

FORMATIONS

PREVENIR ET TRAITER LES DESORDRES DANS LE BATIMENT

QUADRAL

Marc VALERY

Contact : Inter : 01 79 06 71 00 / formations@lemoniteur.fr | **Intra** : 01 79 06 72 27 / formations.intra@lemoniteur.fr

Les documents et supports pédagogiques remis au Client à l'occasion de la formation sont la seule propriété de l'Organisateur qui en est seul détenteur des droits de propriété intellectuelle. Ils sont destinés à l'usage personnel du Client et pour ses besoins propres exclusivement. Leur remise lors de la Formation n'emporte aucun droit de reproduction, de diffusion, de commercialisation ou d'adaptation en tout ou en partie auprès de tiers, notamment via un intranet ou un site internet.

PREVENIR ET TRAITER LES DESORDRES DANS LE BATIMENT



Séisme d'IZMIT 1999

Sommaire

- Introduction
- Rappels sur la composition et les fonctions d'un bâtiment
 - Notions de structures du bâtiment.
 - La résistance des matériaux.
 - L'enveloppe du bâtiment.
 - Les fonctions du bâtiment.
- Identifier les sources pathogènes externes et internes au bâtiment.
 - Statistiques concernant les déclarations de sinistres par type de bâtiment, pathologie et ouvrages.
 - Analyse des facteurs externes et leurs conséquences sur la structure et l'enveloppe du bâtiment
 - Les Phénomènes naturels
 - Séismes
 - Sécheresse
 - Les phénomènes souterrains
 - Sols
 - Eaux et nappes
 - Les phénomènes aériens
 - Intempéries
 - Pollutions
 - Les pathologies de second œuvre.
 - Charpentes et couvertures
 - Etanchéités
 - Fissurations de façades
 - Ponts phoniques
 - Le traitement de l'air.
 - Les réseaux.
 - Electricité
 - Eau
 - Chauffage et Climatisation
 - Ascenseurs
 - Voiries

- Gestion des pathologies

- Diagnostic

- Etablir au mieux l'historique de la construction.

- Définir l'origine et la gravité des désordres

- Définir les urgences et déterminer les méthodes et leur conséquence

- Mise en place d'une planification d'intervention.

Introduction

Le bâtiment n'est pas un objet immuable.

Ce qui nous semble bien fini aujourd'hui, aura comme toute chose, une vie, une dégradation et peut être une ruine.

Pour simplifier, on peut dire que tout bâtiment est appelé à avoir des désordres pour plusieurs raisons :

- Par l'influence de ce que l'on appelle des catastrophes naturelles.
- Par la mauvaise conception initiale.
- Par des interventions ultérieures mal menées.
- Par l'usure normale des matériaux et matériels.
- Par une conjonction de plusieurs de ces facteurs.

On peut classer ces désordres en 4 familles :

- Les désordres d'aspect.
- Les désordres de confort.
- Les désordres structurels.
- Les ruines.

Cette intervention, ne portera pas sur l'aspect juridique, sur la faute à qui, mais sur le que fait t-on ?

A part catastrophe majeure, ou la rénovation s'avérerait difficile où impossible, tout désordre serait techniquement réversible.

Les éléments qui rentrent en général en ligne de compte dans le choix seront :

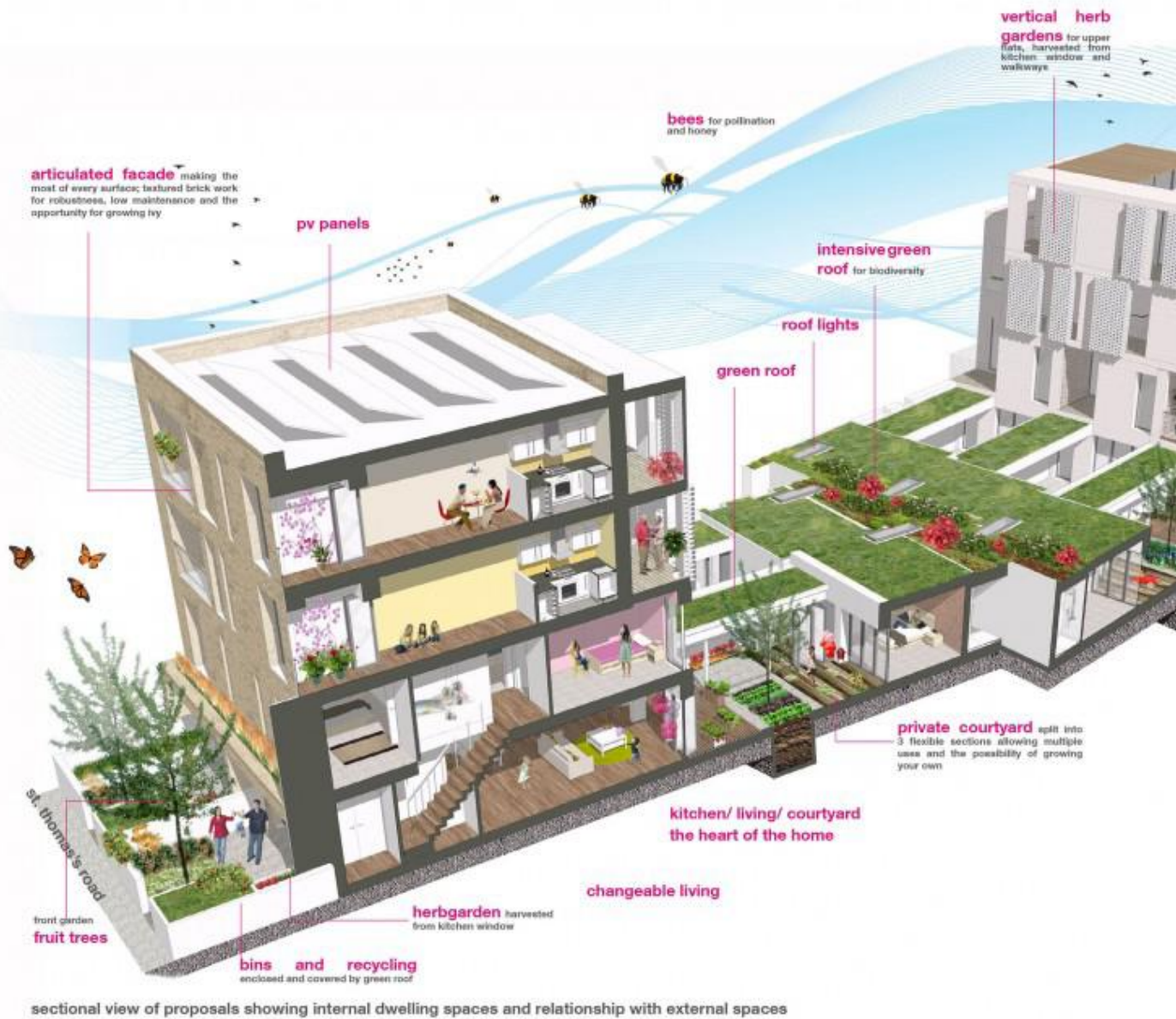
- L'urgence de l'intervention.
- Les techniques à mettre en Œuvre.
- Leurs coûts.

Aujourd'hui dans le cadre du concept de « développement durable », on envisage en plus la réversibilité de toute construction, les capacités de recyclage des matériaux qui ont servis à la construire, ainsi que les coûts de fonctionnement et de maintenance.

La réglementation et la normalisation des produits du bâtiment et des façons de construire ont beaucoup évolués, et amener un mieux dans les pratiques.

On pourrait donc penser que tout ira mieux demain.....

Mais l'augmentation de la production de construction de toute nature, la sophistication des bâtiments au niveau technique, l'usage de nouveaux matériaux et matériels et surtout des mises en œuvre aléatoires, amèneront d'autres types de problèmes.

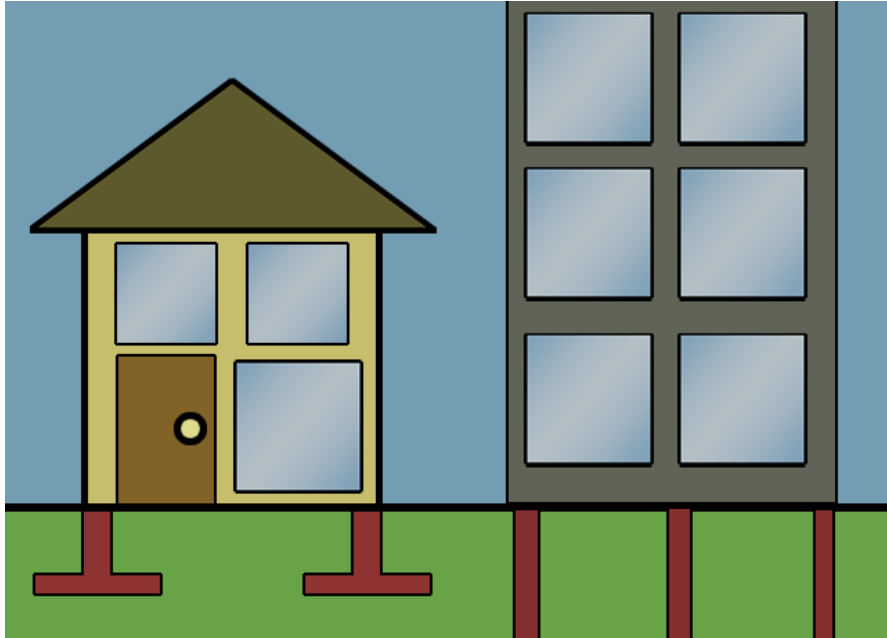


Un désordre a d'abord des causes et ensuite des effets.
Donc on essaiera de traiter d'abord la cause si cela est possible.

La correction des désordres se fera en général dans l'ordre suivant :

- Mise en sécurité de l'existant (personnes et biens).
- Mise au clair des raisons de désordres.
- Mise en œuvre des correctifs.
- Traitements des effets.

- Rappels sur la composition et les fonctions d'un bâtiment
 - Notions de structures du bâtiment.
 - Fondations



Fondations superficielles (à gauche) et fondation profondes (à droite).

Une **fondation** se définit comme un élément architectural d'un bâtiment qui assure la transmission et la répartition des charges de cet ouvrage dans le sol (poids propre du bâtiment, forces climatiques et surcharges liées à son utilisation).

Les fondations d'un bâtiment représente un enjeu essentiel de son architecture, car elles forment la partie structurelle qui s'oppose au tassement et aux infiltrations. Selon la capacité portante, les forces mises en jeu et les tassements admissibles, le constructeur choisira une solution du type fondation superficielle, semi-profonde ou profonde, qui diffèrent par leur géométrie et leur fonctionnement.

En dernier recours, si le sol en place ne possède pas les qualités suffisantes pour qu'on puisse y fonder l'ouvrage, des techniques de renforcement des sols sont utilisables.

Dimensionnement des fondations



Carte de France déterminant la profondeur des fondations à une altitude de 150 m

Les fondations varient selon la qualité du sol sur lequel le bâtiment doit être implanté, ainsi que selon la nature et la taille du bâtiment. Il est fortement recommandé que ce sol soit de bonne portance et peu sujet au tassement. L'ingénieur chargé de l'étude du type de fondation et du niveau d'assise d'un ouvrage est un ingénieur géotechnicien.

Selon la hauteur d'encastrement (« D »), c'est-à-dire l'épaisseur minimale des terres qui se trouvent au-dessus de la base de la fondation, et la largeur de la base (« B »), on peut définir les fondations comme étant :

- superficielle si $D < 1,5.B$
- semi profondes si $1,5.B < D < 5.B$
- profondes si $D > 5.B$

Le dimensionnement des fondations doit respecter la norme française DTU 13.12. Lorsque l'on définit les situations de calcul et les états limites, il convient de considérer les facteurs suivants :

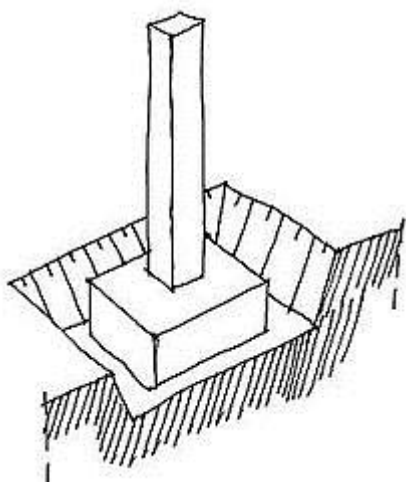
- les conditions du site en termes de stabilité globale et de mouvements du sol,
- la nature et la taille de la structure et de ses éléments, y compris des exigences spéciales comme la durée de vie de calcul,
- les conditions relatives au voisinage du projet (par exemple, structures avoisinantes, circulation, réseaux divers, végétation, produits chimiques dangereux),
- les conditions de terrain,
- l'état des eaux souterraines,
- la sismicité régionale,
- l'influence de l'environnement (hydrologie, eaux superficielles, affaissements et subsidence, variations saisonnières de la température et de l'humidité)

Depuis 1997, les fondations doivent être dimensionnées selon la norme européenne Eurocode-7

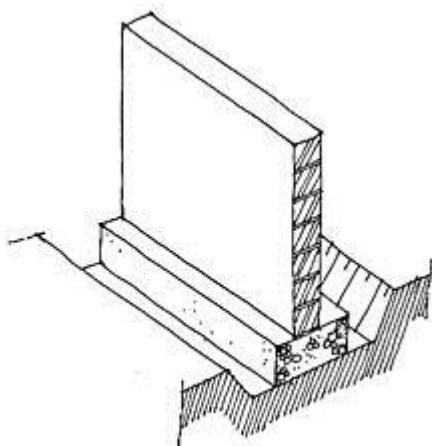
Par ailleurs, les cycles de gel dégel peuvent déstructurer le sol d'assise des semelles de fondation et c'est pourquoi il est impératif de construire les fondations à une profondeur « hors-gel » suffisante. Cette profondeur varie en fonction de la région à laquelle appartient la construction ainsi que de son altitude. La carte ci-contre indique en mètres la profondeur à respecter en France pour atteindre un niveau hors-gel pour une altitude entre 0 et 150 m. Pour chaque 200 m supplémentaires, on ajoute 5 cm à la valeur lue.

Selon la capacité portante du sol, les forces mises en jeu et les tassements admissibles, trois types de fondations sont envisageables : superficielle, semi profonde et profonde.

Fondations superficielles



Fondation en semelle isolée (sous un poteau)



Fondation en semelle filante (sous un mur)

Présentation

Les fondations superficielles forment un type d'assise pouvant être mise en place sur des sols de bonne portance, c'est-à-dire capables de reprendre les charges du bâtiment en entraînant un tassement minimum¹. Leur simplicité de réalisation et leur faible coût font de ce type de fondation les structures les plus courantes.

Selon la structure qu'elles supportent, les fondations superficielles peuvent porter différents noms :

- on parlera de plots de fondation ou semelles isolées si elles se trouvent sous un pilier ou un poteau,
- on parlera de semelles filantes ou linéaires si elles supportent un voile ou un mur,
- on parlera de radier si elles forment une dalle posée sur le sol (par exemple comme plancher de sous-sol).

Le niveau de sol sur lequel reposent les fondations superficielles est appelé "niveau d'assise", "fond de coffre" ou encore "fond de fouille".

Mise en place de fondations superficielles

Différentes étapes sont nécessaires à la création de fondations superficielles² :

- Les premières opérations devraient consister par un débroussaillage et un dégazonnement : tous les végétaux de surface (herbes, arbustes, arbres, racines) sont arrachés de la zone d'emprise des travaux et sont évacués hors des limites du chantier (en effet, ces matières végétales sont impropres aux opérations ultérieures de remblai).
- Le décapage en découverte : une couche superficielle, dite de « bonne terre » ou de « terre végétale », est retirée puis stockée sur le chantier. Le produit de cette opération de déblai pourra être utilisé, après achèvement des travaux, pour l'aménagement des abords de la construction.
- L'implantation : un piquetage de la zone à terrasser est réalisé, de préférence par un géomètre et/ou le chef de chantier.
- Le creusement des fouilles : dans le cas de semelles filantes, elles sont effectuées en rigole (moins de deux mètres de largeur sur moins d'un mètre de profondeur).
- Le coulage du béton de propreté, effectué sur une épaisseur de 5 à 10 cm environ : il a pour objectif l'isolation des armatures (afin d'éviter toute apparition de rouille). Il est faiblement dosé (en général, 150 kg de ciment pour un mètre cube).
- La mise en place des armatures.
- Le coulage de la semelle.

Lorsque la capacité portante du fond de coffre n'est pas homogène, la mise en œuvre d'un radier général sera une alternative économique aux fondations semi profondes et profondes.

Fondations profondes et semi profondes

Présentation

Les fondations profondes et semi profondes sont des structures permettant de fonder un bâtiment en profondeur lorsque la couche superficielle de sol n'est pas suffisamment résistante pour employer des fondations superficielles : la reprise des charges se fait alors par la résistance du sol sous la base de la fondation (portance) à laquelle s'ajoutent les frottements latéraux exercés par le sol sur la fondation (résistance à l'enfoncement). Un exemple simple de ce phénomène est un parasol installé dans le sable : la résistance du sol augmente au fur et à mesure que le tube s'enfonce.

L'interaction entre la fondation et le sol fait alors intervenir la notion de *profondeur critique*³ : au-delà de cette profondeur, la résistance sous la base de la fondation n'augmente plus, et la longueur de la fondation profonde devient alors le critère déterminant de son dimensionnement. C'est le cas des fondations profondes, généralement appliquées dans le cas d'un sol stable à une profondeur supérieure à 6-8 m.

Dans le cas de la fondation semi profonde, la fondation se trouve au-dessus de cette profondeur critique, et le frottement latéral n'est plus prédominant dans la résistance au tassement. Le dimensionnement se fait alors au cas par cas selon la méthode des fondations superficielles ou profondes. Ce type de fondation, atteignant généralement une profondeur comprise entre 3 et 6m, est utilisé lorsque des fondations superficielles ne peuvent être réalisées et que des fondations profondes ne sont pas nécessaires, ce qui évite un coût trop important.

Mise en place de fondations profondes

Il existe de nombreux types de fondations profondes, qui diffèrent par leur mode d'installation et de fonctionnement. Les plus courants sont les fondations en pieux qui peuvent être battus, foncés ou forés (avec ou sans refoulement du sol). La technique de la paroi moulée est également très répandue, en particulier lors de la construction de fouilles (parking souterrains, tranchée couverte, etc.), où elle possède également un rôle de paroi de soutènement.

D'autres techniques peuvent être utilisées comme fondations profondes : micropieux, jet-grouting, palplanches, etc. Lorsque les ouvrages d'infrastructure se trouvent soumis aux composantes horizontales des pressions hydrostatiques, la réalisation d'un cuvelage sera parfois nécessaire pour garantir l'étanchéité à l'eau (principe inverse de la piscine).

Mise en place de fondations semi profondes

Ce type de fondation peut être utilisée dans le cas d'un sol stable en faible profondeur : des puits d'une profondeur suffisante pour se stabiliser sur la couche stable sont remplis de "gros béton" (un béton grossier d'environ 200 kg de ciment/m³). Bien souvent, ces puits peuvent être creusés à la pelle mécanique hydraulique, permettant ainsi à l'entreprise de gros oeuvre de réaliser l'ouvrage sans faire appel à une entreprise spécialisée, comme dans le cas de fondations profondes.

On a également souvent recours au système de puits et longrines préfabriquées. Dans ce cas, les longrines sont posées sur les plots ainsi créés et permettent de supporter le poids des murs. Elles se rejoignent au niveau de nœuds (clavetages).

En plus leur simplicité d'exécution, les fondations semi profondes offre aussi l'avantage de se prémunir contre le phénomène de gel et de dégel des sols.

Renforcement de sol



Fondation antisismique décollée par isolement bas⁴ : appui sur galets caoutchouc en tête de fondation, Municipal Office Building, ville de Glendale, CA

Les techniques de renforcement des sols ont pour objectif d'améliorer *in-situ* les caractéristiques d'un sol peu résistant afin de permettre l'emploi de fondations superficielles.

Plusieurs catégories de techniques existent :

- Celles qui consistent à inclure des éléments résistants dans le sol⁵ : inclusions rigides, colonnes ballastées, enrochements, injection de coulis et de résines, clouage, etc. Ces renforcements peuvent être améliorés par l'emploi de tarières qui refoulent le sol.
- Celles qui font appel à l'utilisation d'un liant (par exemple de la chaux ou du ciment - voir aussi les techniques de chapes) .
- Celles qui compactent le sol : pré chargement associé à du drainage, compactage dynamique, vibroflottation, consolidation atmosphérique, etc. Ces techniques sont particulièrement efficaces sur des sols granuleux (de type sableux par exemple) car elles réduisent l'espace entre les grains.

Fondations parasismiques

Les mouvements transversaux du sol lors d'un séisme peuvent créer des efforts de cisaillements très importants entre les fondations et l'ossature du bâtiment. Au lieu d'opter pour des fondations très résistantes et donc très onéreuses, l'ingénierie parasismique cherche plutôt à diminuer les interactions sol structure en employant des matériaux qui amortissent les vibrations (isolement bas) : galets en caoutchouc, appuis néoprène (empilement de feuillets de néoprène et de plaques d'acier), etc.

Des techniques de renforcement des sols permettent également de prévenir les phénomènes de liquéfaction du sol qui peuvent survenir lors de séisme. Il faut néanmoins faire attention au mur porteur

■ Murs

Un **mur** est une structure solide qui sépare ou délimite deux espaces.

Dans les bâtiments les murs forment les pièces. En plus de définir l'espace intérieur du bâtiment, leur utilité est en règle générale de supporter les étages et la toiture.

Fonction

Un mur est un ouvrage destiné:

- à séparer deux zones pièces d'une habitation.
- à constituer un édifice, supporter la partie supérieure par des murs porteurs en façade ou en travers de la façade (le « mur de refend »), sauf pour le « mur-rideau » qui ne constitue que la séparation de la pièce avec la rue, qui est suspendu et ne porte rien dans certains immeubles;
- à conforter un talus (mur de soutènement),
- à protéger une zone contre les éléments (digue, mur anti-avalanche...) ou contre le bruit (mur anti-bruit);
- à servir de support pour une œuvre picturale (fresque, graffiti, etc. ou sculpturale (bas-relief, Mur végétalisée, etc.);
- à permettre une pratique sportive (mur de pelote basque ou de tennis, mur d'escalade).

Murs mitoyens

Un mur est mitoyen lorsqu'il sépare deux parcelles et appartient en copropriété aux deux propriétaires. La propriété et les charge inhérentes à l'entretien des mitoyennetés sont détaillées par le code civil

Un mur n'est pas mitoyen lorsque des titres notariés le prouvent ou que le mur est conçu d'une manière qui prouve qu'il n'est pas mitoyen. Sont alors présents les éléments suivants:

- un plan incliné: il y a marque de non mitoyenneté lorsque la sommité du mur est droite et à plomb de son parement d'un côté, et présente de l'autre un plan incliné placé afin que les eaux de pluie ne tombent que de ce côté. On suppose que le propriétaire de ce côté n'aurait pas consenti à recevoir seul les eaux, si le mur avait été mitoyen. Dans ces cas, le mur est censé appartenir exclusivement au propriétaire du côté duquel sont l'égout.
- un chaperon. C'est le sommet du mur formant un plan incliné ordinairement de chaque côté: s'il n'existe que d'un seul côté, le motif indiqué pour le plan incliné fait de la même façon naître la présomption de non mitoyenneté.
- des filets. C'est la partie du chaperon qui déborde le mur et facilite la chute de l'eau, sans dégradation du mur: même raison.
- des corbeaux. Ce sont des pierres en saillie qu'on plaçait dans le mur en le construisant, afin de poser des poutres dessus, lorsque par la suite on voulait bâtir; celui qui s'est ainsi réservé de bâtir sur ce mur doit en être seul propriétaire. Il ne faut pas confondre ces corbeaux avec les harpes ou pierres d'attente, qu'on fait saillir du côté du voisin, pour que, s'il vient à bâtir à son tour, les deux maisons se trouvent liées ensemble².

