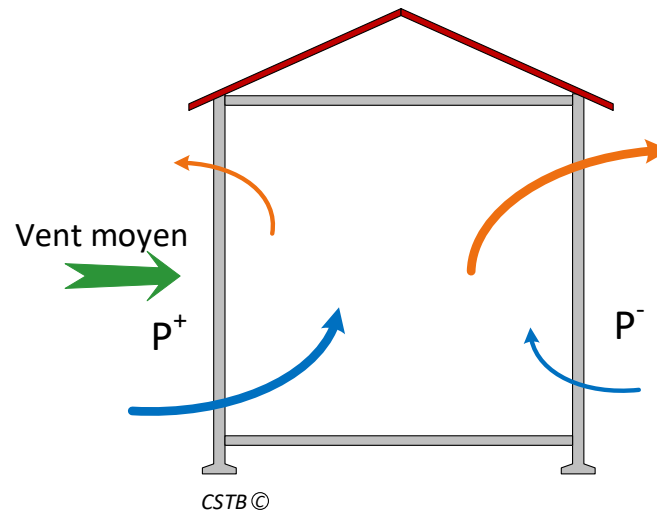




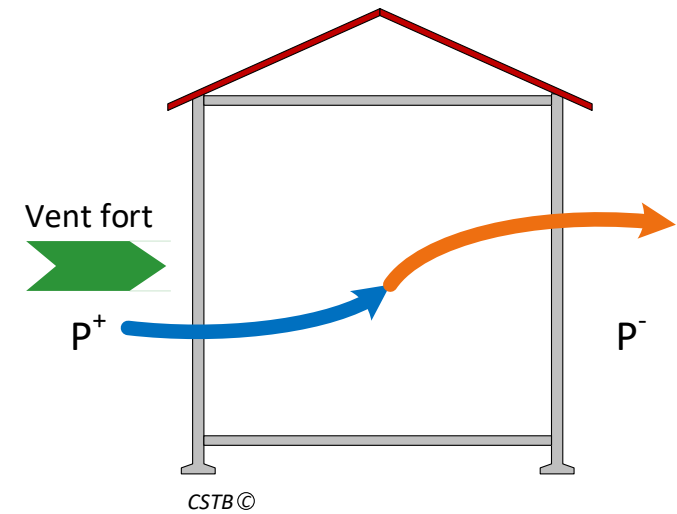
## Tirage thermique et vent



Tirage thermique seul



Effet combiné  
tirage thermique et vent



Débit traversant

## Systemes de ventilation

Ventilation naturelle

Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC) par extraction

Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC) par insufflation

Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC) double flux

Autres systemes (ventilation hybride, VMR, ...)

## Ventilation naturelle et hybride

Moteurs naturels : différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, et force du vent

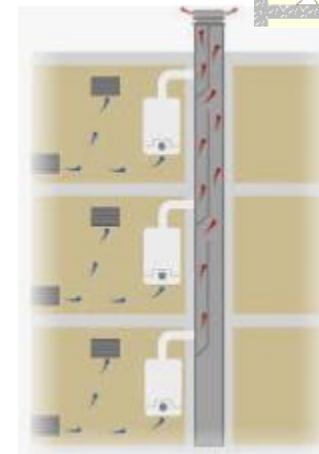
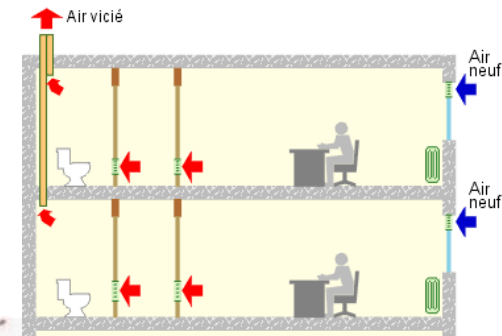
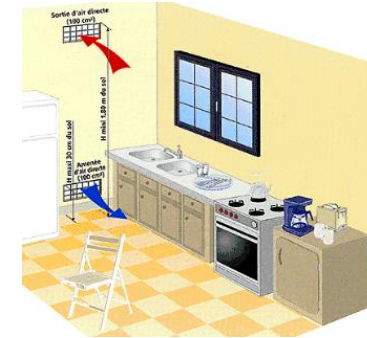
Entrées et sorties d'air par grille ou par conduit