La vie d'un mur



Appareillages de pierre et brique, avec quelques moellons de calcaire blanc, protégés du gel dans la profondeur de ce mur Vauban. Une partie des briques brisées l'ont été sous l'effet du gel (cryoclastie), alors que -trop poreuses- elles étaient gorgées d'eau. Les briques et pierres de grès dur, bien plus solides constituent la partie externe du mur. Le médailon en bas à gauche montre des pierres d'un calcaire crayeux qui se sont délités sous l'effet du gel, en quelques jours

Dans les maçonneries les pierres, les briques et les mortiers s'écaillent s'égrènent ou pourrissent par suite de l'action du temps aidée de celle des intempéries, de l'atmosphère et particulièrement de la gelée (cryoclastie). Les joints se dégarnissent de mortier et l'on voit aussi les pierres se fendre s'épauprer ou éclater par suite de tassements irréguliers d'une mauvaise répartition des charges ou de défauts cachés quelquefois aussi par l'effet de la germination des plantes dont les graines emportées par les vents se sont déposées dans les joints de maçonneries. D'autres fois des filtrations d'eaux pluviales ou des tassements irréguliers font séparer les parements du corps des maçonneries. Ils se bombent prennent du ventre comme on dit en termes du métier puis finissent par tomber par grandes parties. D'autres fois encore ce sont les fondements qui manquent, des tassements totalement imprévus se manifestent dans le terrain et entraînent le déchirement le déversement et parfois la chute des maçonneries. Ailleurs les mêmes effets sont produits par la destruction lente et graduelle du système de fondations (semelle, radier, pieux) utilisés pour suppléer au manque de solidité du sol. Parfois le terrain attaqué et miné par les eaux, les influences atmosphériques cesse à la longue d'offrir aux maçonneries un appui suffisamment solide. Des chocs extérieurs et purement accidentels, l'incendie et les moyens destructeurs que l'homme a à sa disposition sont encore autant de causes qui apportent leur contingent aux détériorations qui atteignent les maçonneries même les mieux faites et les plus solides³.

Une bonne conception dès le départ, la prise en compte de la nature du sol, de l'exposition du mur aux intempéries, le soin apporté au choix des matériaux, aux techniques mises en œuvres, à la finition des surfaces, l'entretien apporté au

cours des ans, le soin apporté aux rénovations et aménagements successifs sont déterminants pour la bonne tenue du mur dans le temps.

Effacité d'un mur

Le mur est techniquement efficace, c'est-à-dire qu'il doit remplir la fonction qu'on lui assigne.

Dans les sociétés dites « développées » et de par les objectifs environnementaux que se sont fixés les états, le mur devient un objet technique sophistiqué, composite, qui en plus d'assurer la stabilité du bâtiment doit isoler thermiquement, acoustiquement, assurer l'étanchéité à l'humidité, voir l'étanchéité à l'air dans le cas de construction BBC

Composition

La composition d'un mur, était décidée généralement par la disponibilité en matériaux, le niveau de technique, la fonction, l'environnement, etc.

Disponibilité des matériaux

Le mur peut être construit par assemblages de troncs ou planches, en terre banchée, par simple empilement de matériaux, (appareil de pierres sèches), par assemblage (appareillage) de matériaux (murs en pierre, en brique crue ou cuite, en bloc de béton) avec un liant (ciment, mortier, torchis) ou d'un seul tenant (mur coulé en béton ou en béton armé dans un coffrage).

Typologie

On distingue:

- Mur de terre banchée: Terre compactée avec un pisoir entre des banches (Pisé, Terre coffré);
- Murs en colombage
- Les murs de brique crue modelée;
- Les murs de brique crue moulées ou adobe;
- Les murs de brique cuite;
- Les murs de pierre sèche;
- Les murs de pierres liées au mortier;
- Les murs de bloc de béton (parpaing)
- Les murs banchés.
- Les murs préfabriqués

Aspects hygrométriques

En Europe, la composition et l'épaisseur du mur ont été dictées par des impératifs d'étanchéité. Le mur devait être suffisamment épais et suffisamment étanche pour qu'entre deux saisons successives de temps pluvieux, le mur ait le temps de sécher suffisamment pour qu'à aucun moment l'humidité du mur ne parvienne jusqu'à la face intérieure du mur. Utilisant de la pierre ou de la brique les murs devaient être très épais. Pour remédier à cet inconvénient quatre compositions de mur extérieur se sont constituées:

- le crépi sur mur plein, dans les pays les plus secs;
- le mur plein à peau étanche à l'eau et à la vapeur d'eau, par apposition d'une lame de pierre, de céramique ou d'un matériau synthétique.
- le mur creux. Le parement extérieur est séparé du bloc intérieur, porteur ou non, par une coulisse ventilée, dans laquelle, plus tard s'insérera un isolant voire un pare vapeur .
- les bardages.

Aspects thermiques

En termes de « transmission de chaleur » le mur est appelé paroi.

Le premier choc pétrolier en 1973, accouche dans les climats froids et tempérés, et surtout dans les pays occidentaux, d'un nouveau type de construction faisant un usage intensif de l'isolation thermique. Dans les murs en contact avec les ambiances extérieures, un isolant est mis en place.

Avec le Protocole de Kyoto en 1997, visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, les états s'arment d'une batterie de règlements visant à améliorer la performance énergétique des bâtiments et ainsi diminuer leur dépendance aux sources d'énergies fossiles.

Les murs et sont désormais l'objet de calculs savants: la caractérisation des matériaux permet de déterminer pour chaque composant du mur, la conductivité thermique (λ), l'aptitude du matériau à retenir ou non la chaleur. Cette valeur est déterminante dans le calcul du coefficient de transfert thermique (U) d'un mur qui permet de quantifier l'isolation thermique d'une paroi:

- Plus le matériau est isolant, plus λ est faible.
- Plus le mur est isolé, plus U est faible.

Inertie thermique du mur

D'autre part, un mur massif contribue à l'inertie thermique du bâtiment, c'est-à-dire sa capacité à conserver la chaleur. Le mur Trombe, invention de Félix Trombe, un mur capteur qui accumule le rayonnement solaire du jour et le restitue pendant la nuit tire profit de cette inertie et de l'énergie solaire passive.

Un mur peut également devenir un organe de chauffe lorsqu'il est parcouru par un circuit de chauffage sur sa face intérieure.

Stabilité

Lorsqu'il a une fonction structurelle ou lorsque son poids et la nature du sol l'exigent, le mur repose sur un système de fondation.

Pour un bâtiment, on applique principalement le terme à un mur porteur ayant une fonction statique dans une construction et destiné à porter une charge, notamment la charpente et les planchers. Une distinction s'opère lorsque le mur est placé en façade, on parle de mur de contre façade, et lorsqu'il est placé perpendiculairement à la façade, à l'intérieur du bâtiment, formant ainsi contrefort, on parle de mur de refend.

Les matériaux maçonneries les plus courants sont:

- le bloc de béton lourd ou léger (bloc d'argile expansée ou bloc de béton cellulaire).
- les briques et les blocs de terre cuite, silico-calcaire, les blocs de terre cuite lourds ou allégés;
- les pierres naturelles
- le béton armé coulé en place sous forme de voile;
- le béton armé coulé en panneaux préfabriqués amenés sur chantier



 Chocolaterie Meunier (Moulin Saulnier à Noisiel) Ossature acier, remplissage en brique

Dans un autre type d'architecture, la fonction structurelle est réalisée par une ossature de poutres et poteaux en bois, en acier ou en béton. Les mur n'ont pas d'autre fonctions que de fermer les espace et ont valeur de remplissage.

Pour un mur intérieur sans fonction de soutènement et destiné uniquement à la séparation de pièces, on parle plutôt de cloison. Dans ce cas, il peut être réalisé avec des matériaux plus légers et moins résistants comme des briques de plâtre ou, pour une meilleure isolation sonore et thermique, des cloisons « sandwich » en plaque de plâtre montées sur une armature en métal ou en bois.

Pour améliorer ses performances mécaniques, le mur peut être renforcé par des contreforts, éventuellement transformés en élément décoratif. Autrefois, pour assurer la stabilité, les murs étaient souvent d'épaisseur décroissante, du bas vers le haut.

Ouverture

Le mur est percé de baies qui peuvent être des portes ou des fenêtres (dans le cas des murs extérieurs). Un mur extérieur sans ouverture est dit « aveugle ».

▪ Poteaux

Un **poteau** est un organe de structure d'un ouvrage sur lequel se concentrent de façon ponctuelle les charges de la superstructure (par exemple via un réseau de poutres ou de dalles d'un niveau supérieur) et par lequel ces charges se répartissent vers les infrastructures de cet ouvrage (par exemple les fondations).

- Un poteau de section rectangulaire ou approchant et à forme non allongée en plan de base sera appelé pilier ; un poteau de section circulaire ou approchant sera appelé colonne.

Du point de vue de la mécanique des structures, les poteaux sont des éléments verticaux soumis principalement à de la compression. Leur résistance est notamment limitée par le risque de flambage.

En charpente

Un poteau désigne toute pièce de bois posée debout, de quelque grosseur qu'elle soit: ces poteaux prennent différents noms, suivant leur usage ou leur position:

- Poteau ou pied cornier - Poteau qui forme le côté d'un pan de bois ou l'encoignure de deux pans de bois, dans lequel sont assemblées les sablières de chaque étage
 - Poteau de fond - Poteau qui, ayant une de ses extrémités posée sur le fondement, monte d'aplomb dans toute la hauteur d'un bâtiment; c'est aussi, dans un pan de bois ou dam une cloison, le poteau dans lequel sont assemblées les sablières.
 - Poteau d'huissierie - Poteaux qui forment avec le linteau assemblés, la baie d'une porte.
 - Poteau de lucarne - Poteau qui forme un des côtés de la baie d'une lucarne, et qui porte le chapeau.
 - Poteau d'écurie - Pièce de bois ronde d'environ 4 pouces de diamètre, servant à soutenir les barres de séparation entre les chevaux ou à recevoir l'assemblage des stalles.
 - Poteau de remplissage - Dans un pan de bois, celui qui au lieu de recevoir le tenon des sablières, est posé entre chacune d'elles, et y est assemblé.
 - Poteau en décharge - Poteau de pan de bois qui est posé obliquement entre deux autres.
 - Poteau refeuillé - Dans un pan de bois, le poteau qui forme le côté d'une baie et qui à une feuillure, c'est-à-dire une entaille pour recevoir la fermeture en menuiserie.
 - Poteau de cintre - Nom de la pièce posée debout portant l'entrait.
 - Potelet d'appui et de linteau - Petit poteau dans les pans de bois et cloisons, avec lesquels on garnit le dessous des appuis de fenêtre et le dessus des linteaux de porte.
 - Potelet de chambrée - Petits poteaux qui ont la hauteur des solives, et qui sont placés entre les deux sablières au droit de l'épaisseur des planchers.
- Colombage - Petits poteaux de remplissage dans une cloison
 - Colombes - Gros poteaux dont on se servait autrefois dans les cloisons ou pans de bois pour porter les poutres

Un poteau de charpente est en bois ou métal.

En maçonnerie

- Un poteau de maçonnerie est en pierre ou béton, béton armé, ou mixte avec un profil en acier rempli ou entouré de béton.

▪ Poutres

Une **poutre** est une longue pièce de forme ou d'enveloppe parallélépipédique, conçue pour résister à la flexion.

Elle est placée en général en position horizontale, où elle sert alors à supporter des charges au-dessus du vide, les poids de la construction et du mobilier, et à les transmettre sur le côté aux piliers, colonnes ou au murs sur lesquels elle s'appuie. La **poutrelle** est une poutre de faible section (moins de 20 cm d'âme).

Les **poutres** sont à l'origine des pièces de bois, des troncs d'arbre équarris. L'ensemble des poutres assemblées constitue la **poutraison**. En ce cas, les **poutres** supportent les lambourdes pour faire le plancher entre murs pignons et murs long-pans ou murs de refend.

Elles peuvent servir d'ossature simple supportant les chevrons pour faire la toiture. Dans une charpente de toit composée, *poutre* désigne surtout les arbalétriers.

Les poutres ont servi dans les constructions de linteau à la place des pierres massives, antérieurement aux arcs, au-dessus des portes et fenêtres dans leurs baies.

Elles servent de structure de balcon en tant que poutres de plancher prolongées et débordantes à l'extérieur du bâtiment dans l'architecture du XVII^e siècle.

Elles sont devenues des pièces en fer reprenant principalement dans les baies les charges des allèges constituant les pleins de travée, bande horizontale du mur bâti au-dessus des fenêtres de l'étage inférieur, et les charges des planchers.

Ces pièces de construction en métal coulé sont ensuite devenues des assemblages rivetés ou soudés à base de plats et cornières puis des « profils » laminés ou soudés à âme pleine .

Dans l'architecture moderne du XX^e siècle les poutres sont des éléments de béton armé coulés sur place avec leur ferraillage, puis dans la deuxième moitié du XX^e siècle, des poutres préfabriquées, coulées au sol hors place. Le système d'industrialisation de la construction individuelle a abouti au système poutrelle-hourdis. Les poutres précontraintes, pourvues de câbles de précontraintes incorporés et tendus avant la prise du béton, sont souvent utilisées lorsqu'il est nécessaire d'atteindre de grandes portées ou de supporter d'importantes charges.

Le bois a aussi fait son retour avec le lamellé-collé. En construction, le concept de poutre a, en premier lieu, donné les fermes de la charpente, poutres composées utilisées différemment de la conception habituelle des poutres, l'utilité est ici la pente versante et non le support horizontal, et les pannes, poutres simples horizontales. Le concept s'est étendu jusqu'à l'édification de grands caissons en métal et béton, par exemple des bâtiments dont le premier étage surélevé au travers d'une rue constitue à lui seul une poutre à caisson dont les âmes sont percées des baies de fenêtre, leurs allèges étant calculées et fabriquées en un assemblage de tirant renforcé en partie basse d'âme de poutres-cloisons, et, exemple extrême, l'Arche de la défense.

Terminologie

- Le calcul des poutres suit les modèles de la théorie des poutres.
- La poutre a une section où la hauteur est plus grande que la largeur, selon son modèle de calcul.
- La **poutre continue** est une poutre sur plusieurs appuis ; elle a une section plus faible que les poutres sur deux appuis pour une même portée.
- La poutre est **pleine** (massive) ou **composée** (assemblage de membrures, assemblage à jours).

- La poutre peut être composée de plusieurs matériaux par exemple bois et métal, béton et métal pour l'assemblage mais aussi pour les caractéristiques physiques.
- La poutre des constructions industrielles constituée de bielles et membrures comprimées et tirants tendus formant des triangles est une **poutre à treillis**.
- Le profil de la poutre métallique industrielle à section constante est normalisé (IPE, IPN, HEA, UPA etc., la première lettre donne la forme de la section), elle a un sens de pose impératif.
- La **poutre-caisson** est une poutre de section creuse et fermée.
- La **poutre cloison** ou **poutre-voile** est une poutre de grande hauteur dont le rapport hauteur sur longueur est supérieur à 0,5 et dans laquelle se développe un effet de voûte. Les poutres-voiles sont armées, en partie basse, par un tirant qui reprend la traction engendrée par l'effet de voûte. En pratique, il s'agit de murs qui ne sont appuyés qu'à leurs extrémités et sont donc fléchis.
- La forme longitudinale donnée à la poutre est :
 - un rectangle,
 - un trapèze partie longue en haut,
 - une portion de cercle à arc en bas corde en haut,
 - un rectangle mixtiligne, rectangle découpé en bas d'une hyperbole centrée vers le bas.
- La **semelle de poutre** est son élément bas ou sa face basse, la partie de socle servant d'appui.
- La **retombée de poutre** est la hauteur visible de la poutre par dessous.
- Si la poutre est solidaire de deux piliers séparés elle constitue alors un portique où :
 - la poutre peut être totalement encadrée des deux côtés et avoir une âme plus mince en son milieu,
 - la poutre peut être articulée à ses extrémités en appui et avoir une âme plus mince à ses extrémités,
 - la poutre peut être articulée en son milieu et est encadrée aux piliers, et est une composition de 2 potences face à face.
- Les poutres de la construction ancienne reposaient sur des corbeaux sculptés, en construction récente elle repose sur des consoles avec des *platines* intermédiaires de positionnement ou de jeu de dilatation-rétraction.
- La poutre sur deux appuis aux extrémités a sa partie haute en compression et sa partie basse en tension.
- La poutre en porte-à-faux encadrée dans un appui est en flexion, a sa partie haute en tension et sa partie basse en compression.

LES PLANCHERS

Voir annexe

RESISTANCE DES MATERIAUX

La **résistance des matériaux**, aussi appelée RDM, est une discipline permettant le calcul des contraintes et déformations dans les structures des différents matériaux.

La RDM permet de ramener l'étude du **comportement global d'une structure** (relation entre sollicitations — forces ou moments — et déplacements) à celle du **comportement local** des matériaux la composant (relation entre contraintes et déformations).

L'objectif est de concevoir la structure suivant des critères de résistance, de déformation admissible et de coût financier acceptable.

Lorsque l'intensité de la contrainte augmente, il y a d'abord **déformation élastique** (le matériau se déforme proportionnellement à l'effort appliqué et reprend sa forme initiale lorsque la sollicitation disparaît), suivie parfois (en fonction de la ductilité du matériau) d'une **déformation plastique** (le matériau ne reprend pas sa forme initiale lorsque la sollicitation disparaît, il subsiste une déformation résiduelle), et enfin **rupture** (la sollicitation dépasse la résistance intrinsèque du matériau).

Démarche

La résistance des matériaux est utilisée pour concevoir des systèmes (structures, mécanismes) ou pour valider l'utilisation de matériel. On se place dans le cas d'une déformation réversible : une déformation irréversible (déformation plastique ou rupture) rendrait la pièce inopérante. Il faut donc vérifier deux choses :

1. Que l'on reste bien dans le domaine élastique, par l'application d'un critère de ruine : c'est la vérification de l'état limite ultime (ELU).
2. Que la déformation élastique sous charge est compatible avec la fonction de la pièce : c'est la vérification de l'état limite en service (ELS).

Pour effectuer les calculs de validation, il faut passer par une étape de modélisation :

- étude statique : détermination des efforts extérieurs auxquels est soumise la pièce étudiée ;
- modélisation du matériau : cela consiste à déterminer des valeurs caractéristiques du matériau par des essais mécaniques, en particulier l'essai de traction ; on s'intéresse en général à la limite d'élasticité.
- modélisation de la pièce : pour des calculs à la main, on utilise des modèles simples (poutre pour des pièces élancées, plaques ou coques pour des pièces minces) ; le calcul par ordinateur (éléments finis) utilise un modèle numérique de la structure (dans un logiciel de CAO).

L'application des lois de l'élasticité permet de déterminer le tenseur des contraintes. On compare ensuite les valeurs des contraintes avec les limites d'élasticité du matériau, en utilisant un « critère de ruine ».

Hypothèses de la résistance des matériaux

Dans son utilisation courante, la RDM fait appel aux hypothèses suivantes :

Le matériau est :

- **élastique** (le matériau reprend sa forme initiale après un cycle chargement déchargement),
- **linéaire** (les déformations sont proportionnelles aux contraintes),
- **homogène** (le matériau est de même nature dans toute sa masse),
- **isotrope** (les propriétés du matériau sont identiques dans toutes les directions).

Le problème est :

- en **petits déplacements** (les déformations de la structure résultant de son chargement sont négligeables et n'affectent pratiquement pas sa géométrie),
- **quasi-statique** (pas d'effet dynamique),
- **quasi-isotherme** (pas de changement de température).

Ces simplifications permettent de faire des calculs simples et rapides, automatisés (par ordinateur) ou à la main. Elles sont toutefois parfois inadaptées, en particulier :

- on utilise fréquemment des matériaux fortement hétérogènes ou anisotropes, comme, par exemple, les matériaux composites, le bois, le béton armé ;
- certaines applications impliquent des déformations élastiques importantes, notamment avec des matériaux souples (matériaux composites, polymères), on n'est alors plus dans le domaine linéaire ni dans celui des petits déplacements.

Notons enfin que la déformation plastique est un « mécanisme de protection » contre la rupture, en dissipant l'énergie de déformation. Sa prise en compte dans les aciers permet de concevoir des structures métalliques plus légères. La déformation reste néanmoins toujours limitée.

Notion de poutre

Théorie des poutres.

L'ingénieur utilise la *résistance des matériaux* avant tout pour déterminer les dimensions des éléments de construction et vérifier leur résistance et leur déformation. L'un des éléments structurels le plus fréquent est la poutre, c'est-à-dire un objet de grande longueur par rapport à sa section, chargée dans son plan moyen de symétrie.

Deux des **dimensions** de la poutre sont petites par rapport à la troisième. En d'autres termes les dimensions de la section droite sont petites par rapport à la longueur de la poutre. Ce principe permet d'approximer la poutre par une ligne (droite ou courbe) et des sections droites.

En général, une longueur ou une distance de l'ordre de deux à trois fois la plus grande dimension de la section droite est considérée suffisante pour appliquer le modèle RDM.

Sollicitations

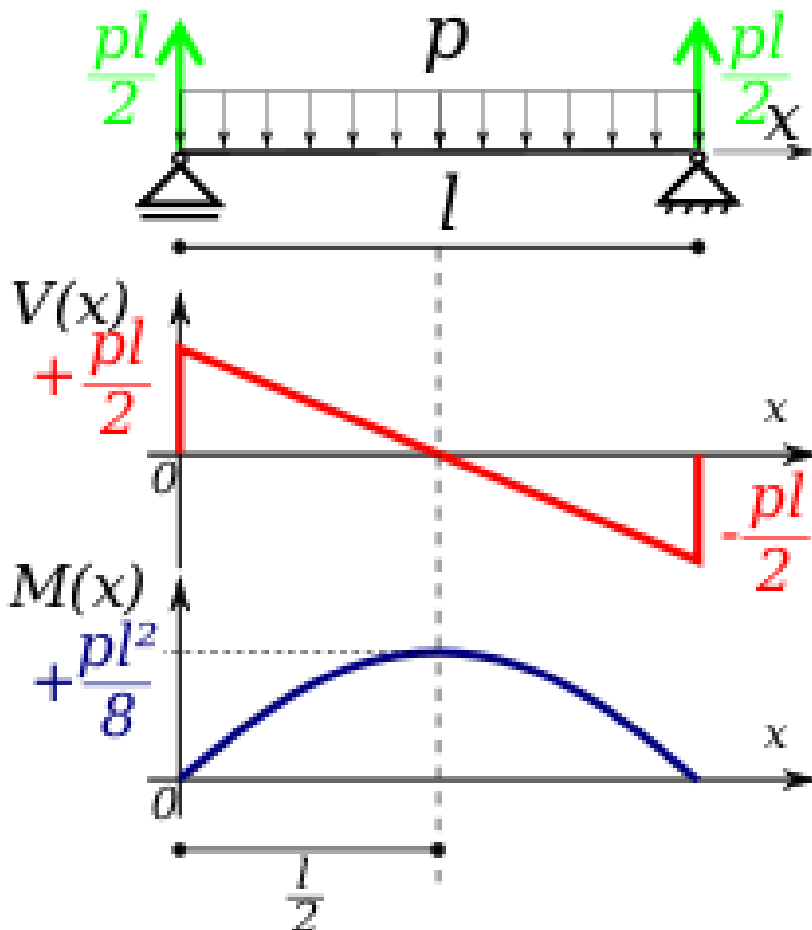
Sollicitations élémentaires

Type	Commentaire	Exemple
Traction	Allongement longitudinal, on <i>tire</i> de chaque côté	barre de remorquage
Compression	Raccourcissement, on <i>appuie</i> de chaque côté	poteau supportant un plancher
Cisaillement	Glissement relatif des sections	goujon de fixation
Torsion	Rotation par glissement relatif des sections droites	arbre de transmission d'un moteur
Flexion simple	Fléchissement sans allongement des fibres contenues dans le plan moyen	planche de plongeur
Flexion pure ou circulaire	Fléchissement sans effort tranchant dans certaines zones	partie de poutre entre deux charges concentrées ou soumise à un couple

Les efforts (ou chargement) regroupent les forces (en multiples du **N**) et les moments (en multiples du **Nm**). Les déplacements sont l'ensemble des translations (en unités de longueur compatibles avec celles utilisées pour les moments) et des rotations (en radians).

Contraintes mécaniques composées

Type	Commentaire	Exemple
Flexion et torsion		arbre de transmission
Flexion et traction		vis
Flexion et compression	le flambage provoque les mêmes effets	poteau d'angle
Cisaillement et compression		pile de pont en rivière navigable
Cisaillement et traction		boulon précontraint



Cas simple d'une poutre uniformément chargée : réactions aux appuis, efforts tranchants ($V(x)$) et moments fléchissant ($M(x)$)

La poutre est généralement composée d'un [matériau isotrope homogène](#) et chargée dans son plan moyen, vertical le plus souvent. Dans ces conditions, l'ensemble des efforts extérieurs appliqué d'un côté d'une section droite quelconque se ramène à :

- un effort longitudinal de compression ou traction : l'effort *normal* ;
- un effort normal de cisaillement : l'effort *tranchant* ;
- un moment *fléchissant*.

Ce sont les éléments de réduction des charges extérieures au droit de la section considérée.

DESCENTE DE CHARGES

- Définition :

On appelle descente de charges, le principe de distribuer les charges sur les différents éléments que compose la structure d'un bâtiment.

On commence par le niveau le plus haut (charpente ou toiture terrasse) et on descend au niveau inférieur et cela jusqu'au niveau le plus bas (les fondations).

- Principe de calcul :

Avant de commencer le calcul de la descente de charges, il est nécessaire d'établir un principe de structure niveau par niveau avec le sens de portée de la charpente et des planchers, les balcons, les poteaux, les poutres, etc..

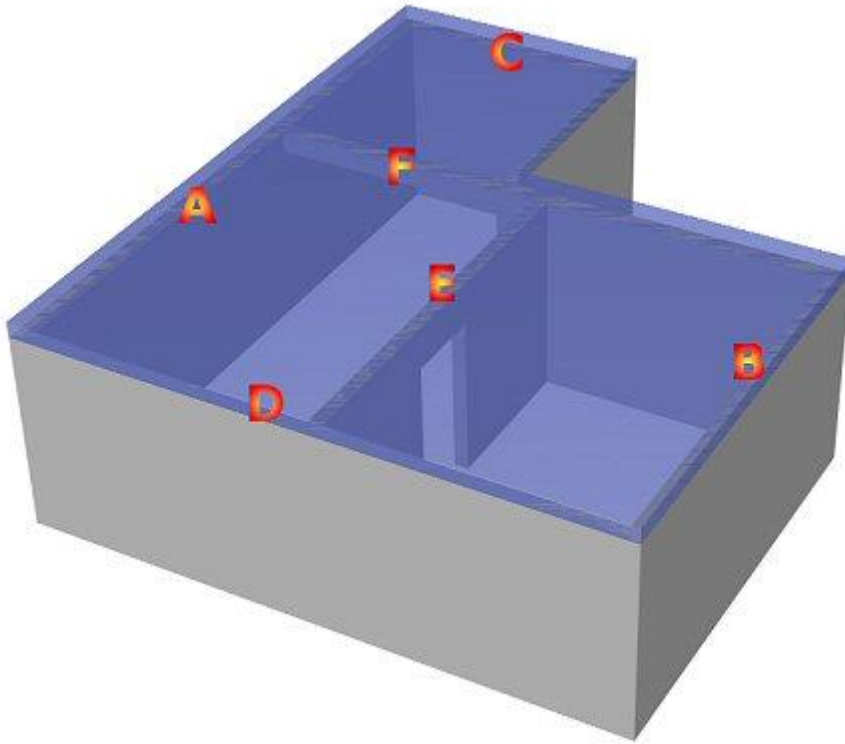
Ensuite, on détermine les caractéristiques des éléments porteurs : Type de plancher, revêtement de sol (épaisseur et nature), type de toiture (tuile, ardoise, possibilité de neige,...), cloisons, type et épaisseur de murs (briques, parpaing, béton). Ce sont les charges permanentes (en daN/m ou daN/m²)

Puis, on définit le type d'utilisation des pièces (logements, circulation, bureaux,...) pour choisir les surcharges d'exploitation à appliquer au plancher (en daN/m ou daN/m²). Ce sont des charges qui prennent en compte les mobiliers, des personnes et autres objets. On peut y inclure des cloisons qui peuvent être enlevées ou déplacées.

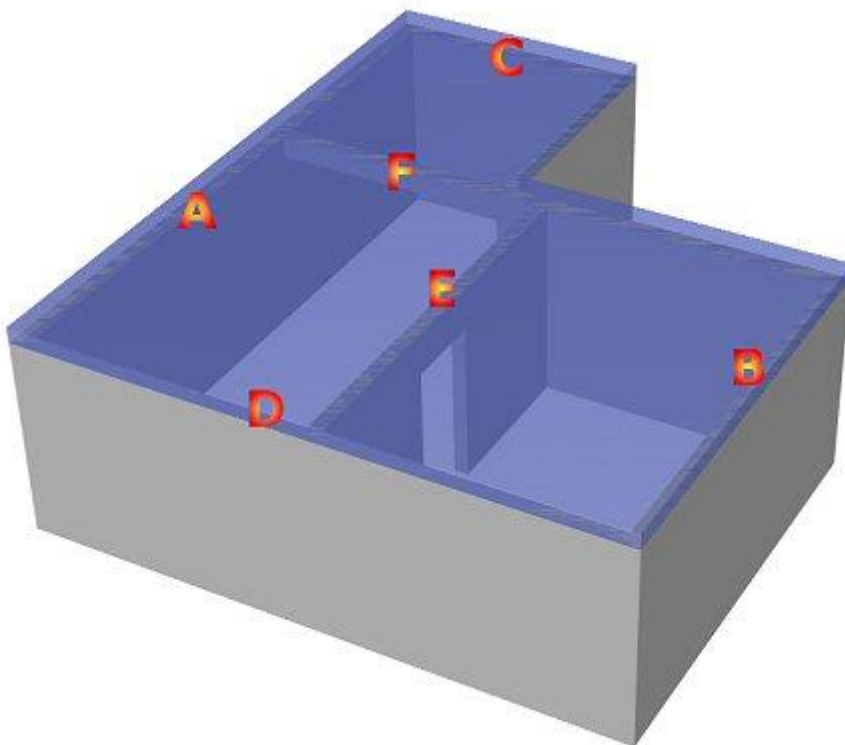
Une fois tous ces renseignements réunis, on commence à calculer le bâtiment :

Un exemple simple :

Un bâtiment composé d'un plancher béton de 20cm avec une chape de 6cm et du carrelage. Les murs font 2.57m de haut par étage. Il sont en parpaing de 20cm en périphérie et en béton banché de 18cm à l'intérieur. Cet exemple portera uniquement sur un étage courant.



1. Les murs A, B, C, D sont en parpaing
2. Le mur E est en béton banché
3. La poutre F est en béton armé
4. La surface bleue représente le plancher.



Le projet est un bâtiment de type logement individuel. On appliquera une surcharge d'exploitation de 150 daN/m^2 .

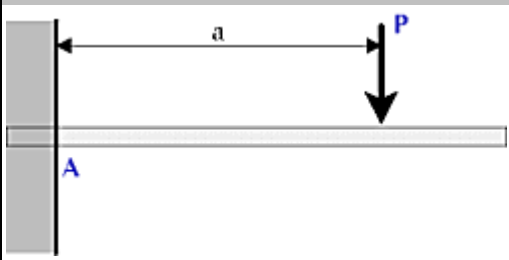
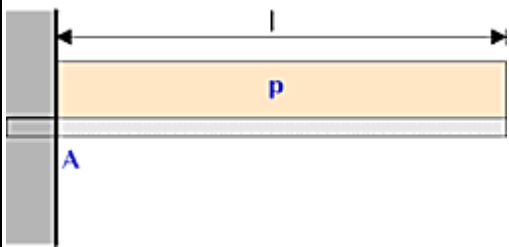
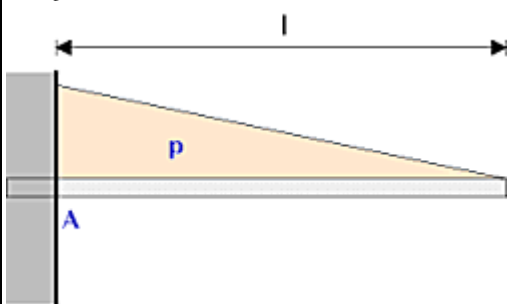
Pour plus de détails, reportez vous au tableau des surcharges à la fin de ce chapitre.

Nous allons déterminer le poids des murs au mètre linéaire, le plancher fini au m².

<u>Le plancher :</u> pour simplifier, nous allons considérer un plancher fini de 27cm de béton, et des cloisons dessus.	
1. plancher = $(0.27 \times 2500) + 50 = 725$ daN/m ²	<ol style="list-style-type: none"> 2500 daN/m² est la densité du béton armé 50 daN/m² est la charge amenée sur le plancher (forfaitaire)
<u>Les murs :</u>	
<ol style="list-style-type: none"> Murs A,B,C,D = $(2.57 \times 350) = 899$ daN/ml Mur E = $(2.57 \times 0.18 \times 2500) = 1156$ daN/ml 	<ol style="list-style-type: none"> 350 daN/m² est le poids du parpaing au m² 0.18 m est l'épaisseur du mur béton (voir l'énoncé de l'exemple)

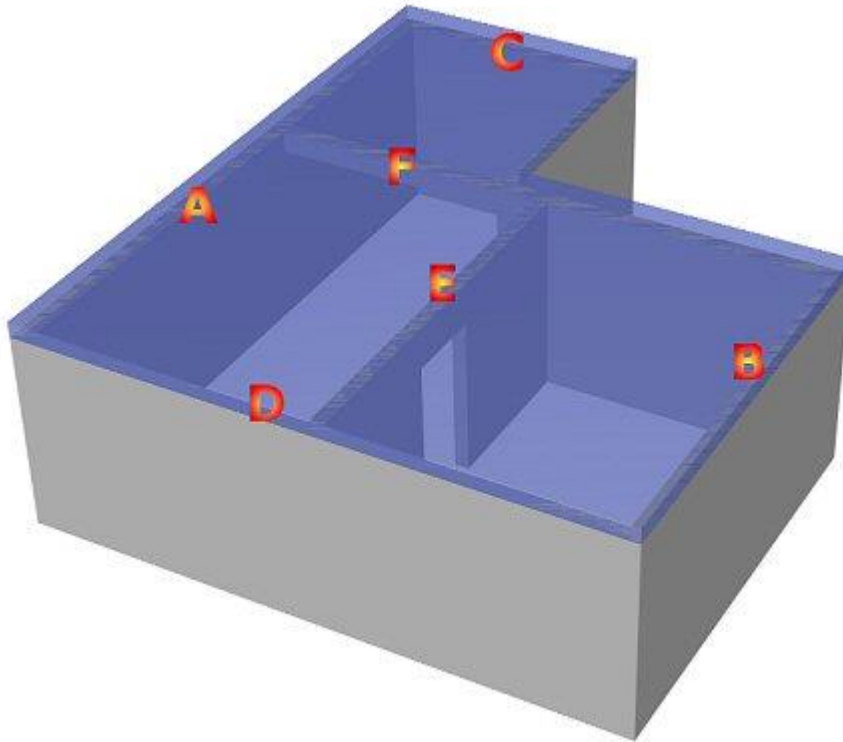
Nous veillerons de toujours séparer les charges et les surcharges car les pondérations ne sont pas les mêmes. La notion de pondération sera expliquée plus loin dans ce chapitre.

Le formulaire de RDM (Résistance Des Matériaux) ci-dessous sera utilisé pour réaliser la descente de charges. Seule la colonne "Réaction d'appuis" sera utile. Celle du "Moment maxi." sert à calculer le ferrailage.

CROQUIS	Réaction d'appuis	Moment maxi.
	<ul style="list-style-type: none"> $T_A = P$ 	<ul style="list-style-type: none"> $M_{tA} = -P.a$
	<ul style="list-style-type: none"> $T_A = P.l$ 	<ul style="list-style-type: none"> $M_{tA} = -(P.l^2) / 2$
	<ul style="list-style-type: none"> $T_A = (P.l) / 2$ 	<ul style="list-style-type: none"> $M_{tA} = -(P.l^2) / 6$

	<ul style="list-style-type: none"> $T_A = (P.l) / 2$ 	<ul style="list-style-type: none"> $Mt_A = - (P.l^2) / 3$
	<ul style="list-style-type: none"> $T_A = (P.b) / l$ $T_B = (P.a) / l$ 	<ul style="list-style-type: none"> $Mt_{max_i} = (P.a.b) / l$ $x Mt_{max_i} = a$ <p>$x Mt_{max_i}$: position du moment maxi.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> $T_A = (P.l) / 2$ $T_B = (P.l) / 2$ $T_A = (P.a) / l \cdot (l - a/2)$ $T_B = (P.a^2) / (2.l)$ 	<ul style="list-style-type: none"> $Mt_{max_i} = (P.l^2) / 8$ $x Mt_{max_i} = l/2$ $Mt_{max_i} = (p.a^2 \cdot (2.l - a)^2) / 8.l^2$ $x Mt_{max_i} = a \leq l/2$ et a <p>$x Mt_{max_i}$: position du moment maxi.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> $T_A = (P.l) / 3$ $T_B = (P.l) / 6$ $T_A = (P.l) / 4$ $T_B = (P.l) / 4$ 	<ul style="list-style-type: none"> $Mt_{max_i} = (p.l^2) / (9\sqrt{3})$ $x Mt_{max_i} = l/\sqrt{3}$ <p>$V = \text{racine carré}$</p> <p>$x Mt_{max_i}$: position du moment maxi.</p> <ul style="list-style-type: none"> $Mt_{max_i} = (p.l^2) / 12$ $x Mt_{max_i} = l/2$ <p>$x Mt_{max_i}$: position du moment maxi.</p>

Rappel de l'exemple étudié:



A) Nous allons commencer par calculer les deux cas de charges amenées par le plancher sur le mur B

- **Charges Permanentes** : La distance du mur E au mur B est de 4m, la charge en tête de mur sera de $G=4 \times 725/2 = \underline{1450 \text{ daN/m}}$.
- **Surcharges d'exploitation** : On reprend la même distance que précisé ci-dessus : $Q=4 \times 150/2 = 300 \text{ daN/m}$.

1. "725daN/m²" pour un mètre de mur : poids du plancher fini.
2. "/2" : le mur E prends la moitié des charges de ce coté du plancher.
3. 150daN/m² pour un mètre de mur : surcharges d'exploitation.

B) Calcul des charges amenées par le plancher sur le mur E

- **Charges Permanentes** : la charge en tête de mur sera de $G=5 \times 725/2 = \underline{1450 \text{ daN/m}}$
- On ajoute aussi la moitié de la charge de l'autre plancher - La même (dans ce cas) que celle du mur B, on aura : $G=1450+1812=3262 \text{ daN/m}$
- **Surcharges d'exploitation** : On reprend la même distance que précisé ci-dessus : $Q=5 \times 150/2 = 300 \text{ daN/m}$.
- On ajoute aussi la moitié de la surcharge de l'autre plancher - La même (dans ce cas) que celle du mur B, on aura : $Q=300+375=675 \text{ daN/m}$

1. "725daN/m²" pour un mètre de mur : poids du plancher fini.
2. "/2" : le mur A prends la moitié des charges de ce coté du plancher.
3. Les charges sont cumulées

C) Calcul des charges amenées par le plancher sur le mur C

- **Charges Permanentes** : la charge en tête de mur sera de $G=3 \times 725/2 = \underline{1087 \text{ daN/m}}$
- **Surcharges d'exploitation** : On reprend la même distance que précisé ci-dessus : $Q=3 \times 150/2 = 225 \text{ daN/m}$.

1. "725daN/m²" pour un mètre de mur : poids du plancher fini.

D) Calcul des charges amenées par le plancher sur la poutre F

Pour l'exemple, une poutre à été créée pour porter le plancher dans le sens F vers C (en réalité cette poutre n'a aucune raison d'être sauf si elle doit reprendre un mur ou un poteau).

- **Charges Permanentes** : La distance du mur C à la poutre F est de 3m, la charge en tête de mur sera de $G=3 \times 725/2 = \underline{1087 \text{ daN/m}}$
- **Surcharges d'exploitation** : On reprend la même distance que précisé ci-dessus : $Q=3 \times 150/2 = 225 \text{ daN/m}$.

1. "725daN/m²" pour un mètre de mur : poids du plancher fini.
2. "/2" : le mur C prends la moitié des charges de ce côté du plancher.

La poutre amène des charges ponctuelles en tête de murs : on appelle ce cas, un report de charges. Ces charges ponctuelles sont diffusées à 45° sur la hauteur du mur. Dans cet exemple, les charges ponctuelles sont faibles et n'auront aucune incidence sur la structure. Si ce type de Charges ponctuelles étaient élevées, il faudra à tenir compte pour la suite de la descente de charges.

E) Calcul des charges ponctuelles amenées par la poutre F sur le mur A

Dans cet exemple, on considère que la poutre a une portée de 4m et une section de 20x40cm de haut ($2500 \times 0.2 \times 0.4 = 200 \text{ daN/m}$). On aura donc :

- $P(G) = (1087 + 200) \times 4/2 = 2574 \text{ daN}$
- $Q(G) = 225 \times 4/2 = 450 \text{ daN}$

F) Calcul des charges au pied de chaque mur

Au début de cet exemple, nous avons déterminé le poids des murs, nous allons l'utiliser maintenant :

Au pied du mur B :

- **Charges permanentes** :
 $G = 1450 + 899 = 2349 \text{ daN/m}$
- **Surcharges d'exploitation** : $Q = 300 \text{ daN/m}$

1. Plancher sur le mur B : 1450 daN/m
2. Mur B : 899 daN/m

Au pied du mur C :

- **Charges permanentes** :

1. Plancher sur le mur C : 1087 daN/m
2. Mur C : 899 daN/m

$G=1087+899=1986\text{daN/m}$ <ul style="list-style-type: none"> • Surcharges d'exploitation : $Q=225\text{daN/m}$ 	
<u>Au pied du mur D :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Charges permanentes : $G=899\text{daN/m}$ • Surcharges d'exploitation : $Q=0\text{daN/m}$ 	1. Mur D : 899 daN/m Remarque : Le sens de portée du plancher est le long du mur, on considère que la dalle est une dalle sur deux appuis.
<u>Au pied du mur E :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Charges permanentes : $G=3262+1156=4418\text{daN/m}$ • Surcharges d'exploitation : $Q=675\text{daN/m}$ 	1. Plancher sur le mur E : 3262 daN/m 2. Mur E : 1156 daN/m
<u>Au pied du mur A :</u> Entre le mur D et la poutre F, on aura : <ul style="list-style-type: none"> • Charges permanentes : $G=1450+899=2349\text{daN/m}$ • Surcharges d'exploitation : $Q=300\text{daN/m}$ Entre le mur C et la poutre F, on aura : <ul style="list-style-type: none"> • Charges permanentes : $G=899\text{daN/m}$ • Surcharges d'exploitation : $Q=0\text{daN/m}$ 	Les charges ci-contre ne tiennent pas compte des charges amenées par la poutre sur le mur. Un peu plus haut, il a été évoqué que ces charges étaient diffusées à 45° dans le mur, on aura donc une charge répartie de 2.57m (voir hypothèses au début de l'exemple) axée sous les appuis de la poutre. On aura donc : <ul style="list-style-type: none"> • $G=2574/2.57=1002\text{ daN/m}$ (voir paragraphe E) • $Q=450/2.57=175\text{ daN/m}$

Tableaux des valeurs des surcharges d'exploitation

Bâtiments à usage d'habitation :

Logements - combles aménageables - terrasses accessibles privées	150 daN/m^2
Escaliers - hall d'entrée - étages de caves - greniers	250 daN/m^2
Combles non aménageables - terrasses non accessibles - terrasses jardins	100 daN/m^2
Balcons	350 daN/m^2

Bâtiments scolaires et universitaires :

Chambres individuelles	150 daN/m^2
Salle de classe - ateliers et laboratoires - sanitaires collectifs - dortoirs collectifs - salle à manger ($S \leq 50\text{m}^2$)	250 daN/m^2
Amphithéâtre - dépôts - lingerie - cantines	350 daN/m^2
Circulations et escaliers - bibliothèques - salles polyvalentes	400 daN/m^2
Cuisines collectives	500 daN/m^2
Dépôts des cuisines	600 daN/m^2

Bâtiments de bureaux :

Bureaux - circulations et escaliers - halls de réception - salle à manger - salle informatique et de reprographie	250 daN/m ²
Cantines	250 à 350 daN/m ²
Bureaux paysages - salle de conférences et de projection (S<=50m ²) - zones de dépôts	350 daN/m ²
Halls et guichets	400 daN/m ²

Bâtiments hospitaliers et dispensaires :

Chambres - sanitaires	150 daN/m ²
Circulations internes - autres services - salle de soins - salle de réunion, de conférences, de restauration (moins de 50m ²)	250 daN/m ²
Salles d'opération, de plâtre, d'accouchement, de travail - buanderies	350 daN/m ²
Halls - circulations générales - salle de réunion, de conférences, de restauration (plus de 50m ²)	400 daN/m ²
Cuisines	500 daN/m ²
Réserves et dépôts	350 à 600 daN/m ²

Salles de spectacles :

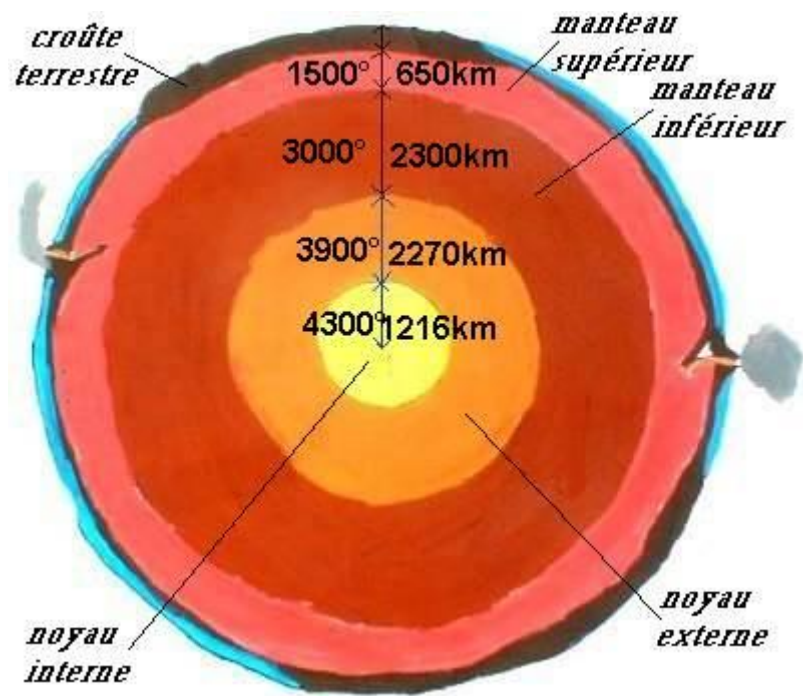
Danses et spectacles	500 daN/m ²
----------------------	------------------------

Parcs de stationnement :

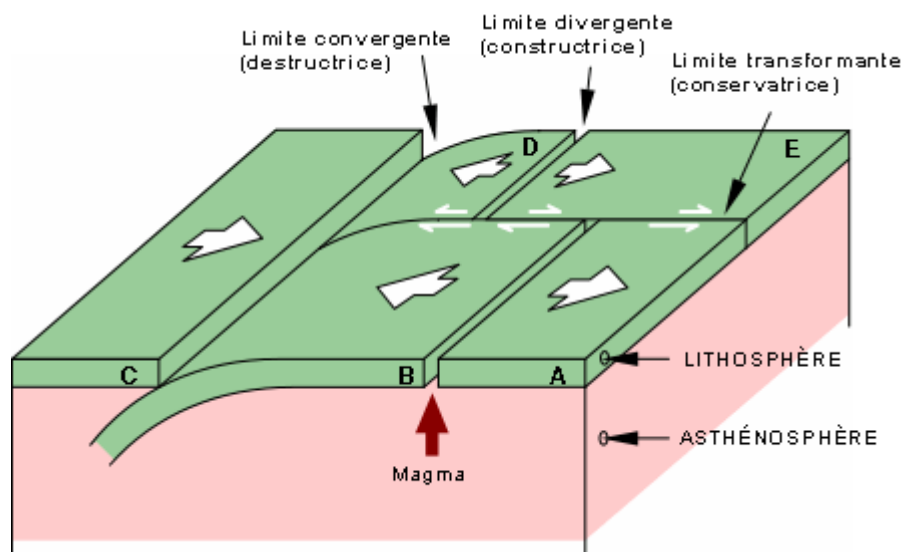
Voitures particulières	250 daN/m ²
------------------------	------------------------

- L'enveloppe du bâtiment.
- Les fonctions du bâtiment.
- **Identifier les sources pathogènes externes et internes au bâtiment.**
 - Statistiques concernant les déclarations de sinistres par type de bâtiment, pathologie et ouvrages.
 - Analyse des facteurs externes et leurs conséquences sur la structure et l'enveloppe du bâtiment
 - Les Phénomènes naturels
 - Séismes

La tectonique des plaques

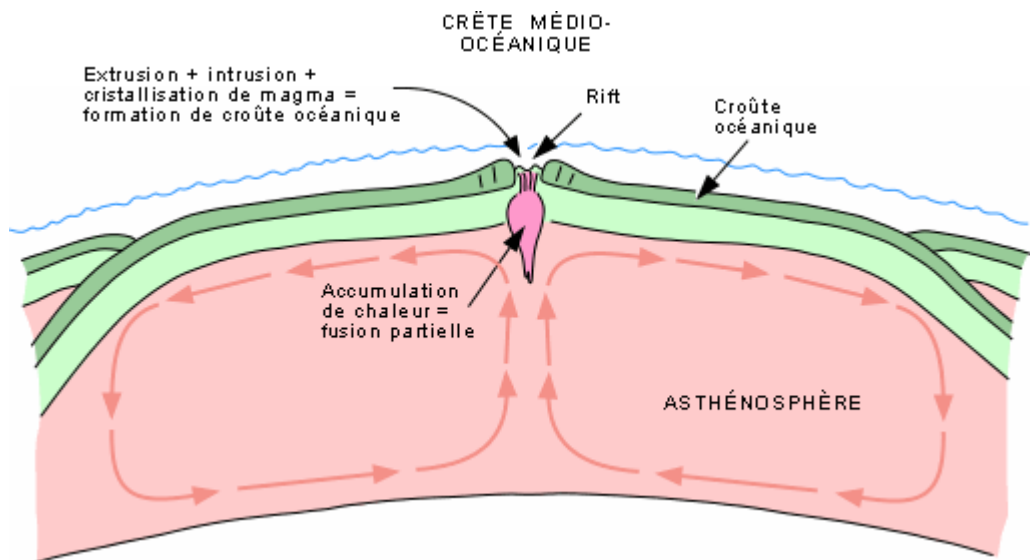


La **tectonique des plaques** est une théorie scientifique planétaire unificatrice qui propose que les déformations de la lithosphère sont reliées aux forces internes de la terre et que ces déformations se traduisent par le découpage de la lithosphère en un certain nombre de [plaques](#) rigides (14) qui bougent les unes par rapport aux autres en glissant sur l'asthénosphère.