Assistance mécanique possible (asservie ou programmée)

→ « ventilation stato-mécanique » ou « hybride »

Modulation possible asservie à l'humidité intérieure  
« ventilation hygroréglable »

Compatibilité avec fonctionnement des appareils à combustion



## Ventilation naturelle et hybride

### Exemples de débouchés de conduits



### Exemples de grilles d'entrée ou de sortie d'air naturelle



## Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC)

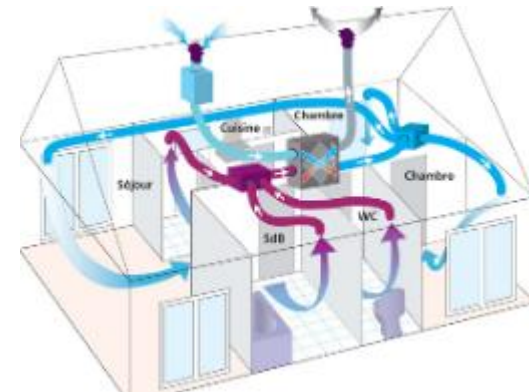
Par extraction mécanique, par insufflation mécanique, double flux



*VMC par extraction*



*VMC par insufflation*



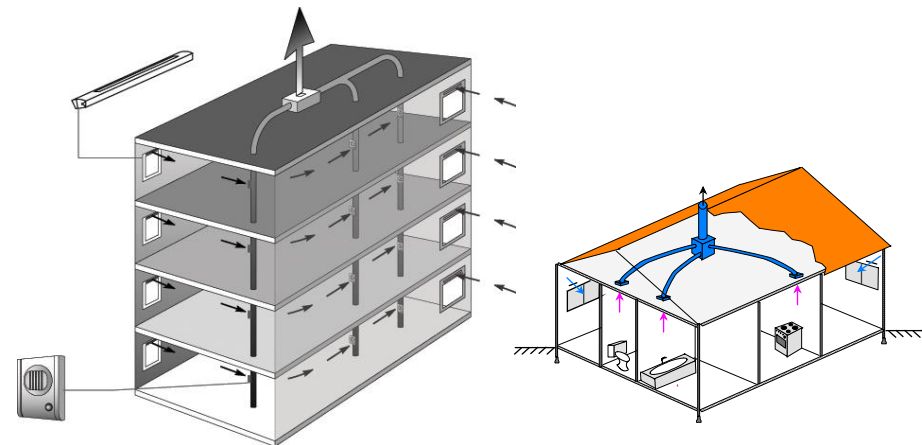
*VMC double flux*

### Asservissements possibles :

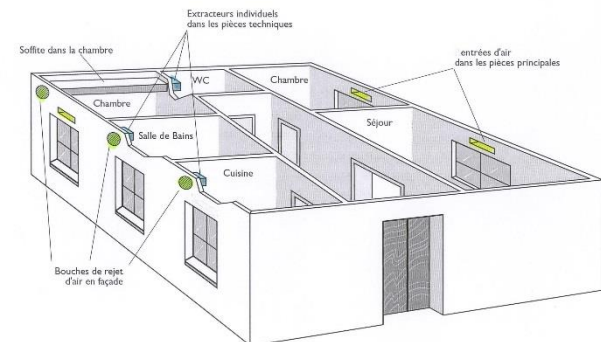
- à l'humidité (habitat – ventilation hygroréglable),
- au niveau de CO<sub>2</sub> ou à la présence (tertiaire)

## Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC)

Systeme centralisé (immeuble) ou individuel (logement)



Cas particulier (rénovation) : Ventilation Mécanique Répartie (VMR) : Groupes d'extraction et ou d'insufflation dans différentes pièces