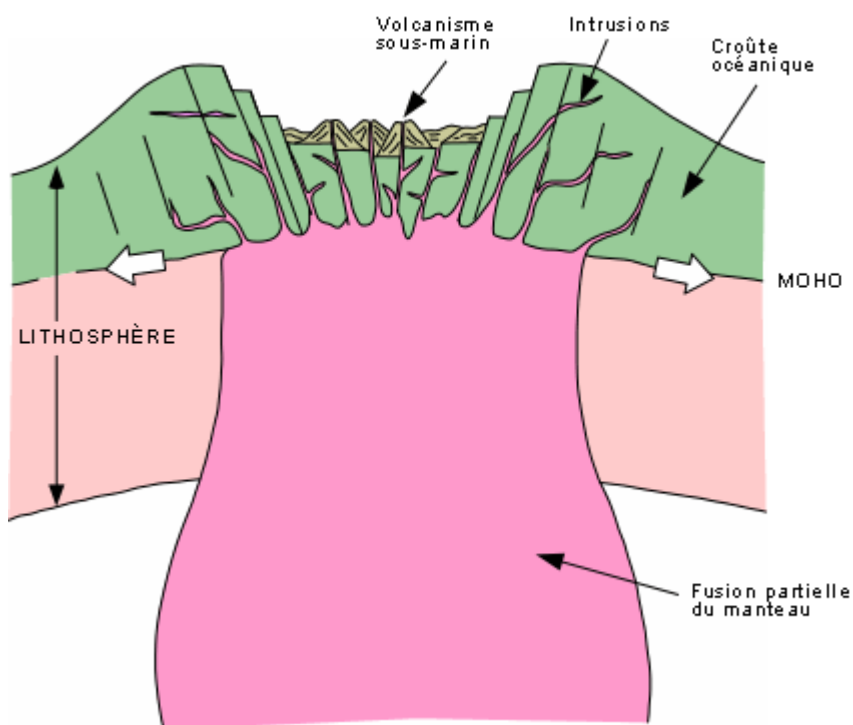


1.2.1 - Les frontières divergentes

Nous savons qu'il existe un flux de chaleur qui va du centre vers l'extérieur de la terre, un flux causé par la désintégration radioactive de certains éléments chimiques dans le manteau et qui engendre des cellules de convection dans le manteau plastique (asthénosphère). A cause de cette convection, il y a concentration de chaleur en une zone où le matériel chauffé se dilate, ce qui explique le soulèvement correspondant à la dorsale océanique. La concentration de chaleur conduit à une fusion partielle du manteau qui produit du magma. La convection produit, dans la partie rigide de l'enveloppe de la terre (lithosphère), des forces de tension qui font que deux plaques divergent; elle est le moteur du tapis roulant, entraînant la lithosphère océanique de part et d'autre de la dorsale. Entre ces deux plaques divergentes, la venue de magma crée de la nouvelle croûte océanique.



Le schéma suivant est un gros plan de la zone de divergence.

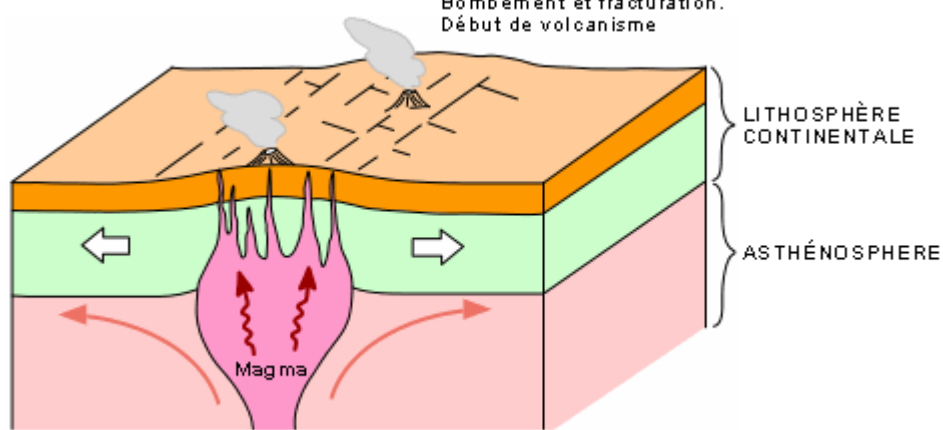


L'étalement des fonds océaniques crée dans la zone de dorsale, des tensions qui se traduisent par des failles d'effondrement et des fractures ouvertes, ce qui forme au milieu de la dorsale, un fossé d'effondrement qu'on appelle un rift océanique. Le magma produit par la fusion partielle du manteau s'introduit dans les failles et les fractures du rift. Une partie de ce magma cristallise dans la lithosphère, alors qu'une autre est expulsée sur le fond océanique sous forme de lave et forme des volcans sous-marins. C'est ce magma cristallisé qui forme de la nouvelle croûte océanique à mesure de l'étalement des fonds.

C'est donc ainsi qu'il se crée perpétuellement de la nouvelle lithosphère océanique aux niveau des frontières divergentes, c'est-à-dire aux dorsales médio-océaniques. Ce sont ces processus qui expliquent comment s'est formé un océan comme l'Atlantique, ... une question chère à Wegener.

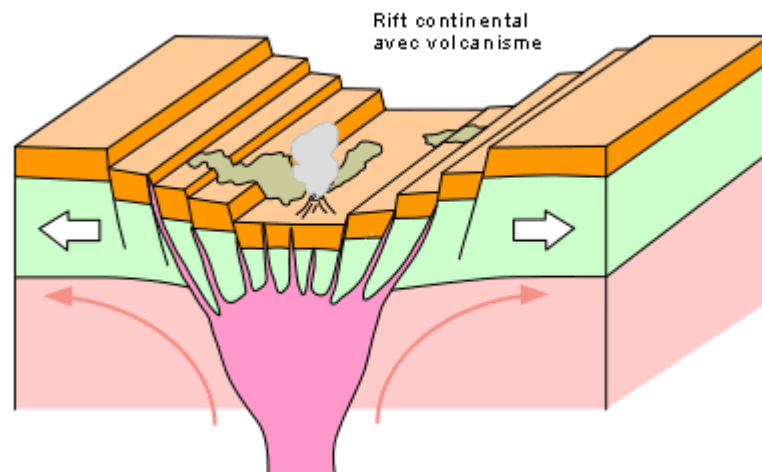
Les schémas qui suivent illustrent les quatre étapes de la formation d'un océan.

Amorce d'un rift continental.



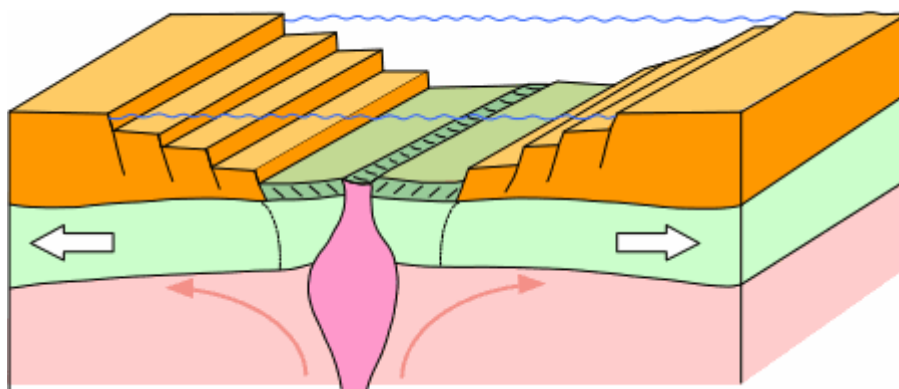
L'accumulation de chaleur sous une plaque continentale cause une dilatation de la matière qui conduit à un bombement de la lithosphère. Il s'ensuit des forces de tension qui fracturent la lithosphère et amorcent le mouvement de divergence conduit par l'action combinée de la convection mantellique et la gravité. Le magma viendra s'infiltrer dans les fissures, ce qui causera par endroits du volcanisme continental; les laves formeront des volcans ou s'écouleront le long des fissures. Un exemple de ce premier stade précurseur de la formation d'un océan est la [vallée du Rio Grande](#) aux USA.

Rift continental.



La poursuite des tensions produit un étirement de la lithosphère; il y aura alors effondrement en escalier, ce qui produit une vallée appelée un rift continental. Il y aura des volcans et des épanchements de laves le long des fractures. Le [Grand Rift africain](#) en Afrique orientale en est un bon exemple.

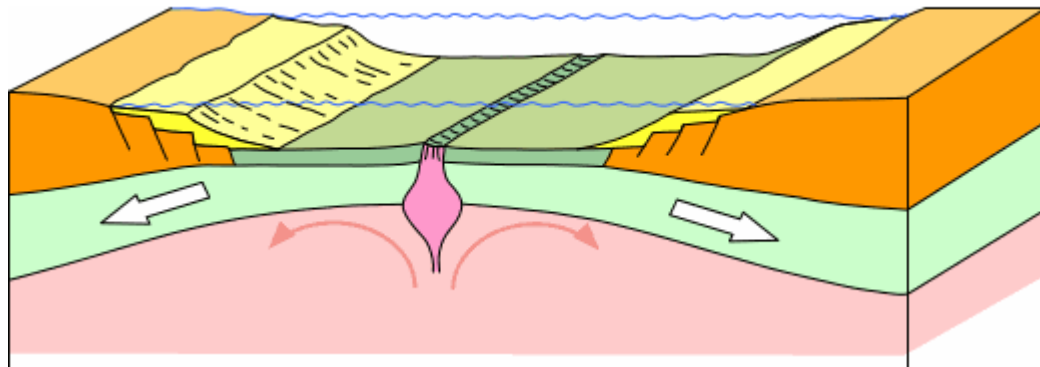
Premier plancher océanique - Mer linéaire.



Avec la poursuite de l'étirement, le rift s'enfonce sous le niveau de la mer et les eaux marines envahissent la vallée. Deux morceaux de lithosphère continentale se séparent et s'éloignent progressivement l'un de l'autre. Le volcanisme

sous-marin forme un premier plancher océanique basaltique (croûte océanique) de part et d'autre d'une dorsale embryonnaire; c'est le stade de mer linéaire, comme par exemple la [Mer Rouge](#).

Océan de type Atlantique



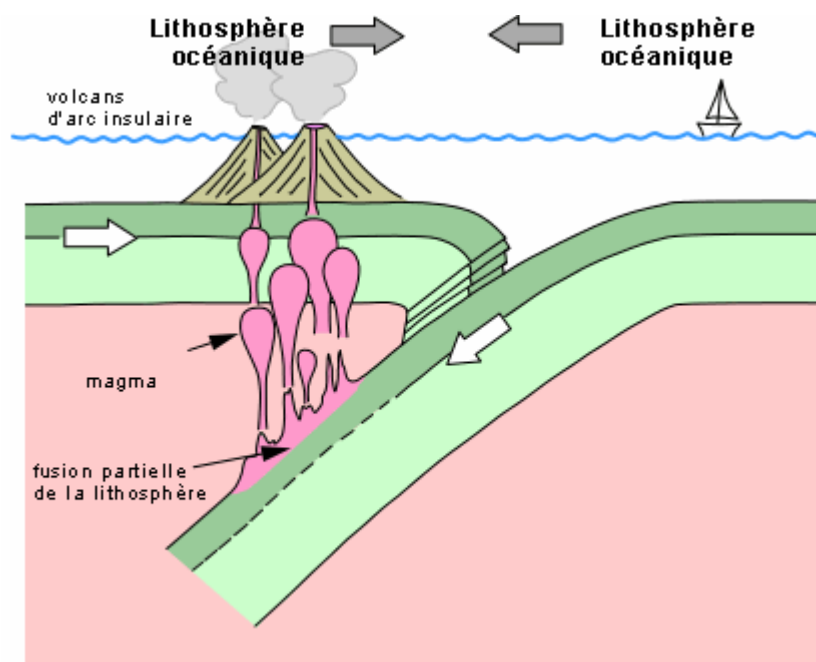
L'élargissement de la mer linéaire par l'étalement des fonds océaniques conduit à la formation d'un océan de type [Atlantique](#), avec sa dorsale bien individualisée, ses plaines abyssales et ses plateaux continentaux correspondant à la marge de la croûte continentale.

Les dorsales océaniques constituent des zones importantes de dissipation de la chaleur interne de la Terre.

1.2.2 - Les frontières convergentes

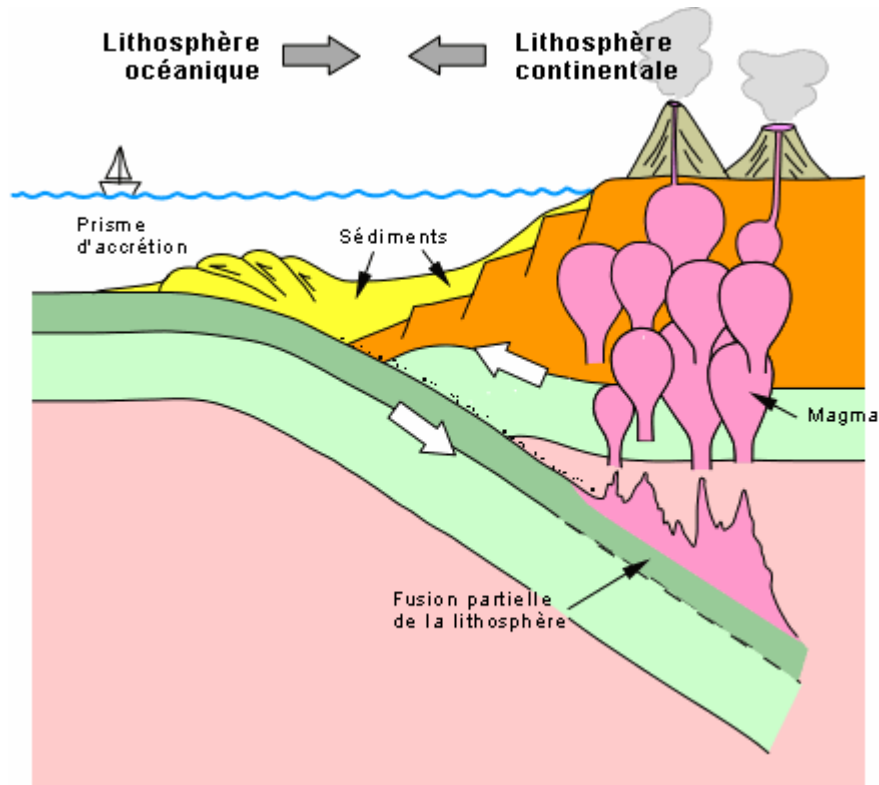
Aujourd'hui, physiciens et astro-physiciens sont assez d'accord pour dire que la terre n'est pas en expansion comme le proposait Carey. Si la surface de la terre est un espace fini, le fait que les plaques grandissent aux frontières divergentes implique qu'il faudra détruire de la lithosphère ailleurs pour maintenir constante la surface terrestre. Cette destruction se fait aux frontières convergentes qui, comme le nom l'indique, marquent le contact entre deux plaques lithosphériques qui convergent l'une vers l'autre. La destruction de plaque se fait par l'enfoncement dans l'asthénosphère d'une plaque sous l'autre plaque, et par la digestion de la portion de plaque enfoncée dans l'asthénosphère. Les résultats (séismes, volcans, chaînes de montagnes, déformations; voir à la section 1.3) diffèrent selon la nature des plaques (océaniques ou continentales) qui entrent en collision.

Un **premier type de collision** résulte de la convergence entre deux plaques océaniques. Dans ce genre de collision, une des deux plaques (la plus dense, généralement la plus vieille) s'enfonce sous l'autre pour former une zone de subduction (littéralement: conduire en-dessous).



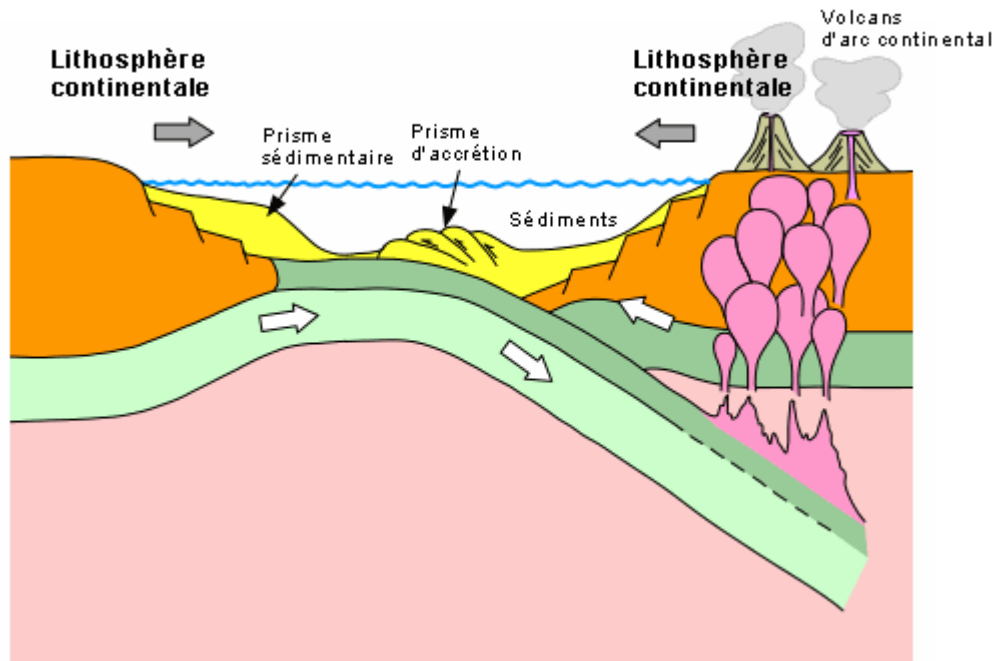
On enfonce du matériel moins dense ($d \sim 3,2$) dans du matériel plus dense ($d \sim 3,3$), du matériel moins chaud dans du matériel plus chaud. L'asthénosphère "digère" peu à peu la plaque lithosphérique. Il se produit un phénomène de fusion partielle de la plaque engloutie. Le magma résultant (liquide), moins dense que le milieu ambiant, monte vers la surface. Une grande partie de ce magma reste emprisonnée dans la lithosphère, mais une partie est expulsée à la surface, produisant des volcans sous la forme d'une série d'îles volcaniques (arc insulaire volcanique) sur le plancher océanique. De bons exemples de cette situation se retrouvent dans le [Pacifique-Ouest](#), avec les grandes fosses des Mariannes, de Tonga, des Kouriles et des Aléoutiennes, chacune possédant leur arc insulaire volcanique, ainsi que la fosse de Puerto Rico ayant donné naissance à l'arc des Antilles bordant la mer des Caraïbes [Atlantique](#).

Un **second type de collision** est le résultat de la convergence entre une plaque océanique et une plaque continentale. Dans ce type de collision, la plaque océanique plus dense s'enfonce sous la plaque continentale.

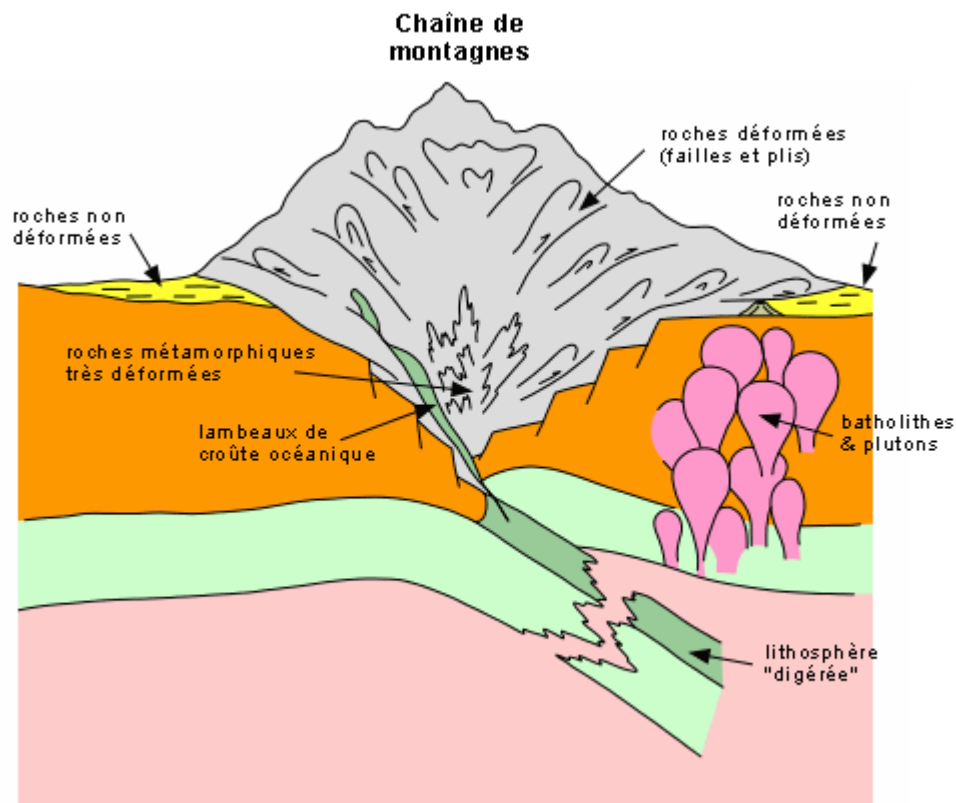


Les basaltes de la plaque océanique et les sédiments du plancher océanique s'enfoncent dans du matériel de plus en plus dense. Rendue à une profondeur excédant les 100 km, la plaque est partiellement fondue. Comme dans le cas précédent, la plus grande partie du magma restera emprisonnée dans la lithosphère (ici continentale); le magma qui aura réussi à se frayer un chemin jusqu'à la surface formera une chaîne de volcans sur les continents (arc volcanique continental). De bons exemples de cette situation se retrouvent à la marge du Pacifique-Est, comme les volcans de la [Chaîne des Cascades](#) (*Cascade Range*) aux USA (incluant le Mont St. Helens) résultat de la subduction dans la fosse de Juan de Fuca et ceux de la [Cordillères des Andes](#) en Amérique du Sud reliés à la fosse du Pérou-Chili. Dans une phase avancée de la collision, le matériel sédimentaire qui se trouve sur les fonds océaniques et qui est transporté par le tapis roulant vient se concentrer au niveau de la zone de subduction pour former un prisme d'accrétion.

Un **troisième type de collision** implique la convergence de deux plaques continentales. L'espace océanique se refermant au fur et à mesure du rapprochement de deux plaques continentales, le matériel sédimentaire du plancher océanique, plus abondant près des continents, et celui du prisme d'accrétion se concentrent de plus en plus; le prisme croît.



Lorsque les deux plaques entrent en collision, le mécanisme se coince: le moteur du déplacement (la convection dans le manteau supérieur et la gravité) n'est pas assez fort pour enfoncer une des deux plaques dans l'asthénosphère à cause de la trop faible densité de la lithosphère continentale par rapport à celle de l'asthénosphère. Tout le matériel sédimentaire est comprimé et se soulève pour former une chaîne de montagnes où les roches sont plissées et faillées. Des lambeaux de la croûte océanique peuvent même être coïncés dans des failles. C'est la soudure entre deux plaques continentales pour n'en former qu'une seule.