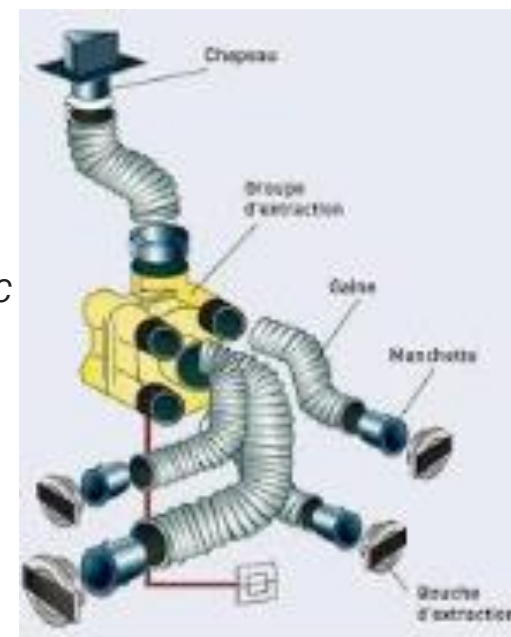
## Composants et systèmes VMC



*Exemple débouché d'extraction de VMC en maison individuelle (MI)*



*Exemple groupe d'extraction de VMC en maison individuelle (MI)*



*Schéma d'extraction de VMC en maison individuelle (MI)*



*Exemple entrée d'air naturelle pour VMC par extraction*



*Exemple bouche d'extraction pour VMC par extraction*

## Conception, réalisation et contrôle

- NF-DTU 68.3 :Travaux de bâtiment - Installations de ventilation mécanique, règles générales de calcul, dimensionnement, mise en œuvre, vérification et maintenance
- Avis TEChnique (ATEC) pour ventilation hygroréglable
- Règlement Sanitaire Départemental Type (RSTD)  
*art. 31.2 : Les conduits de ventilation doivent être en bon état de fonctionnement et ramonés chaque fois qu'il est nécessaire*



## Points à considérer

- Compatibilité avec fonctionnement des appareils à combustion  
NF DTU 24.1 Travaux de bâtiment - Travaux de fumisterie - Systèmes d'évacuation des produits de combustion desservant un ou des appareils
- Mise en défaut possible des principes et systèmes initiaux par les rénovations successives  
→ mélange incohérent de composants, problème de dimensionnement, défaut de mise en œuvre, obturations, obstructions ...
- Pas de métier spécifique pour la conception, la réalisation, le contrôle et la maintenance

Collection  
TABLEAUX MURAUX  
ARMAND COLIN  
100, Boulevard Saint-Michel, PARIS.

# DE L'EAU, DE L'AIR, DE LA LUMIÈRE

HYGIÈNE  
par le D<sup>r</sup> GALTIER-BOISSIÈRE, V.I.P.  
Chirurgien des Colériques, inspecteur de l'Hygiène à l'Etat.

Jusqu'à 14 mois,  
rien que du lait aux  
enfants.

Pas de langes serrés,  
pas de corsets serrés.

Air confiné: air  
vicié.

Tenez vos fenêtres  
ouvertes le jour et  
entr'ouvertes la nuit (en été).

Pas de rideaux aux  
lits, pas d'alcôves.

Où le soleil n'entre  
jamais, le médecin  
entre souvent.



Lait jusqu'à 14 mois (Bon)  
Berceaux aérés (Bon)



Soupes, bouillies (Mauvais)  
Berceaux fermés (Mauvais)



Logement aéré (Bon)



Logement sans air (Mauvais)

Pas de poêles à  
combustion lente.

Faites au moins  
une lieue par jour.

Fuyez le petit verre  
comme la peste.

Maison humide:  
maison malsaine (Rhumatisme, Anémie)

Tête froide, pieds  
chauds, ventre libre.

Assurez-vous que  
votre eau n'est pas  
empoisonnée par les  
fosses d'aisances.



Sobriété (Bon)



Intempérance (Mauvais)



Grand air et Exercice (Bon)



Manque d'exercice (Mauvais)

- Guide technique :

Radon et Sols pollués :

Protection des bâtiments. Guide pour la protection des bâtiments vis-à-vis des polluants gazeux du sol.

Guide technique CSTB. juin 2021.

- Norme NF ISO 11665-8 (méthodologie de dépistage et de mesures complémentaire du radon)

- Norme NF X 46-040 (méthodologie pour le diagnostic technique des bâtiments)

- Association européenne du radon (ERA) : <http://radoneurope.org>

**Il est toujours possible de réduire l'exposition au radon dans un bâtiment !**





## *EXEMPLES DE BÂTIMENTS PROTÉGÉS*