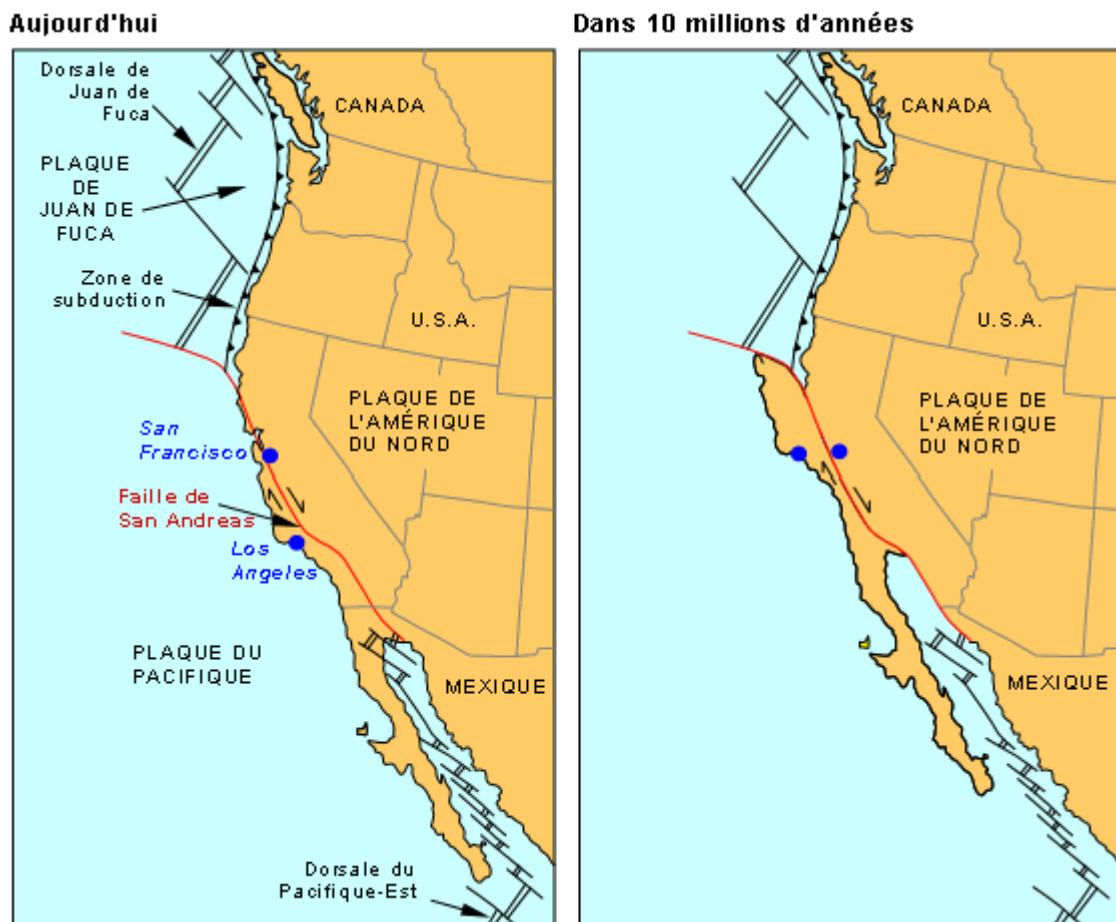


Toute les grandes chaînes de montagnes plissées ont été formées par ce mécanisme. Un bon exemple récent de cette situation, c'est la soudure de l'Inde au continent asiatique, il y a à peine quelques millions d'années, avec la formation de [l'Himalaya](#).

1.2.3 - Les frontières transformantes

Les frontières transformantes correspondent à de grandes fractures qui affectent toute l'épaisseur de la lithosphère; on utilise plus souvent le terme de failles transformantes. Elles se trouvent le plus souvent, mais pas exclusivement, dans la lithosphère océanique. Ces failles permettent d'accommoder des différences dans les vitesses de déplacement ou même des mouvements opposés entre les plaques, ou de faire le relais entre des limites divergentes et convergentes (ces failles transforment le mouvement entre divergence et convergence, de là leur nom de failles transformantes).

La fameuse faille de San Andreas en Californie est un bon exemple de cette situation: elle assure le relais du mouvement entre la limite divergente de la dorsale du Pacifique-Est, la limite convergente des plaques Juan de Fuca-Amérique du Nord et la limite divergente de la dorsale de Juan de Fuca.

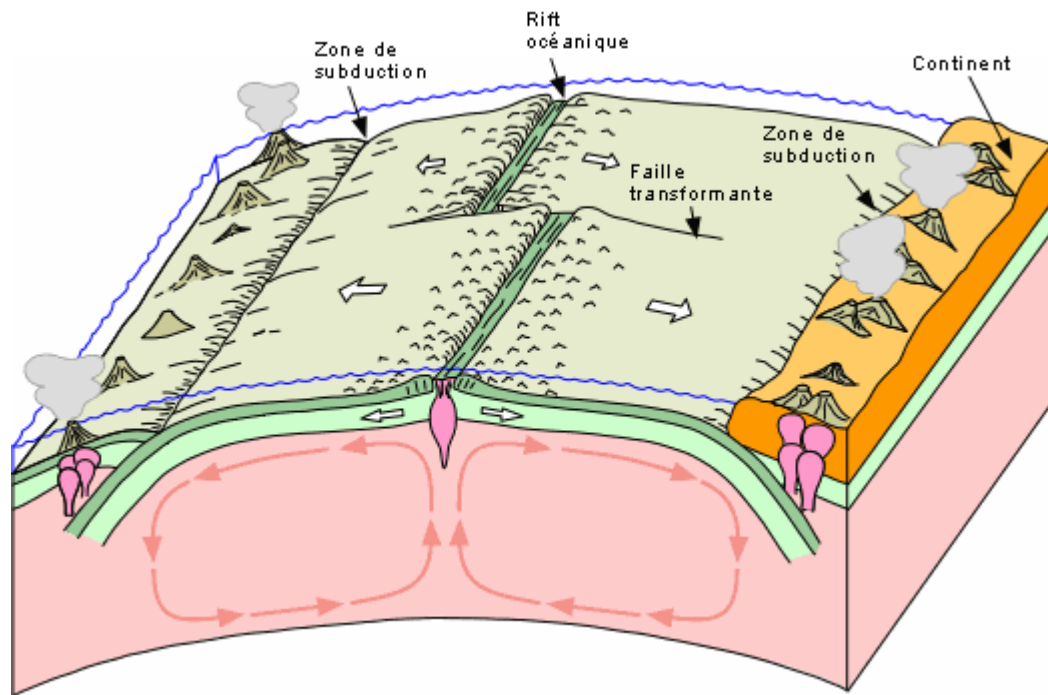


A quel rythme se font ces mouvements de divergence et de convergence?

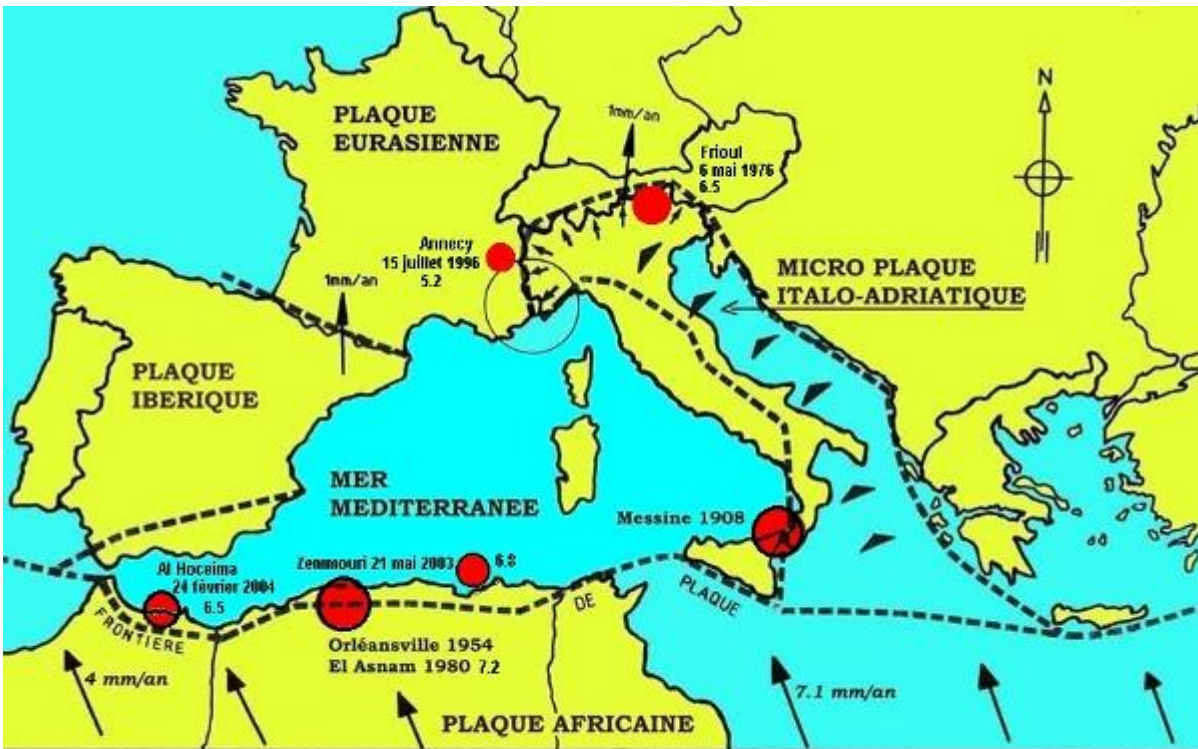
Les taux de divergence et de convergence ne sont pas identiques partout. La divergence varie de 1,8 à 4,1 cm/an dans l'Atlantique et de 7,7 à plus de 18 cm/an dans le Pacifique. La convergence se fait à raison de 3,7 à 5,5 cm/an dans le Pacifique. À noter le taux de déplacement latéral relatif le long de la faille de San Andreas en Californie (~ 5,5 cm/an).

En résumé ...

La terre est un système où toutes les pièces, tous les éléments, forment une grande machine mue par la thermodynamique.



Le moteur est constitué par l'action combinée de la gravité terrestre et des grandes cellules de convection dans le manteau résultant du flux de chaleur qui va du centre vers l'extérieur de la terre, un flux de chaleur qui est relié à la décomposition des éléments radioactifs contenus dans les minéraux constitutifs du manteau. Ces cellules concentrent de la chaleur dans leur partie ascendante, ce qui cause une fusion partielle du manteau tout à fait supérieur et une expansion des matériaux. C'est cette expansion qui produit une dorsale médio-océanique linéaire*. L'écoulement de l'asthénosphère sous la lithosphère rigide entraîne cette dernière; il en découle des tensions au niveau de la dorsale, causant la divergence et le magmatisme associé. Ainsi, il y a formation continue de nouvelle lithosphère océanique au niveau de la dorsale et élargissement progressif de l'océan. En contrepartie, puisque le globe terrestre n'est pas en expansion, il faut détruire de la lithosphère, ce qui se fait par enfoncement de lithosphère océanique dans les zones de subduction qui correspondent aux fosses océaniques profondes pouvant atteindre les 11 km (fosse des Mariannes). Les dorsales sont disséquées par des failles dites transformantes pour accommoder des différences de vitesses de divergence.



TECTONIQUE EURO-MEDITERRANEENNE

Principales limites de plaques et mouvements associés

Un **séisme** est une série de secousses plus ou moins violentes du sol, pouvant entraîner des dégâts. On le caractérise par le lieu et le moment où il a lieu, par sa magnitude, par le nombre de victimes.

- On définit le lieu du séisme en donnant l'**épïcéntré** = point de la surface du sol où le séisme a commencé et où les dégâts ont été les plus importants.
- La **magnitudé** est une grandeur mesurant l'énergie libérée lors d'un séisme. Elle correspond à la puissance du séisme. C'est une valeur associée au séisme. L'**échellé de Richter** est un système d'évaluation de l'énergie des séismes (de la magnitude).

sismique : relatif aux séismes.

synonymes de séisme : **tremblément de terre, secoussé telluriqué.**

Exemple :

- *séisme du 27 mai 2006*
- *épïcéntré : près de Yogyakarta (Java), dans la mer*
- *magnitudé : 6,2 sur l'échellé de Richter*
- *victimes : plus de 4 600 morts, 20 000 blessés et 200 000 sans-abri*

Les **répliqué**s sont des séismes de moindre importance succédant au plus grand (dit **séisme principal**) d'une série de séismes situés dans une zone proche. Ces répliqué)s sont parfois meurtrières.

Exemple :

- *Du 27 au 29 mai 2006, 470 répliqué)s ont succédé au séisme principal.*

Certains séismes sont dangereux à cause des raz-de-marée = **tsunamis** qu'ils provoquent.

L'**Indonésié** est un des pays les plus gravement touchés et où le risque est le plus important au monde.

Exemple : 17/07/ 2006

- 15 h 19 heure locale (08h19 UTC) : Un séisme de magnitudé 7,7 sur l'échellé de Richter puis une répliqué de magnitudé 6,1 ont lieu à 250 km de la côte. Profondeur du foyer : 10 km

- Le système de surveillance des tsunamis détecte une élévation du niveau de la mer de 7 cm. Mais le système d'alerte n'a pas fonctionné ensuite.

- 17h07 heure locale, des vagues de 2 m arrivent sur les côtes de Java.


- Des bateaux ont été projetés sur les hôtels et maisons proches du rivage.

Bilan : 654 morts, 978 blessés et 100.000 sinistrés.

Le 26 décembre 2004 un séisme de magnitudé 9,3, avait provoqué un tsunami autour de l'océan Indien, notamment à Sumatra (Indonésié), tuant 220.000 ? personnes.

La **ceinturé de feu du Pacifique** est une zone autour du Pacifique qui concentre 90 % des tremblements de terre et environ 62 % des volcans actifs de la planète.

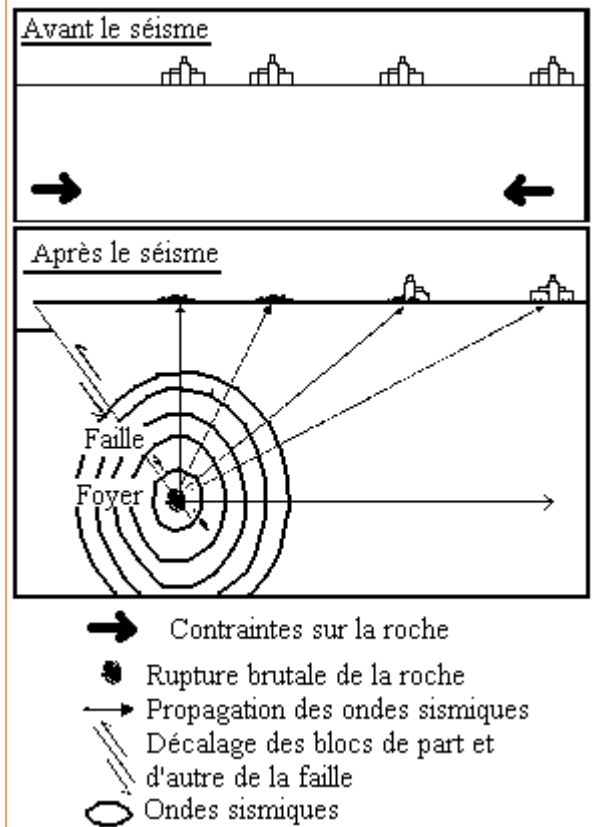
2/ Les séismes, des catastrophes naturelles

<p>Une catastrophe naturelle est un événement brutal, d'origine climatiques, sismiques ou astronomiques, provoquant un grand nombre de morts et de destructions.</p>	<p><i>Exemple :</i></p> <p>1. On peut considérer que le séisme qui a frappé l'Indonésie le 27 mai 2006 est une catastrophe naturelle :</p> <p><i>Un séisme dure quelques secondes. Ce séisme a provoqué plus de 4.600 morts et la destruction de plus de 150.000 maisons.</i></p>
<p>Le nombre de victime ne dépend pas de la magnitude, mais de la résistance des constructions, de l'importance de la population. Parfois, ce n'est pas le séisme principal qui est le plus meurtrier, mais ses répliques</p>	<p>2. <i>Ce séisme a été meurtrier car il est survenu dans une région très peuplée et pauvre. Les constructions étant rudimentaires se sont effondrées sur les gens.</i></p> <p>3. <i>Si ce séisme était survenu en plein désert, ou dans un pays comme le Japon où les constructions résistent aux séismes, il n'aurait pas été si meurtrier.</i></p> <p>4. <i>On ne connaît pas tout de suite le nombre de morts : au fur et à mesure qu'on dégage les constructions effondrées, on trouve des morts ou des blessés ; des blessés peuvent mourir ; on retrouve des victimes qu'on croyait décédées ; des morts ont été comptés 2 fois...</i></p>
<p>Une faille est une cassure de l'écorce terrestre qui partage un ensemble rocheux en deux compartiments décalés.</p> 	<p>5. <i>Le paysage est modifié par le séisme :</i></p> <ul style="list-style-type: none">- <i>des villages sont en ruine</i>- <i>des failles sont visibles dans le paysage</i>
<p>L'intensité est une grandeur qui permet d'évaluer les effets ressentis en surface. L'intensité d'un séisme est estimée sur une échelle, par exemple l'échelle M.S.K. (pour Medvedev, Sponheuer et Karnik, noms de trois sismologues européens) : Système d'évaluation de l'intensité des séismes qui comporte 12 degrés.</p>	<p>6. <i>Les maisons s'écroulent à partir d'une intensité = IX.</i></p> <p><i>Peu de ponts ont été détruits, ce qui aurait été le cas avec une intensité = X.</i></p>

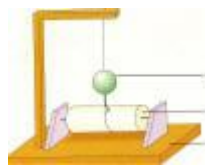
3/ L'origine des séismes

Un séisme est provoqué par la **rupture** brutale d'une **faille**, c'est-à-dire par le déplacement **brusque** de 2 blocs rigides l'un par rapport à l'autre. Les forces responsables de ce déplacement s'exercent de façon **continue** sur chacun des deux blocs, mais la **faille** reste **bloquée** pendant de longues périodes. Au voisinage de la **faille** bloquée, les roches se **déforment** de manière **élastique**, sans **rompre**.

A un moment donné, une **rupture** brutale se produit : elle relâche en quelques **secondes** les contraintes accumulées parfois pendant plusieurs **siècles**. L'énergie accumulée est libérée. Puis la **faille** est de nouveau **bloquée** et le cycle recommence. Chaque **rupture** est la cause d'un séisme.



1. Comment les scientifiques peuvent-ils enregistrer les séismes ?



sismographe

1 : pendule ; 2 : cylindre enregistreur ; 3 : socle

L'origine du séisme est une rupture de roches qui débute au foyer.

- **Rupture sismique** = moment où la faille cède brutalement, provoquant un séisme.

A partir de ce foyer, des **ondes sismiques** (vibrations produites par un séisme) se propagent dans toutes les directions et, quand elles atteignent la surface, elles peuvent être enregistrées par un appareil appelé **sismomètre** (ou **sismographe**)

- **Sismographe** (ou séismographe) : terme ancien désignant un appareil permettant de représenter sur un graphe les mouvements du sol. Il est souvent utilisé à la place de sismomètre.
- **Sismomètre** (ou séismomètre) Détecteur des mouvements du sol qui comporte un capteur mécanique, un amplificateur et un enregistreur.
- **Sismoscope** (ou séismoscope) Instrument simplifié détectant les séismes sans les enregistrer.

2. Qu'est-ce que les enregistrements permettent de connaître ?



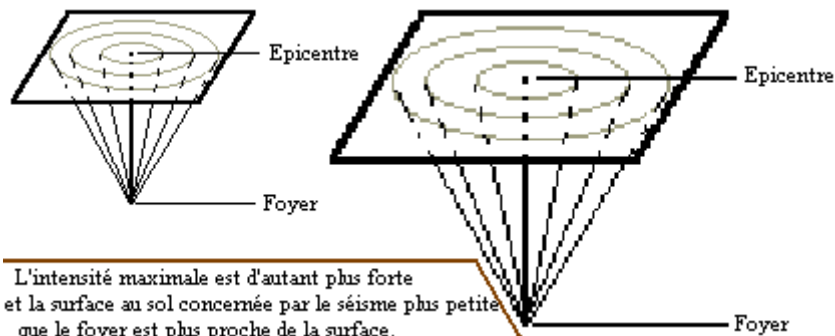
L'enregistrement obtenu est un **sismogramme** (ou séismogramme). L'analyse et la comparaison des sismogrammes d'un séisme permet de déterminer :

- la position précise du foyer
- la magnitude du séisme.

3. Pourquoi l'enregistrement australien est-il différent de l'enregistrement français ?

- les différentes ondes sismiques sont arrivées rapidement en Australie, proche de l'épicentre
- Il a fallu plus de temps pour que les différentes ondes arrivent en France, pays éloigné de l'épicentre.

4. Pourquoi est-il intéressant de connaître la profondeur du foyer (35 km dans le cas du séisme du 27 mai 2006) ?



L'amplitude des ondes sismiques décroît avec la distance au foyer. C'est pourquoi l'intensité décroît si on s'éloigne de l'épicentre, ou si le séisme est plus profond.

- foyer à 35 km = foyer superficiel = dégâts importants mais sur une surface limitée
- foyer à 500 km = foyer profond = aucun dégât mais séisme perçu sur une surface importante.

5. Quelle est la différence entre... foyer et épocentre ? intensité et magnitude ?

- Le **foyer** = hypocentre est une zone située sous terre qui est à l'origine du tremblement de terre. L'**épocentre** est un point de la surface du sol situé à la verticale du foyer.
- L'**intensité** est une valeur associée au lieu d'observation, alors que la magnitude est une valeur associée au séisme. Deuxième différence : la magnitude se calcule, l'intensité ne peut donner lieu qu'à une estimation.

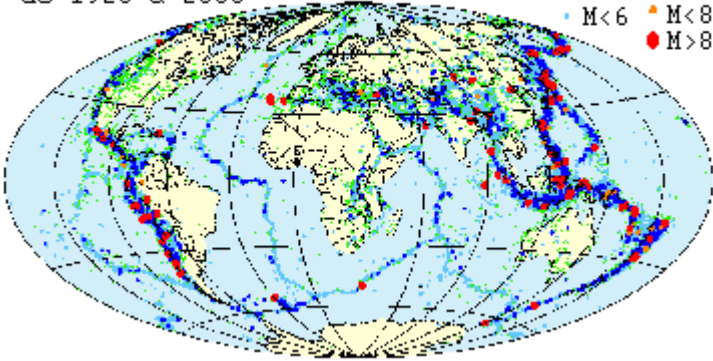
4/ Prévention, prévision des risques sismiques

1. Connait-on les zones où des séismes importants peuvent survenir ?

Les zones où des séismes importants peuvent survenir sont connues. On appelle **sismicité** (ou séismicité) la distribution géographique des séismes en fonction du temps.

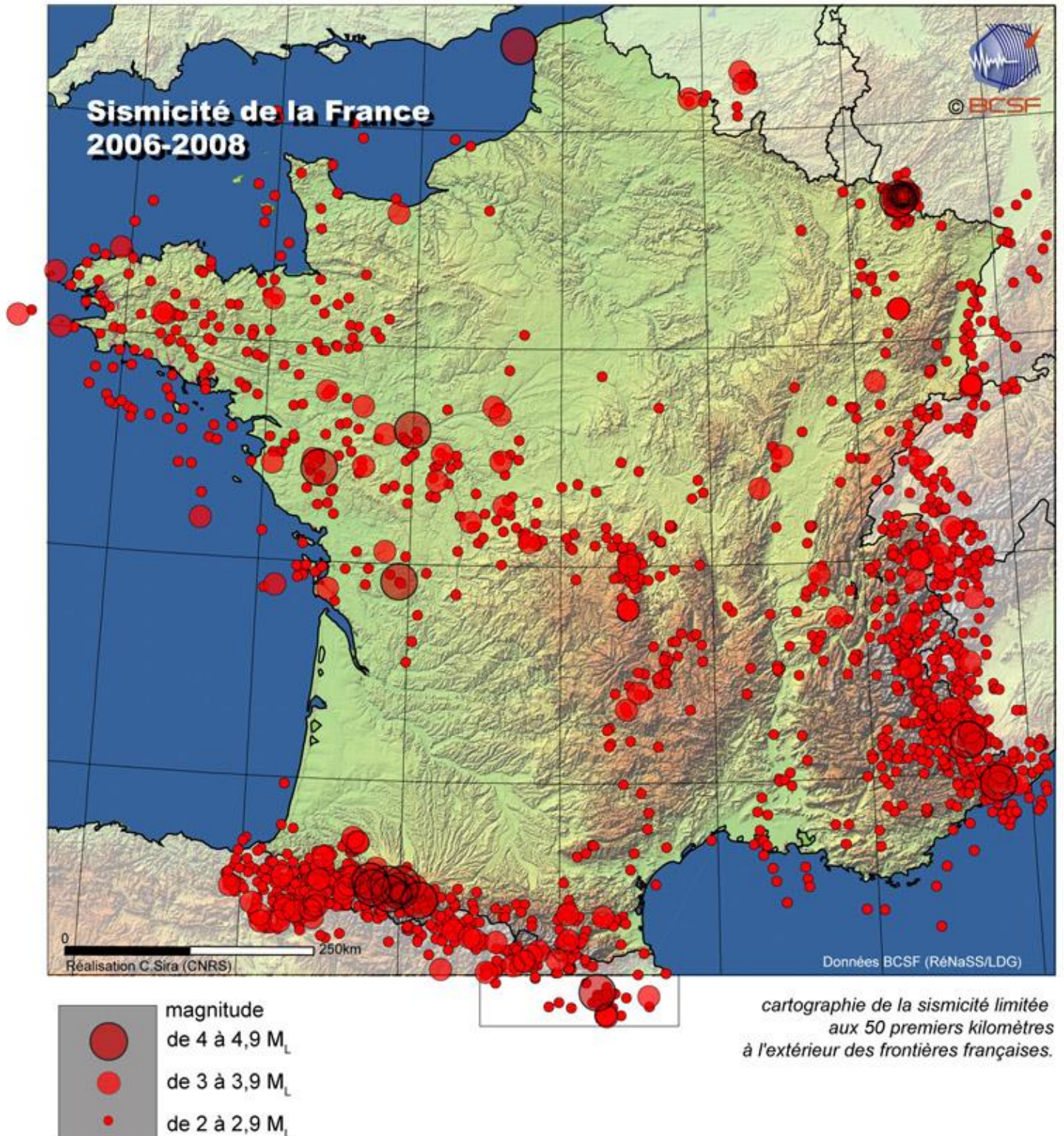
- En [France](#), la sismicité est négligeable, et les risques de séismes destructeurs ne sont pas nuls. Les régions à risques sont essentiellement les [Pyrénées](#), [les Alpes](#), [la Provence](#), l'[Alsace](#).
- Dans le monde, les $\frac{3}{4}$ des séismes surviennent dans le pourtour du Pacifique, les autres ont lieu sur une bande qui s'étend de la Méditerranée à la [Chine](#) (ce sont des zones de montagne) ou au milieu des océans.

Pour mieux connaître la sismicité de différents pays du monde, vous pouvez cliquer sur les zones de la carte où la souris se transforme en main... ([origine de la carte](#))

	<p>Sismicité du monde de 1928 à 2000</p> <p>magnitude</p> <ul style="list-style-type: none"> • M < 5 • M < 6 • M < 7 • M < 8 • M > 8 
<p>2. Sait-on prévoir les séismes ?</p>	<p>On appelle aléa la probabilité qu'un événement (naturel ou technologique) se produise en un lieu donné. Par exemple l'aléa sismique est la probabilité pour un site ou une région de subir une secousse sismique. L'analyse de la fréquence des séismes, de la sismicité instrumentale et l'identification des failles actives, permettent de définir l'aléa sismique d'une région.</p> <p>Les méthodes de prévision permettent d'indiquer, avant qu'ils ne surviennent, les régions des futurs séismes : actuellement, il n'est pas possible de prévoir la date et le lieu exact des séismes. Mais des recherches prometteuses sont en cours, en Chine</p>
<p>3. Quelles sont les principales mesures de prévention ?</p>	<p>Les méthodes de prévention visent à réduire les effets destructeurs des séismes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les méthodes de construction parasismique permettent de limiter les écroulements d'immeubles. • Les secours doivent s'organiser pour être efficaces le plus rapidement possible en cas de séisme. • L'éducation des populations est aussi importante : savoir que pendant un séisme, si on est dans un bâtiment, il faut se mettre sous des meubles solides, loin des fenêtres, et se protéger la tête avec les bras ; après le séisme, il faut rester à l'extérieur, loin de ce qui peut s'effondrer en cas de réplique.
<p>4. Que font les secouristes après un séisme tel que celui survenu en Indonésie ?</p>	<p>Après un séisme, l'aide internationale est importante :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les équipes cynophiles emploient des chiens pour rechercher les blessés présents sous des

décombres

- des médecins aident à soigner les blessés
- l'envoi de tentes est nécessaire pour avoir plus d'hôpitaux, des habitations pour les sans abris, des écoles...
- il faut aussi envoyer des installations pour rendre l'eau potable, des médicaments, de la nourriture, des produits d'hygiène...



L'échelle de Richter

Moins de 2: Microtremblement de terre, non ressenti.

De 2 à 2,9: Généralement non ressenti, mais détecté par les sismographes.

De 3 à 3,9: Souvent ressenti, mais causant très peu de dommages.

De 4 à 4,9: Objets secoués à l'intérieur des maisons, bruits de chocs, dommages importants.

De 5 à 5,9: Dommages majeurs à des édifices mal conçus dans des zones meubles. Légers dommages aux édifices bien construits.

De 6 à 6,9: Dommages dans des zones jusqu'à 180 kilomètres de l'épicentre.

De 7 à 7,9: Dommages sévères dans des zones plus vastes.

De 8 à 8,9: Dommages sérieux dans des zones à des centaines de kilomètres de l'épicentre.

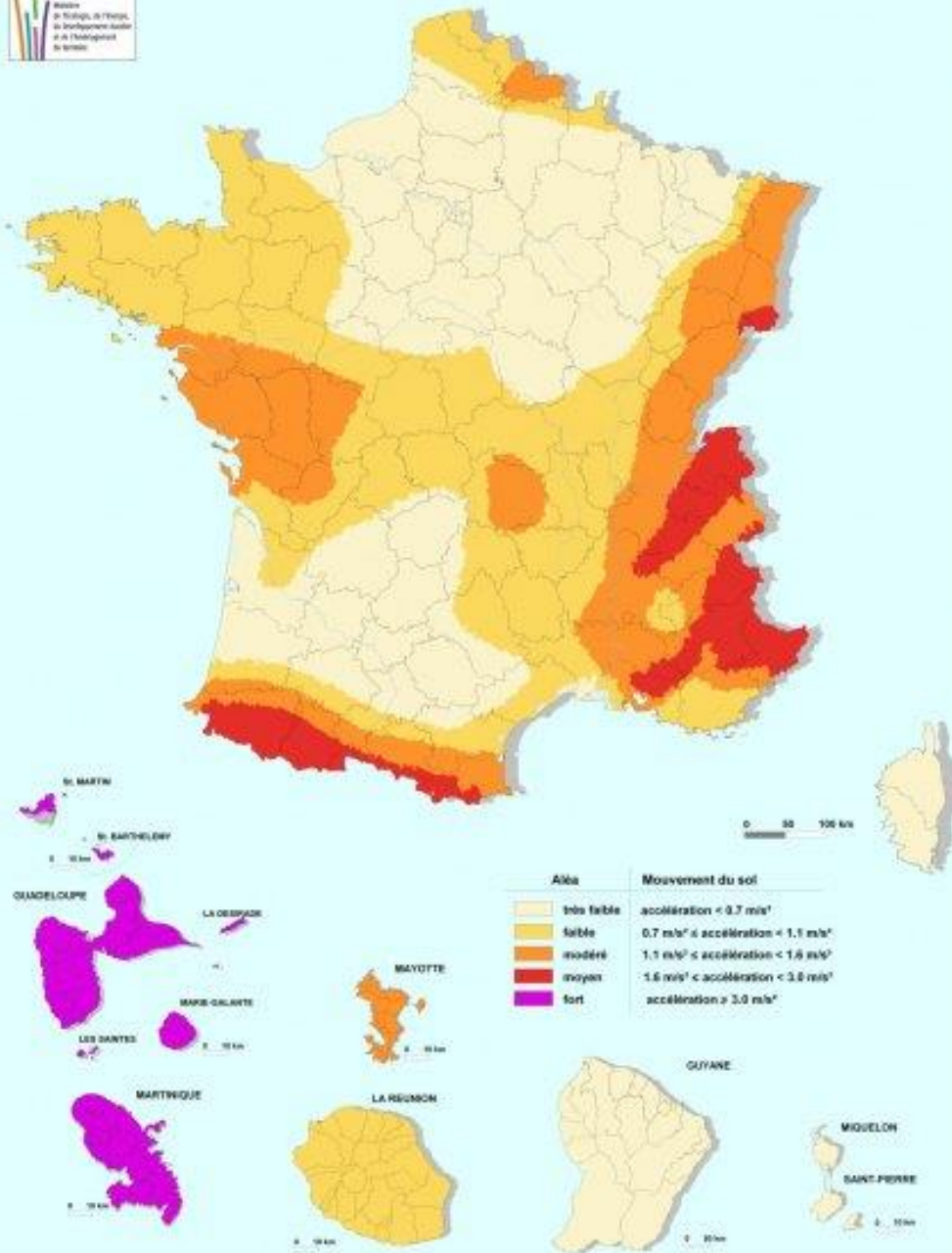
9 et +: Dommages très sérieux dans des zones à des centaines de kilomètres de l'épicentre.



REPUBLIQUE FRANÇAISE



Aléa sismique de la France



2. Grands principes de la nouvelle réglementation parasismique

La nouvelle réglementation relative à la prévention du risque sismique, entrée en vigueur le 1^{er} mai 2011, vise à prendre en compte le nouveau code européen de construction parasismique, l'Eurocode 8, ainsi que les progrès scientifiques dans les domaines de la sismologie et du génie parasismique.

Le décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010, qui modifie les articles R. 563-1 à R. 563-8 du Code de l'environnement, définit les grands principes relatifs aux règles parasismiques applicables aux bâtiments, équipements et installations :

1. Dans l'article R. 563-2, deux **classes de bâtiments, équipements et installations** sont distingués : les ouvrages dits « à risque normal » (ORN), définis dans l'article R. 563-3, et les ouvrages dits « à risque spécial » (ORS), définis dans l'article R. 563-6.
 - **Les ouvrages à risque normal** sont les bâtiments, installations et équipements pour lesquels les conséquences d'un séisme sont circonscrites à leurs occupants et à leur voisinage immédiat. Ils sont répartis en quatre catégories d'importance définies en fonction du risque encouru par les personnes ou du risque socio-économique causé par leur défaillance :
 - **catégorie d'importance I** : ouvrages dont la défaillance ne présente qu'un risque minime pour les personnes ou l'activité économique ;
 - **catégorie d'importance II** : ouvrages dont la défaillance présente un risque moyen pour les personnes ;
 - **catégorie d'importance III** : ouvrages dont la défaillance présente un risque élevé pour les personnes et ceux présentant le même risque en raison de leur importance socio-économique ;
 - **catégorie d'importance IV** : ouvrages dont le fonctionnement est primordial pour la sécurité civile, pour la défense ou pour le maintien de l'ordre public.
- Pour les bâtiments, la nature des quatre catégories d'importance est précisée dans l'arrêté du 22 octobre 2010.

- **Les ouvrages à risque spécial** comprennent les bâtiments, les équipements et les installations pour lesquels les effets sur les personnes, les biens et l'environnement, de dommages même mineurs, résultant d'un séisme peuvent ne pas être circonscrits au voisinage immédiat de ces ouvrages. Il s'agit notamment des barrages ou centrales nucléaires (qui sont soumis à des recommandations de sûreté particulières), mais aussi de certains équipements et installations et de certaines installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).
2. Dans l'article R. 563-4, est défini le **zonage sismique du territoire national** comportant 5 zones (1, 2, 3, 4 et 5) applicable aux ouvrages. La répartition des communes entre ces zones est effectuée dans le décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010.
 3. Dans les articles R. 563-5 et R. 563-7, est précisée la nature des arrêtés réglementaires spécifiant les mesures préventives et, en particulier, les règles de construction à respecter pour les ouvrages à risque normal et à risque spécial. Deux arrêtés d'application ont pour le moment été signés : pour les bâtiments le 22 octobre 2010 et pour les ICPE le 24 janvier 2011.
 4. Dans l'article R. 563-8, il est précisé qu'un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) peut fixer des règles de construction mieux adaptées au contexte local.

Cette nouvelle réglementation améliore la prévention du risque sismique pour un plus grand nombre de personnes : **plus de 21 000 communes sont concernées par les nouvelles règles de construction parasismique contre un peu plus de 5 000 par la réglementation précédente.**

RÉFÉRENCE

Décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique (JO du 24 octobre 2010).

4. Catégories d'importance des bâtiments « à risque normal »

L'arrêté du 22 octobre 2010 définit les règles de construction parasismique et l'action sismique à prendre en compte pour le dimensionnement des bâtiments.





RÉFÉRENCE

Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal » (JO du 24 octobre 2010).

Le niveau de protection parasismique du bâtiment doit être modulé en fonction de l'enjeu associé. Une classification des bâtiments en catégories d'importance est donc établie en fonction du risque pour la sécurité des personnes et le risque socio-économique que représenterait leur défaillance. L'article 2 de l'arrêté du 22 octobre 2010 définit quatre catégories d'importance pour les bâtiments (Fig. 4.1), de

la catégorie I comprenant les bâtiments dont la défaillance ne présente qu'un risque minime pour les personnes ou l'activité socio-économique (ex. : hangars agricoles), à la catégorie IV regroupant les bâtiments dont le fonctionnement est primordial pour la sécurité civile, la défense nationale ainsi que pour le maintien de l'ordre public (ex. : hôpitaux, casernes de pompiers).

Figure 4.1
Catégories d'importance des bâtiments à risque normal (Source : MEDDTL/DGALN)

Catégories d'importance	Description	Exemples
I 	<ul style="list-style-type: none"> Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée 	Hangars, bâtiments agricoles
II 	<ul style="list-style-type: none"> Habitations individuelles Établissements recevant du public (ERP) de catégories 4 et 5 Habitations collectives de hauteur inférieure à 28m Bureaux ou établissements non commerciaux non ERP, h ≤ 28m, max. 300 personnes Bâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 pers. Parcs de stationnement ouverts au public 	Maisons individuelles, petits bâtiments
III 	<ul style="list-style-type: none"> ERP de catégories 1, 2 et 3 Habitations collectives et bureaux, h > 28m Bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes Établissements sanitaires et sociaux Centres de production collective d'énergie Établissements scolaires 	Grands établissements, centres commerciaux, écoles
IV 	<ul style="list-style-type: none"> Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public Bâtiments assurant le maintien des communications, la production et le stockage de l'eau potable, la distribution publique de l'énergie Bâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienne Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise Centres météorologiques 	Protection primordiale : hôpitaux, casernes...

Bâtiments neufs

Les règles de construction applicables aux bâtiments neufs dépendent de la catégorie d'importance du bâtiment et de la zone de sismicité dans laquelle il se trouve (Fig. 5.1). Il n'y a pas d'exigence réglementaire si le bâtiment est en zone 1, ou s'il appartient à la catégorie d'importance I, ou s'il est en catégorie II en zone 2.

Les règles simplifiées susmentionnées peuvent être utilisées dans certaines conditions pour les bâtiments de catégorie II, ainsi que pour les établissements scolaires en zone 2 (article 4 de l'arrêté du 22 octobre 2010).

Figure 5.1
Règles de construction parasismique applicables aux bâtiments neufs selon leur zone de sismicité et leur catégorie d'importance (Source : MEDDTL/DGALN)

	I	II	III	IV
Zone 1	aucune exigence			
Zone 2	aucune exigence			Eurocode 8
Zone 3	aucune exigence	Règles simplifiées PS-MI	Eurocode 8	Eurocode 8
Zone 4	aucune exigence	Règles simplifiées PS-MI	Eurocode 8	Eurocode 8
Zone 5 (Antilles)	aucune exigence	Règles simplifiées CP-MI Antilles	Eurocode 8	Eurocode 8

Bâtiments existants

Pour les bâtiments existants, la réglementation n'impose pas de travaux de renforcement. Néanmoins, le principe de base de la réglementation est que si des travaux sont réalisés sur des bâtiments existants, ils ne doivent pas aggraver la vulnérabilité de ces bâtiments au séisme. Ainsi, si des travaux conséquents sont envisagés (création importante de surface, suppression de plancher, suppression de contreventement, ajout d'un équipement lourd en toiture), un dimensionnement est nécessaire avec une minoration de l'action sismique à 60 % de celle du neuf (Fig. 5.2). Les règles PS-MI et CP-MI peuvent être utilisées dans le cas de travaux sur des bâtiments existants si les conditions d'applicabilité sont respectées. La zone de sismicité à prendre en compte pour les normes PS-MI est alors celle immédiatement inférieure à celle du zonage réglementaire où se trouve le bâtiment.

Dans le même temps, les maîtres d'ouvrage sont incités à réduire la vulnérabilité de leurs bâtiments dans une démarche volontaire, en choisissant le niveau de confortement qu'ils souhaitent atteindre (Fig. 5.3). Les extensions avec joint de fractionnement sont traitées comme des bâtiments neufs.

Les éléments non structuraux des bâtiments (par exemple : cheminées, faux-plafonds, cloisons, éléments de façade...) peuvent, en cas de rupture lors d'un séisme, représenter un risque pour la sécurité de personnes ou affecter la structure du bâtiment. C'est pourquoi l'arrêté prend également en compte les éléments non structuraux : l'ajout ou le remplacement d'éléments non structuraux dans le bâtiment doit s'effectuer conformément aux prescriptions de l'Eurocode 8.

Figure 5.2
Règles de construction parasismique applicables aux bâtiments existants selon la zone de sismicité, leur catégorie et le niveau de travaux envisagés (Source : MEDDTL/DGALN)

	Cat.	Travaux	Règles de construction
Zone 2	IV	> 30% de SHON créée	Eurocode 8 $a_{gr}=0,42 \text{ m/s}^2$
		> 30% de plancher supprimé à un niveau	
Zone 3	II	> 30% de SHON créée	PS-MI Zone 2
		> 30% de plancher supprimé à un niveau Conditions PS-MI respectées	
	III	> 30% de SHON créée	Eurocode 8 $a_{gr}=0,66 \text{ m/s}^2$
		> 30% de plancher supprimé à un niveau	
Zone 4	II	> 30% de SHON créée Conditions PS-MI respectées	PS-MI Zone 3
		> 30% de SHON créée > 30% de plancher supprimé à un niveau	
	III	> 20% de SHON créée > 30% de plancher supprimé à un niveau	Eurocode 8 $a_{gr}=0,96 \text{ m/s}^2$
		> 20% des contreventements supprimés Ajout équipement lourd en toiture	
Zone 5	II	> 30% de SHON créée Conditions CP-MI respectées	CP-MI
		> 20% de SHON créée > 30% de plancher supprimé à un niveau > 20% des contreventements supprimés	
	III	> 20% de SHON créée > 30% de plancher supprimé à un niveau	Eurocode 8 $a_{gr}=1,8 \text{ m/s}^2$
		> 20% des contreventements supprimés Ajout équipement lourd en toiture	

Figure 5.3
Gradation des exigences des règles parasismiques pour les bâtiments existants (Source : MEDDTL/DGALN)

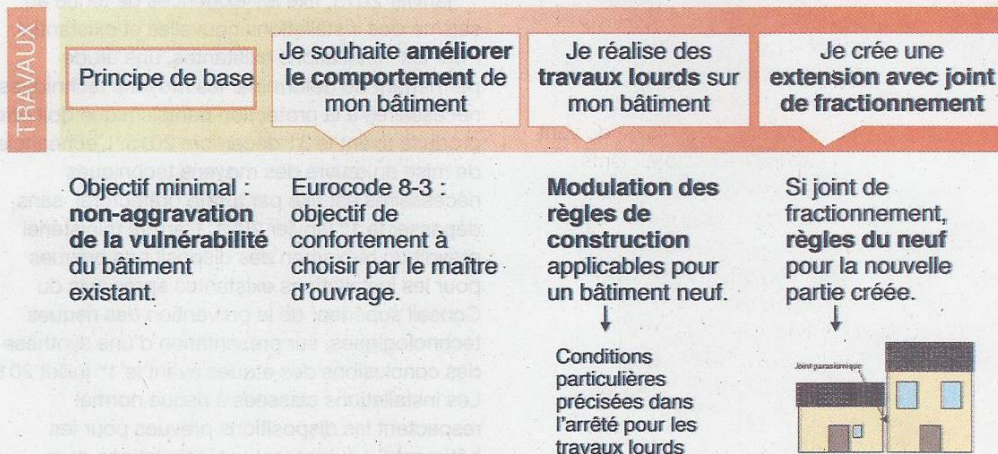


Tableau 4 : Classification des dommages aux bâtiments en maçonnerie selon l'EMS 98 [1]




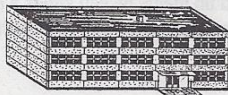
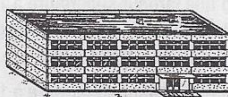

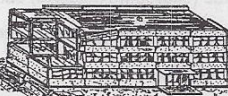
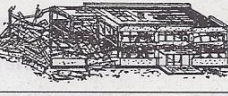
	<p>Degré 1: Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structural, légers dégâts non structuraux) Fissures capillaires dans très peu de murs. Chute de petits débris de plâtre uniquement. Dans de rares cas, chute de pierres descellées provenant des parties supérieures des bâtiments.</p>
	<p>Degré 2: Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés) Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grands morceaux de plâtre. Effondrement partiel des cheminées.</p>
	<p>Degré 3: Dégâts sensibles à importants (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants) Fissures importantes dans la plupart des murs. Les tuiles des toits se détachent. Fractions des cheminées à la jonction avec le toit; défaillance d'éléments non structuraux séparés (cloisons, murs pignons).</p>
	<p>Degré 4: Dégâts très importants (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants) Défaillance sérieuse des murs; défaillance structurale partielle des toits et des planchers.</p>
	<p>Degré 5: Destruction (dégâts structuraux très importants) Effondrement total ou presque total.</p>

Tableau 5 : Classification des dommages aux bâtiments en béton armé selon l'EMS 98 [1]

	<p>Degré 1: Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structural, légers dégâts non structuraux) Fissures fines dans le plâtre sur les parties de l'ossature ou sur les murs à la base. Fissures fines dans les cloisons et les remplissages.</p>
	<p>Degré 2: Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés) Fissures dans les structures de types portiques (poteaux et poutres) et dans structures avec murs. Fissures dans les cloisons et les murs de remplissage; chute des revêtements friables et du plâtre. Chute du mortier aux jonctions entre les panneaux des murs.</p>
	<p>Degré 3: Dégâts sensibles à importants (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants) Fissures dans les poteaux et dans les nœuds à la base de l'ossature et aux extrémités des linteaux des murs avec des ouvertures. Ecaillage du revêtement de béton, flambement des barres d'armature longitudinale. Fissures importantes dans les cloisons et les murs de remplissage, défaillance de certains panneaux de remplissage.</p>
	<p>Degré 4: Dégâts très importants (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants) Fissures importantes dans les éléments structuraux avec défaillance en compression du béton et rupture des barres à haute adhérence; perte de l'adhérence barres-béton; basculement des poteaux. Ecrasement de quelques poteaux ou d'un étage supérieur.</p>
	<p>Degré 5: Destruction (dégâts structuraux très importants) Effondrement total du rez-de-chaussée ou de parties de bâtiments.</p>

Trois degrés de dommages sont visés :

- **Effondrement partiel ou total** : rupture de murs ou poteaux entraînant un effondrement de façade ou de planchers localisé ou total.
- **Dommages structuraux importants** : dommages à la structure nécessitant des réparations « lourdes » ou la démolition (murs éventrés ou largement fissurés, certains poteaux cisailés...).
- **Autre danger pour les personnes** : chute d'éléments non structuraux pouvant blesser les personnes. Ces dommages ne compromettent pas la stabilité de la construction.

L'évaluation du degré de dommages est faite par rapport à un séisme de référence de magnitude 6 correspondant, pour les séismes survenus en France métropolitaine, à une intensité macrosismique entre VIII et IX.

Tableau 7 : Résultat d'une évaluation sommaire (exemple) [2]

	Effondrement partiel ou total	Dommages structuraux importants	Autre danger pour les personnes
Séisme de magnitude 6		X	X

Une fiche de relevé de facteurs de vulnérabilité et un mode d'évaluation différents figurent dans la référence [3], disponible en France et également d'une utilisation facile.

4.4.2 - Prédiagnostic détaillé

Un prédiagnostic détaillé ne peut être effectué que par une personne spécialisée en construction parasismique des bâtiments. Il consiste à examiner successivement la présence ou l'absence des facteurs de vulnérabilité relevant des domaines suivants et à évaluer, par jugement d'expert, le degré de dommages probable lors du séisme de référence :

- Configuration.
- Système constructif (comportement dynamique, capacité à dissiper l'énergie des oscillations).
- Dispositions constructives.
- État de conservation.
- Sol.
- Interactions possibles avec l'environnement construit (entrechoquement, chute d'un bâtiment voisin vulnérable situé en amont, etc.).
- Site.

Ainsi, par exemple, pour évaluer le comportement d'une structure sous charges sismiques horizontales, on doit vérifier sa stabilité d'ensemble qui inclut la possibilité des planchers et toitures d'assurer la fonction de diaphragme, et examiner les facteurs qui réduisent sa résistance mécanique : possibilité d'oscillations asynchrones, de torsion d'ensemble d'un ou plusieurs niveaux, d'effet de niveau souple, d'effet de poteau court, de résonance avec le sol, présence de « points durs »... Les dispositions constructives à considérer concernent notamment les fondations, murs, ossatures, planchers et balcons, escaliers, charpentes, verrières et les éléments non structuraux dont l'endommagement présente un risque pour les personnes. Les facteurs de vulnérabilité liés au site sont la possibilité d'effets de site topographique ou lithologique ou

encore d'effets induits par le séisme : glissement de terrain, éboulement, affaissement, liquéfaction du sol, tsunami...

La référence [4] comporte un exemple d'un prédiagnostic détaillé de la vulnérabilité aux séismes d'une maison individuelle.

4.5 - Diagnostic : évaluation quantitative de la vulnérabilité d'un bâtiment aux séismes

Une étude quantitative d'évaluation de la vulnérabilité est nécessaire lorsque l'examen qualitatif effectué lors de la phase précédente présente de fortes incertitudes ou lorsque l'on décide de réhabiliter une construction dont on a constaté la vulnérabilité aux séismes. Les évaluations quantitatives font l'objet de l'Eurocode 8-3. Elles permettent de vérifier, en utilisant les méthodes d'analyse spécifiées dans l'Eurocode, si un bâtiment non endommagé ou endommagé existant satisfait à l'un des trois états limites choisis par le maître d'ouvrage, parmi ceux cités en 2.1.6.

Un modèle de structure doit être établi sur la base des informations recueillies. Il doit utiliser les valeurs moyennes des propriétés de matériaux et permettre de déterminer les effets des actions sur tous les éléments structuraux pour la combinaison d'actions en situation sismique.

En règle générale, l'analyse peut négliger la résistance et la rigidité des éléments sismiques secondaires vis-à-vis des actions horizontales. Il est toutefois recommandé d'en tenir compte dans le modèle de structure global lors de l'application d'une analyse non linéaire.

IMPORTANT

Distinguer la structure principale de la structure secondaire est essentiel. Vis-à-vis de l'action sismique, la structure principale assure l'intégrité de l'ouvrage et une certaine durée de résistance. Tous les éléments participant au contreventement en font partie. Quant aux éléments de la structure secondaire, ils doivent tolérer les déformations de la structure principale tout en continuant à porter les charges verticales. Par exemple, dans une ossature en béton armé contreventée par des voiles, les poteaux sont en général considérés comme des éléments secondaires, car leur rigidité latérale est nettement plus faible que celle des voiles (la résistance aux charges sismiques est assurée essentiellement par les éléments structuraux les plus rigides). La quasi-totalité des dispositions parasismiques réglementaires concerne la structure principale. Par conséquent, une identification inexacte de la structure principale peut se traduire par un diagnostic erroné.

Le calcul dépend du niveau de connaissance de la structure étudiée. L'Eurocode 8-3 en définit trois : connaissances limitée, normale et intégrale. Les valeurs moyennes des propriétés des matériaux existants, obtenues à partir des essais *in situ* et des sources d'information supplémentaires, doivent être, selon le cas, divisées ou multipliées par un coefficient de confiance, qui dépend du niveau de connaissance.

Certains manuels distinguent trois niveaux d'évaluation. En réalité, on en pratique souvent deux : étude sommaire, réalisée pour un appel d'offres, et étude détaillée, élaborée pour le projet d'exécution. C'est cette dernière qui permet de justifier l'état limite obtenu.

5 - CHOIX DE L'INTERVENTION SUR LA STRUCTURE

Deux stratégies d'intervention différentes sont possibles. De préférence, elles devraient être adoptées simultanément, d'autant plus que certaines démarches, comme l'amélioration de la capacité de la construction à dissiper l'énergie, agissent sur les deux « tableaux » :

- Optimiser les charges sismiques auxquelles l'ouvrage pourrait être exposé.
- Améliorer le niveau de performances de l'ouvrage face à l'action sismique.

5.1 - Réduction des charges sismiques

La vulnérabilité aux séismes d'un bâtiment diminue avec la baisse des charges sismiques auxquelles il est susceptible d'être exposé. Or pour un séisme donné, l'intensité de ces charges peut varier d'une manière significative en fonction du comportement dynamique de l'ouvrage qui les subit. Ce comportement est déterminé par la masse et l'architecture du système porteur, qu'il est possible de modifier. La réduction des charges sismiques est la démarche la plus rationnelle car elle vise à soustraire partiellement la construction à l'action sismique plutôt que de la renforcer suffisamment pour qu'elle résiste à des charges élevées. Différentes démarches possibles sont commentées ci-après.

5.1.1 - Réduction des masses

Les actions sismiques sur les ouvrages sont directement proportionnelles à leur masse. Dans la limite du possible, il est donc souhaitable de limiter cette dernière, démarche pouvant être adoptée lors d'une réhabilitation lourde : remplacement des planchers, de la charpente, de la couverture, des façades, des cloisons, etc., par des ouvrages légers.

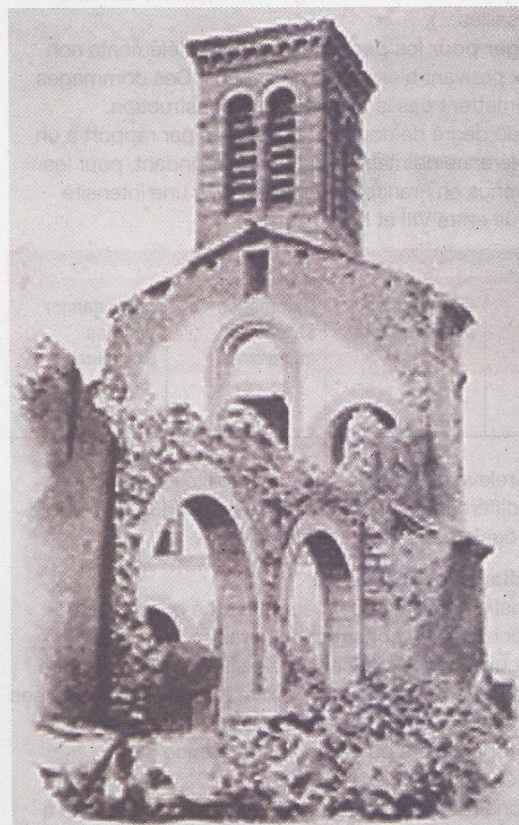
5.1.2 - Prévention de la résonance du bâtiment avec le sol

La résonance d'une construction avec le sol peut engendrer des dommages sismiques importants. En cas de séisme fort, l'effondrement dû à la résonance est très fréquent (Fig. 2).

La résonance se produit lorsque la période propre du bâtiment, c'est-à-dire le temps d'une oscillation libre (par exemple celle des oscillations qui subsistent après l'arrêt des secousses) est proche de celle du sol. Les charges sismiques diminuent significativement avec la différence entre les deux périodes. La démarche consiste donc à modifier la période propre du bâtiment afin de l'éloigner le plus possible de la période dominante du sol. Selon le type de bâtiment, il peut être souhaitable de l'allonger (cas de certains bâtiments contreventés par effet de portique) ou, au contraire, de la raccourcir.

En pratique, dans la plupart des cas, pour prévenir la résonance, une diminution de la période est nécessaire. Elle peut être obtenue par une réduction des masses déjà citée et par

Figure 2. Effondrement d'une église lors du séisme de Provence du 11 juin 1909, fondée sur un sol rocheux. Le corps de l'église, rigide, était en résonance avec le sol alors que le clocher, non détruit alors qu'il était moins résistant, avait une période propre d'oscillation très différente de celle du sol. De ce fait, il était moins sollicité par le séisme que l'église elle-même (Source : carte postale).



l'accroissement de la rigidité de l'ouvrage : ajout d'éléments verticaux de contreventement (voiles en béton, palées de stabilité en acier, notamment en périphérie de la construction, etc.). À l'inverse, l'allongement de la période propre peut être obtenu, par exemple dans le cas d'une ossature en poteaux et poutres, par la suppression d'éléments rigides comme les panneaux de remplissage en maçonnerie et l'utilisation de cloisons et façades légères : cloisons en plaques de plâtre, bardage ou murs-rideaux pour les façades. Par contre, il n'est pas souhaitable de chercher à augmenter la masse, car cela aurait pour conséquence d'accroître les charges sismiques.

5.1.3 - Limitation de la torsion d'ensemble

Lorsque les éléments latéralement rigides, c'est-à-dire les éléments participant au contreventement d'un bâtiment, sont répartis d'une manière asymétrique par rapport à au moins un axe principal passant par le centre de gravité d'un niveau, celui-ci vrille sous l'action sismique horizontale, alors même que le sol ne vrille pas (Fig. 3). Le phénomène, très destructeur, peut être engendré dans un ou plusieurs niveaux. Dans le cas du bâtiment de la figure 3, seul le rez-de-chaussée est à l'origine des oscillations de torsion. Lorsqu'un bâtiment est fractionné en

deux ou plusieurs blocs mécaniquement indépendants par des joints de dilatation thermique ou de tassement, la possibilité de torsion doit être examinée pour chacun d'eux.

Figure 3 : Dommages dus aux oscillations de torsion
(Photo : K. Takeyama, photothèque de l'AFPS).



La solution la plus fréquente permettant de prévenir la torsion est d'ajouter aux niveaux concernés des murs ou des éléments de contreventement triangulés (croix de Saint-André, barres disposées en V...) placés de manière à équilibrer la rigidité du niveau par rapport aux axes principaux passant par son centre de gravité. La figure 4 montre une telle solution. L'ajout d'un mur sur le pignon droit équilibre la rigidité transversale. Dans la direction longitudinale, la rigidité était déjà répartie symétriquement par rapport à l'axe passant par G, aucune correction n'est donc nécessaire. Il est important de noter que le mur ajouté doit être fondé. Il participe à la transmission des charges sismiques dans les fondations.

Une solution différente a été utilisée pour la mise à niveau d'un central téléphonique à Nice (Fig. 5). À l'origine, le bâtiment était fractionné en deux blocs par un joint de dilatation thermique. En cas de séisme, chacun des blocs pouvait vriller autour d'un noyau central, très rigide vis-à-vis de l'ossature en poteaux et poutres du bâtiment. Afin de limiter la torsion, le joint a été supprimé par injection de mortier et brèlage par câbles de précontrainte. Une symétrie de rigidité transversale a ainsi été obtenue, le bâtiment n'étant plus constitué que d'un seul bloc.

Figure 4. Prévention de la torsion : ajout d'un mur.

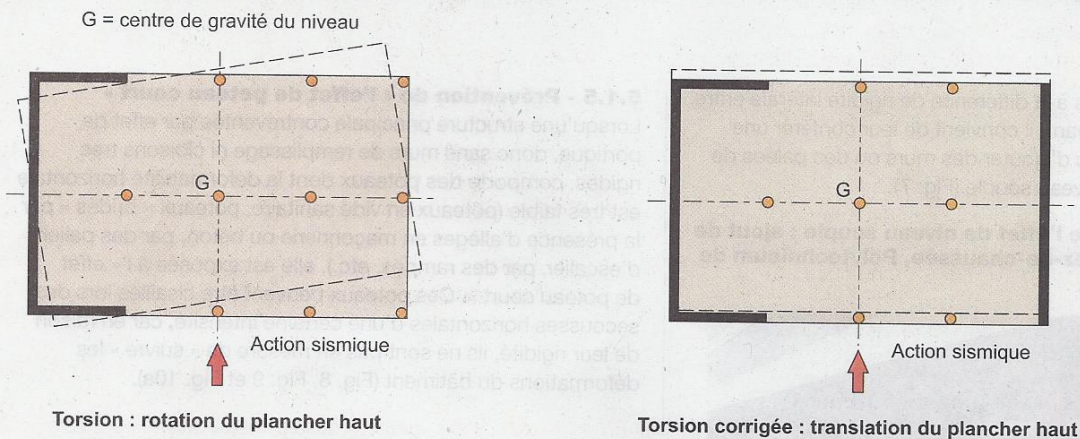
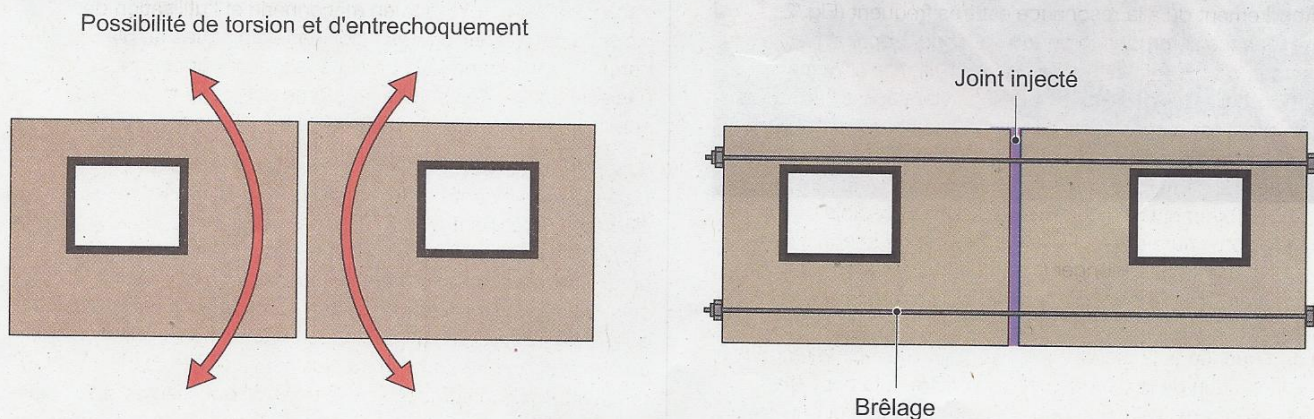


Figure 5. Suppression d'un joint de fractionnement.



PARASISMIQUE : MISE EN SÉCURITÉ DES BÂTIMENTS EXISTANTS

5.1.4 - Prévention de « l'effet de niveau souple »

Les rez-de-chaussée d'immeuble comportent parfois de nombreuses ouvertures, vitrines, ou sont entièrement ouverts. De ce fait, leur rigidité latérale est significativement inférieure à celle du niveau supérieur. Ces niveaux, appelés « souples »,

Figure 6. Dommages dus à l'effet de niveau souple.



a) Séisme de Kobé, Japon 1995 (Photo : B. Weliachew)

peuvent subir lors des tremblements de terre des déformations importantes, entraînant des dommages graves ou même l'effondrement du bâtiment, par ce qu'on appelle « effet de niveau souple » (Fig. 6).



b) Séisme de Ceyhan-Misis, Turquie 1998 (Photo : P. Balandier)

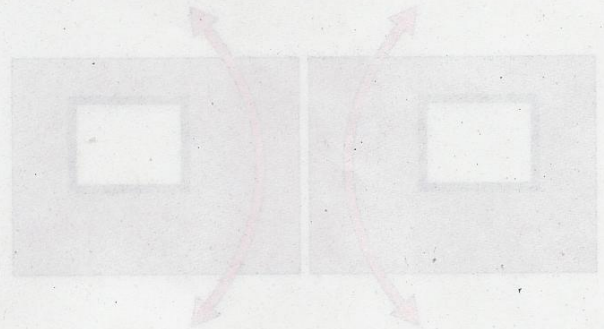
Ces dommages étant dus à la différence de rigidité latérale entre le niveau souple et le suivant, il convient de leur conférer une rigidité comparable, donc d'ajouter des murs ou des palées de stabilité triangulées au niveau souple (Fig. 7).

Figure 7. Prévention de l'effet de niveau souple : ajout de contreventement en rez-de-chaussée, Polytechnicum de Zurich. (Photo : T. Wenk).



5.1.5 - Prévention de « l'effet de poteau court »

Lorsqu'une structure principale contreventée par effet de portique, donc sans murs de remplissage ni cloisons très rigides, comporte des poteaux dont la déformabilité horizontale est très faible (poteaux en vide sanitaire, poteaux « bridés » par la présence d'allèges en maçonnerie ou béton, par des paliers d'escalier, par des rampes, etc.), elle est exposée à l'« effet de poteau court ». Ces poteaux peuvent être cisailés lors des secousses horizontales d'une certaine intensité, car en raison de leur rigidité, ils ne sont pas en mesure de « suivre » les déformations du bâtiment (Fig. 8, Fig. 9 et Fig. 10a).



Dans le passé, ce phénomène s'est parfois traduit par l'effondrement de la construction.

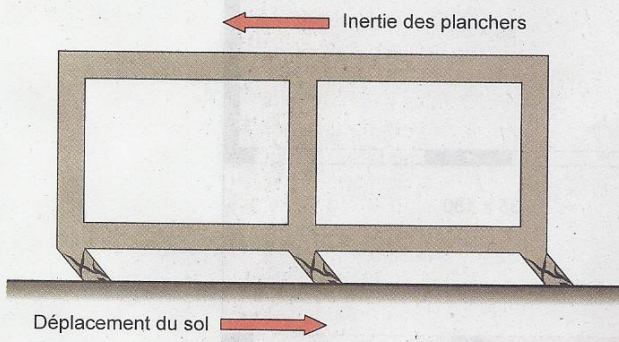
Deux solutions sont particulièrement efficaces pour prévenir l'effet de poteau court (Fig. 10b) :

- Transformer le système de portiques en structure secondaire en le contreventant par des murs en béton (à tous les niveaux y compris le vide sanitaire s'il est apparent) ou palées de stabilité triangulées (en superstructure) possédant une rigidité latérale nettement supérieure à celle des portiques. La résistance aux charges sismiques horizontales sera alors assurée par ces éléments de contreventement. Ces derniers peuvent être placés en façade (solution plus efficace) ou dans des files de poteaux intérieures. Le choix de la travée d'une file qui sera contreventée n'a pas d'importance, mais globalement, la rigidité horizontale doit être répartie, dans les deux directions principales, symétriquement par rapport au centre de gravité des niveaux sous peine d'un risque de torsion.
- Dans le cas des allèges rigides, remplacer celles-ci par des éléments déformables en bardage ou panneaux de menuiserie.

Figure 9. Cisaillement d'un poteau « bridé » par des allèges en béton, séisme de Tokachi-Oki, Japon 1968
(Photo : K. Takeyama, photothèque de l'AFPS).



Figure 8. Cisaillement des poteaux du vide sanitaire par « effet de poteau court ».

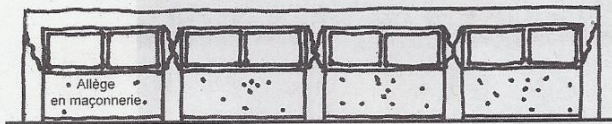


a) Causes directes du cisaillement



b) Séisme d'El Asnam, Algérie 1980 (Photo : A. Hadj Hamou)

Figure 10. Prévention de « l'effet de poteau court ».



a) Dommages dus à « l'effet de poteau court »



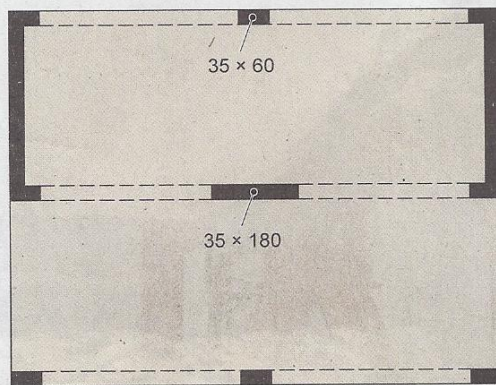
b) Exemples de solutions

5.1.6 - Suppression des « points durs »

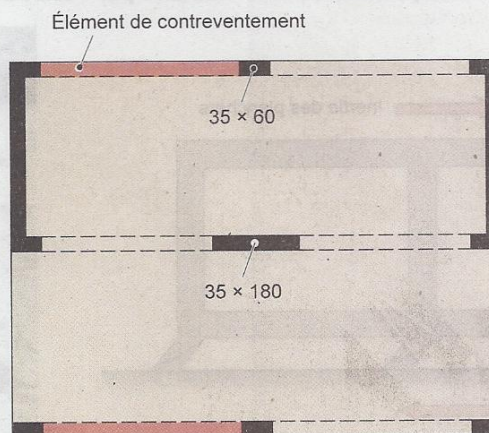
Quand certains éléments de contreventement possèdent une rigidité transversale beaucoup plus grande que les autres, ils constituent des « points durs » qui, en bloquant les déformations, subissent en cas de séisme des charges très élevées. Le poteau central de la figure 11a étant trois fois plus large que les autres poteaux, il recevra, dans la direction longitudinale, vingt-sept fois plus de charges horizontales (le cube de 3). L'éclatement des « points durs » en cas de tremblement de terre est fréquent.

Pour prévenir les dommages graves aux « points durs », la meilleure solution consiste à ajouter des éléments de contreventement plus rigides, symétriquement disposés par rapport au centre de gravité des niveaux (Fig. 11b). Grâce à leur plus grande rigidité, ils joueront le rôle de la structure principale à la place des « points durs ». Comme pour chaque ajout d'éléments de contreventement, la transmission dans les fondations des charges sismiques qu'ils supportent doit être assurée.

Figure 11. Suppression d'un « point dur ».



a) Présence d'un point dur



b) Absence de points durs

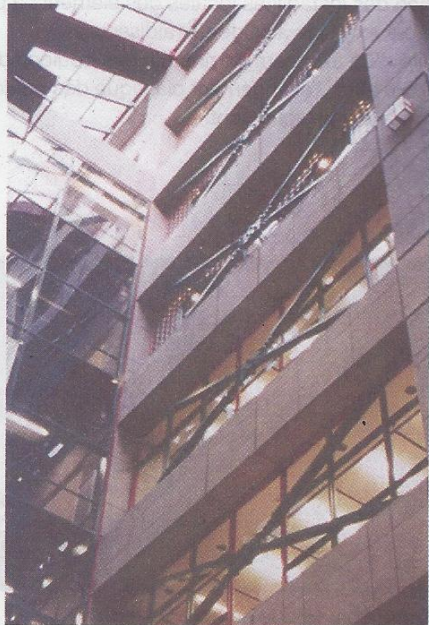
5.1.7 - Prévention de l'entrechoquement

Lors d'un tremblement de terre, l'entrechoquement se produit entre deux constructions voisines ou entre deux blocs d'un même bâtiment séparés par un joint de fractionnement ayant une largeur insuffisante (Fig. 12). Afin de le prévenir, le joint peut être supprimé par injection de mortier (Cf. Fig. 5), ou au contraire élargi, en supprimant à cette occasion le remplissage de polystyrène et les gravas éventuels. Cette dernière solution nécessite la démolition, sur un côté du joint, des éléments porteurs attenants et leur reconstruction afin de supporter le plancher (murs ou ossature en poteaux et poutres).

Figure 12. Dommages dus à l'entrechoquement de blocs d'un bâtiment fractionné, séisme de Tokachi-Oki, Japon 1968 (Photo : K. Takeyama, photothèque de l'AFPS).



Figure 13. Emploi d'amortisseurs.



a) Amortisseurs à frottement placés aux croisements de tirants (Photo : M. Zacek)

5.1.8 - Emploi d'amortisseurs parasismiques

Une réduction très significative des charges sismiques peut être obtenue par des amortisseurs à frottement ou viscoélastiques placés dans des éléments de contreventement (Fig. 13). Cette démarche peut être économiquement intéressante.

REMARQUE

Les amortisseurs ne doivent pas être confondus avec les appuis parasismiques appelés également isolateurs. Ceux-ci sont des appareils porteurs, placés en général à la base des immeubles afin de les découpler des oscillations du sol. Ils ont déjà été utilisés pour réduire les charges sismiques d'un ouvrage existant (par exemple dans le cas de la mairie d'Oakland en Californie), mais le coût de telles opérations est prohibitif car, afin de pouvoir mettre en place les isolateurs, il faut réaliser en sous-cœuvre une grille de poutres permettant de soulever le bâtiment à l'aide de vérins. A contrario, l'emploi d'amortisseurs peut être relativement économique. Leur rôle est de dissiper une partie de l'énergie cinétique des oscillations du bâtiment.



b) Amortisseur viscoélastique (Photo : Société Jarret)

5.2 - Amélioration du niveau de performance d'un bâtiment existant

L'amélioration du niveau de performance d'une structure est souvent identifiée à l'augmentation de sa résistance mécanique par renforcement. Un tel raisonnement est réducteur car la résistance n'est pas la seule à participer à la performance globale du bâtiment face à l'action sismique.

Par exemple, la capacité des constructions à dissiper l'énergie joue un rôle déterminant car, à la différence du vent, l'action sismique n'exerce pas sur elles des forces externes. Cette action est caractérisée par l'énergie cinétique générée lors des déplacements imposés aux fondations, qui se répercutent sur la superstructure. Celle-ci subit des déformations d'ensemble qui, lorsqu'elles dépassent certaines limites, provoquent des dommages. Ce n'est donc pas une charge externe qui génère des contraintes dans les éléments de structure. Si la construction est en mesure d'absorber toute l'énergie cinétique qui lui est communiquée (par stockage grâce aux déformations élastiques et par dissipation lors des déformations non élastiques), il n'y a pas de rupture d'éléments structuraux. Par conséquent, une structure moins résistante (au sens statique) qu'une autre peut être plus performante si elle parvient à dissiper davantage d'énergie.

Le niveau de performance d'un bâtiment peut être amélioré par :

- renforcement de la structure et d'éléments non structuraux (des exemples sont montrés dans les paragraphes 6 à 8) ;
- ajout d'appuis ;
- amélioration de la capacité de la construction à dissiper l'énergie cinétique ;
- création d'un nouveau système de contreventement ;
- traitement du sol d'assise.

5.2.1 - Ajout d'appuis

Les éléments de franchissement comme les poutres ou les dalles ont souvent été dimensionnés sans tenir compte des charges sismiques ou selon des règles parasismiques aujourd'hui obsolètes.

Plutôt qu'augmenter leurs sections afin de leur permettre de supporter des contraintes plus élevées, il est possible de diviser leur portée, par exemple par deux ou trois, en ajoutant de nouveaux appuis (Fig. 14a). Cette solution permet également de supprimer le travail en console des dalles de balcon (Fig. 14b).

5.2.2 - Amélioration de la capacité de la construction à dissiper l'énergie cinétique

On parle également de l'amélioration de la dissipativité de la structure. Cette stratégie est avantageuse car elle permet de viser un niveau de résistance mécanique réduit. Or il n'est pas toujours économiquement possible de conférer à un bâtiment existant la résistance exigée pour la construction parasismique neuve.

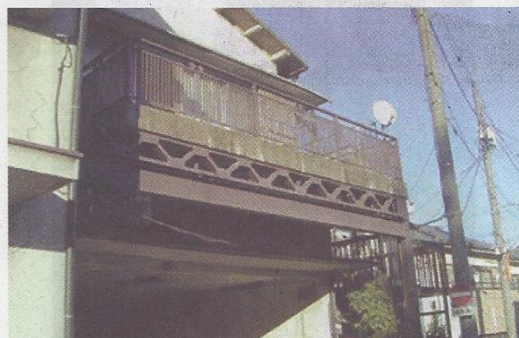
La dissipativité d'une construction peut être augmentée par l'emploi d'amortisseurs parasismiques ou, d'une manière plus conventionnelle, en améliorant la ductilité, ce qui équivaut à augmenter la capacité de la structure à accepter de grandes déformations avant l'effondrement. Les solutions sont spécifiques à chaque situation. On peut néanmoins citer :

- Confinement des éléments porteurs (par des tissus synthétiques, toile de jute, corsetage, chaînages, etc.) ;
- Suppression des affaiblissements locaux dans les murs, poteaux ou poutres afin de prévenir les concentrations de contraintes.
- Suppression de tout changement brusque de forme, donc de section des éléments de contreventement, pour les mêmes raisons. Il convient de réaliser des variations progressives de forme.
- Remplacement des éléments structuraux travaillant en cisaillement ou en torsion par des éléments sollicités à la flexion. En effet, dans le cas général, les sollicitations tangentielles ne permettent pas d'obtenir une ductilité significative.
- Prévention des instabilités locales des éléments à parois minces, par exemple à l'aide de raidisseurs.
- Possibilité d'un allongement notable des boulons d'ancrage (Fig. 15). En effet, l'allongement plastique des boulons est préférable à leur arrachement.

Figure 14 : Ajout d'appuis (Photos : M. Zacek).

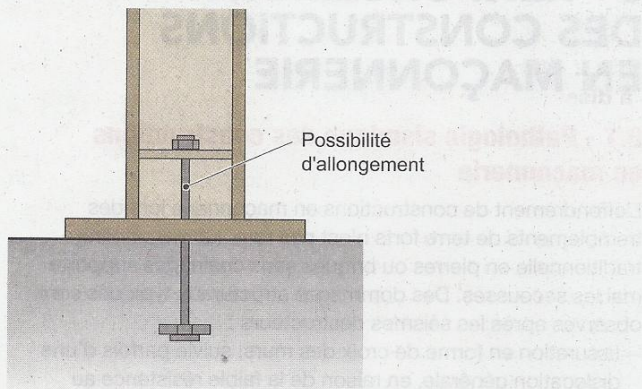


a) Ajout d'une poutre intermédiaire



b) Ajout d'un portique en acier à l'extrémité d'un porte-à-faux

Figure 15. Remplacement des boulons d'ancrage existants par des boulons ductiles pouvant subir un allongement sans rupture ni arrachement.



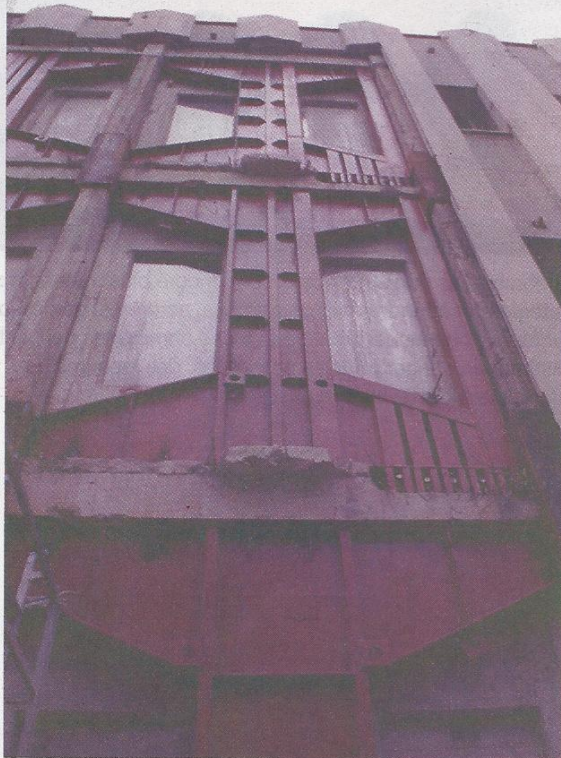
REMARQUE

Hormis l'emploi d'amortisseurs, qui reste encore marginal, la dissipation d'énergie mobilisée par les séismes forts se traduit par des déformations irréversibles, qui sont des dommages. C'est une des raisons pour lesquelles les règles parasismiques admettent les dommages structuraux ne menaçant pas la sécurité des personnes. Cependant, lorsque le maître d'ouvrage souhaite l'absence de dommages même en cas de séisme majeur, le niveau de performance visé peut être obtenu par une amélioration de la résistance mécanique de la construction.

5.2.3 - Création d'un nouveau système de contreventement

Le renforcement des éléments de contreventement existants peut s'avérer coûteux et nécessite parfois l'arrêt momentané de l'exploitation du bâtiment. Il peut alors être intéressant de créer un nouveau système de contreventement, solidarisé avec la structure existante (Fig. 16 et Fig. 17). L'augmentation des charges devant être transmises au sol requiert, selon le cas, la réalisation de nouvelles fondations ou l'amélioration du sol d'assise.

Figure 16. Mise en place d'un nouveau système de contreventement sur la façade de l'immeuble.

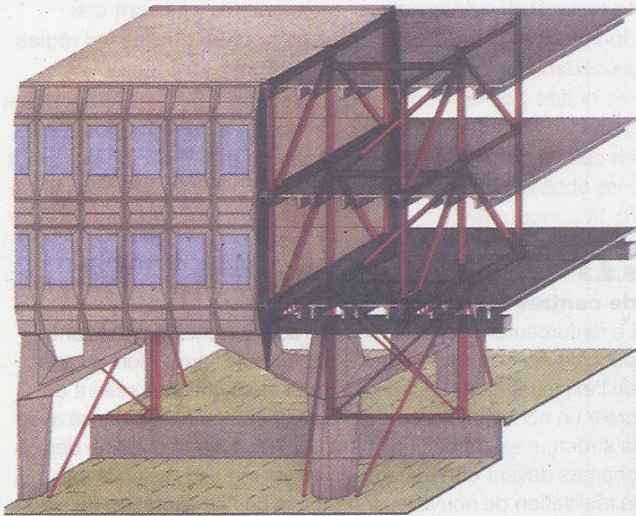


a) Central téléphonique à Nice (Photo : M. Zacek)



b) Cité universitaire à Berkeley, Californie (Photo : G. Hivin)

Figure 17. Mise en place d'un système de contreventement à l'intérieur d'un bâtiment existant (Immeuble IBM à la Gaude, Alpes-Maritimes) (Document : OTUA devenu ConstruirAcier).



5.2.4 - Traitement du sol d'assise

Le comportement des bâtiments exposés à l'action sismique dépend également de celui du sol sur lequel ils sont fondés.

Plusieurs raisons peuvent conduire à l'améliorer :

- nécessité d'augmenter sa capacité portante en raison de l'accroissement des charges de calcul ;
- prévention de tassements importants en cas de séisme ;
- suppression de la susceptibilité de liquéfaction ;
- prévention des mouvements de terrain : glissements, éboulements, affaissements, coulées lentes...

Les techniques utilisées ne sont pas limitées au contexte sismique. Pour leur choix, il convient de consulter une entreprise spécialisée.

6 - RENFORCEMENT DES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE

6.1 - Pathologie sismique des constructions en maçonnerie

L'effondrement de constructions en maçonnerie lors des tremblements de terre forts n'est pas rare. La maçonnerie traditionnelle en pierres ou briques sans chaînages supporte mal les secousses. Des dommages structuraux typiques sont observés après les séismes destructeurs :

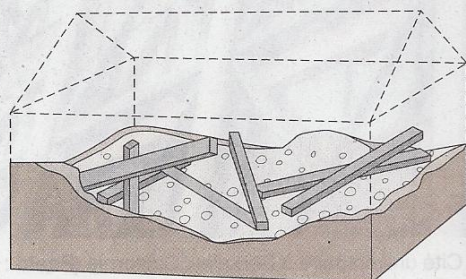
- fissuration en forme de croix des murs, suivie parfois d'une dislocation générale, en raison de la faible résistance au cisaillement du mortier (Fig. 18) ;
- rupture des angles due à la différence des déformations longitudinales et transversales des murs (Fig. 19).

Figure 18. Fissuration en croix des murs en maçonnerie, séisme d'Adana, Turquie 1998 (Photo : P. Balandier).

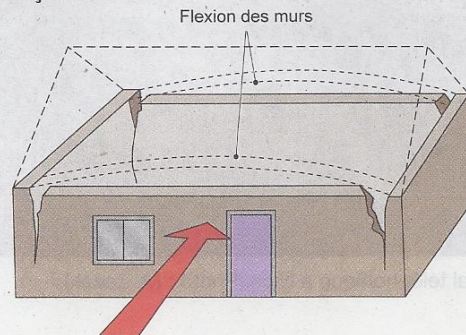


Les dommages non structuraux sont encore plus fréquents : éclatement et effondrement de cloisons, acrotères, garde-corps, souches de cheminée, etc. Lorsque ces dommages peuvent constituer un danger pour les personnes, des mesures de renforcement devraient être prises.

Figure 19. Dommages structuraux typiques aux constructions en maçonnerie.



a) Dislocation générale



b) Rupture des angles

6.2 - Exemples de renforcement des constructions en maçonnerie

6.2.1 - Renforcement et confinement des murs

Afin de prévenir l'effondrement des murs sous l'effet de l'action sismique, il est nécessaire de les confiner et, si leur état l'exige, les réparer et renforcer. Ainsi, même fissurée après un séisme, la maçonnerie peut être maintenue en place et supporter les planchers et les toitures.

Les éventuelles fissures préexistantes devraient être réparées. L'Eurocode 8-3 préconise, entre autres, les techniques de réparation suivantes :

- Fissures d'une largeur inférieure à 1 cm : remplissage de mortier ou injection de coulis de mortier ou à base d'époxy.
- Fissures larges : reconstruction de la zone endommagée avec des briques ou pierres allongées, agrafage ou collage de bandes de toile synthétique, grillage en polymère...

Les maçonneries anciennes ou dégradées devraient également être renforcées sur toute leur surface, de préférence sur les deux faces. On peut utiliser la toile de jute ou les tissus synthétiques,

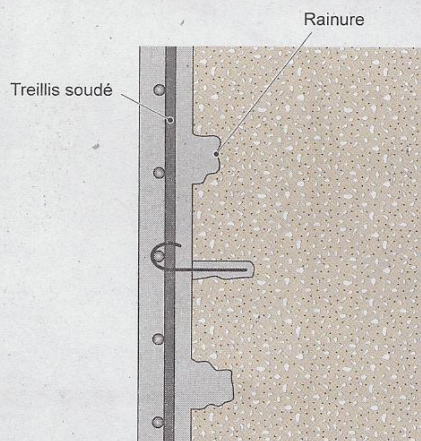
ou encore le grillage en polymère, recevant un enduit ductile, de préférence en mortier de chaux avec renfort de fibres.

La solution de renforcement la plus radicale consiste à chemiser le mur avec du béton projeté, armé de treillis soudé fixé au mur. Lorsque le chemisage est réalisé sur les deux faces du mur, les deux couches doivent être reliées par des attaches disposées à travers la maçonnerie. Des rainures doivent être réalisées dans les murs ne recevant le chemisage que sur une seule face (Fig. 20). Si on ne souhaite pas avoir recours au béton projeté, on peut placer des armatures en barres ou profilés en acier dans les rainures, scellées au mortier époxy.

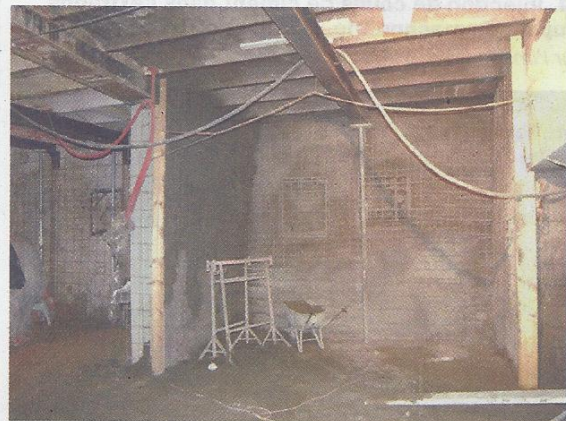
Le confinement des panneaux en maçonnerie, de préférence à l'aide de chaînages horizontaux et verticaux, est requis pour tous les murs qui en sont dépourvus. De même que pour la construction neuve, il est impératif d'assurer la continuité mécanique des armatures, notamment dans les angles.

Quant aux chaînages, dans le cas des murs anciens épais, leur réalisation sur toute leur largeur est difficilement envisageable. On peut donc mettre en place, côté intérieur, des chaînages en béton armé d'une largeur de 15 à 20 cm (Fig. 21) ou des chaînages extérieurs, en béton armé ou en acier (Fig. 22).

Figure 20. Chemisage d'un mur en maçonnerie.



a) Principe



b) Mise en place

Figure 21. Ajout d'un chaînage horizontal en béton armé, cas d'un mur épais.

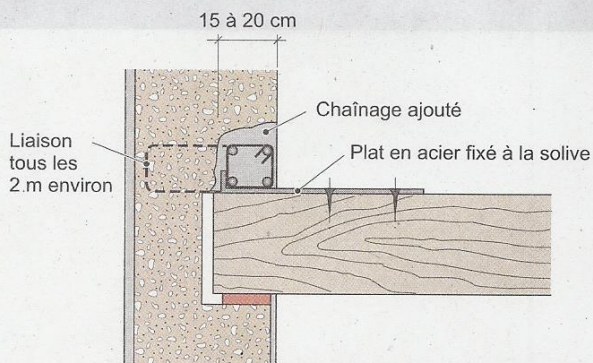
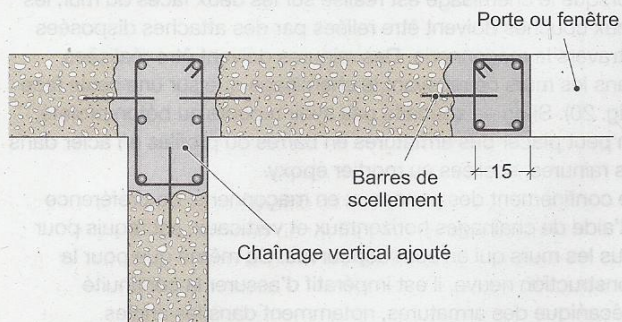


Figure 22. Ajout d'un chaînage horizontal en acier (Photo : S. Gnjatic).



Dans un mur en blocs de béton de 15 cm ou 20 cm d'épaisseur brute, les chaînages devraient régner sur toute l'épaisseur du mur (Fig. 23).

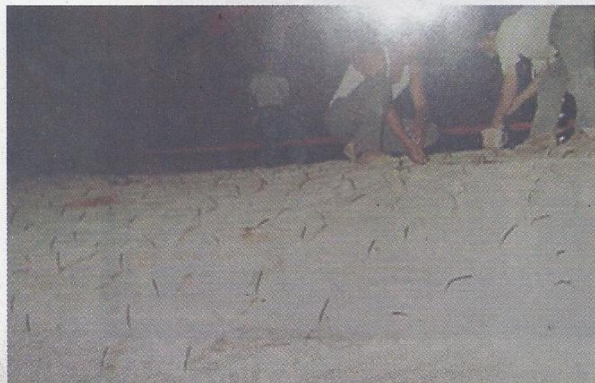
Figure 23. Ajout de chaînages verticaux.



6.2.2 - Renforcement des voûtes et coupoles en maçonnerie

La courbure des voûtes et coupoles peut leur conférer une résistance de forme significative à condition qu'elles possèdent une bonne rigidité. Celle-ci peut être obtenue par injection de coulis de ciment, qui représente la technique de renforcement la plus courante dans ce type d'ouvrage (Fig. 24).

Figure 24. Injection de coulis de ciment dans l'extrados d'une coupole en maçonnerie. Les tubes d'injection sont visibles sur l'image (Photo : M. Zacek).



6.2.3 - Cloisons de distribution

Les cloisons d'appartement ou de maison ne nécessitent pas, en principe, d'être renforcées car leurs longueur et hauteur sont limitées et les angles saillants et rentrants des cloisons sont considérés comme raidisseurs. Par contre, les cloisons divisant des locaux de grandes dimensions horizontales et verticales, comme salles de classe, salles de sport ou cloisons dans des locaux industriels, sont vulnérables aux secousses sismiques. On peut les renforcer par incorporation de raidisseurs en béton armé, bois ou acier, ou encore par collage d'un tissu synthétique sur leurs deux faces. La figure 25 montre une telle solution. Dans ce cas, la cloison est raidie également par des feuillards en acier placés des deux côtés et reliés à travers la maçonnerie.

Figure 25. Renforcement d'une cloison de grandes dimensions (Photo : M. Zacek).



6.2.4 - Souches de cheminée

L'effondrement des souches de cheminée élancées lors des tremblements de terre est fréquent. Le séisme d'Épagny, près d'Annecy en 1996, de magnitude 5,2, a entraîné la chute de plus de 600 cheminées. Selon les Règles PS-MI 89/92, toutes les souches implantées à une distance de 1 m ou plus du faîtage et celles qui le dépassent de plus de 50 cm doivent être stabilisées.

Plusieurs solutions sont possibles :

- Corseter les souches avec des cornières disposées dans les angles et reliées à distances régulières par des feuillards (Fig. 26).
- Armer les souches réalisées en boisceaux par des barres placées dans les angles.
- Haubaner les souches (Fig. 27).

Figure 26. Corsetage de souches de cheminée élancées.

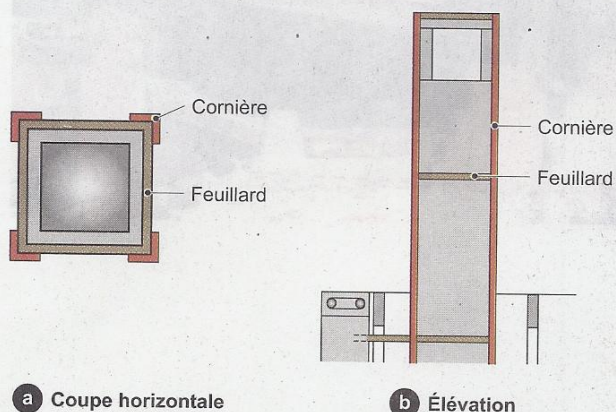


Figure 27. Haubanage de souches de cheminée (Photo : M. Zacek).



7 - RENFORCEMENT DES CONSTRUCTIONS EN BÉTON ARMÉ

7.1 - Pathologie sismique des constructions en béton armé

Selon le type d'ouvrage, la vulnérabilité aux séismes d'une structure en béton armé est très différente. Les murs en béton coulé en place (voiles) présentent en général un excellent comportement. La figure 28 montre des dommages aux voiles en béton facilement réparables, occasionnés par le séisme de Kobé (Japon 1995) qui a fait 6 300 morts. L'immeuble est situé dans la zone la plus touchée par le tremblement de terre. L'effondrement de voiles sous l'effet de l'action sismique est rarissime. Même largement fissurés, ils préviennent l'effondrement des planchers sur les occupants.

A contrario, les ossatures en poteaux et poutres réalisées sans appliquer les dispositions constructives parasismiques sont très vulnérables aux tremblements de terre. Lors des séismes forts, elles subissent très souvent des dommages graves.

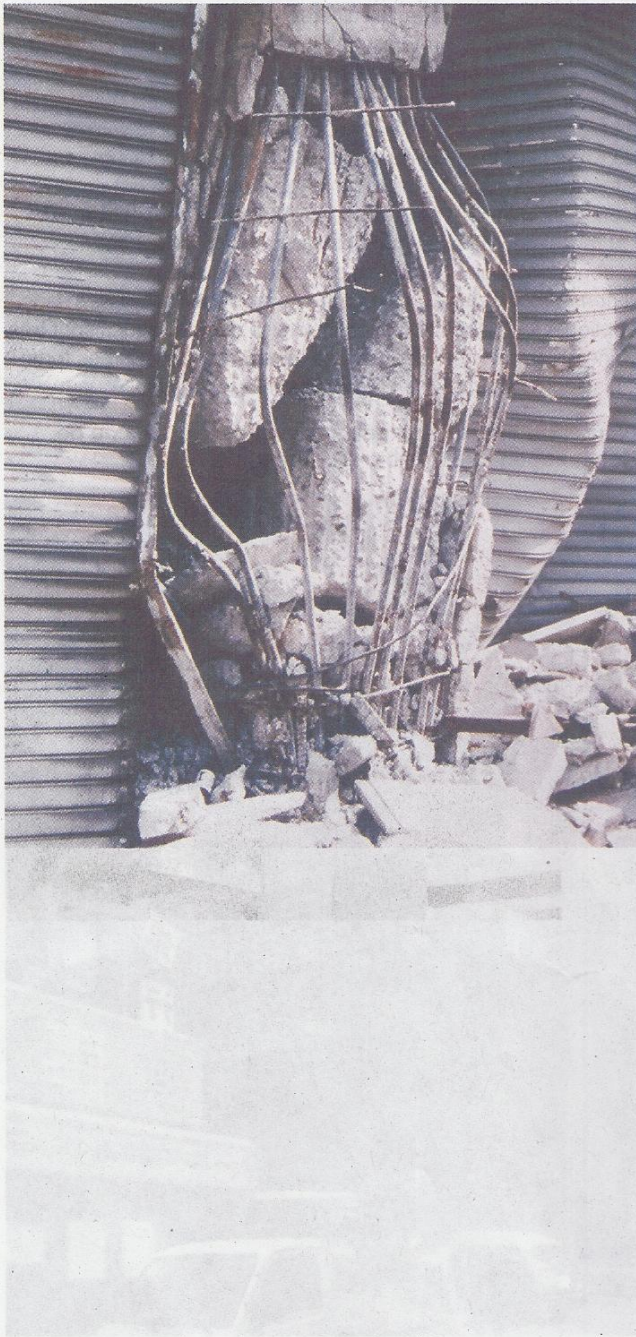
Figure 28. Fissuration des murs en béton, séisme de Kobé, Japon 1995 (Photo : R. Miyamoto).



PARASISMIQUE : MISE EN SÉCURITÉ DES BÂTIMENTS EXISTANTS

Les poteaux, poutres et nœuds des ossatures éclatent en raison d'un confinement insuffisant du béton, ce qui a pour conséquence le flambement des barres d'armature (Fig. 29) et, dans de nombreux cas, un effondrement consécutif. Si une ossature en béton armé insuffisamment confinée doit résister aux séismes forts, son renforcement est impératif.

Figure 29. Éclatement d'un poteau insuffisamment confiné, séisme de Kobé, Japon 1995 (Photo : B. Weliachew).



Lorsque l'ossature comporte des panneaux de remplissage en maçonnerie, traditionnellement non fixés en partie haute faute de pouvoir introduire correctement du mortier sous la poutre, on observe souvent leur éclatement même lors des séismes ayant une magnitude moyenne, de l'ordre de 5, ce qui peut avoir pour conséquence l'instabilité de la construction (Fig. 30).

Figure 30. Éclatement des panneaux de remplissage en maçonnerie suivi de l'effondrement de l'immeuble, séisme Ceyhan-Misis, Turquie 1998 (Photo : P. Balandier).

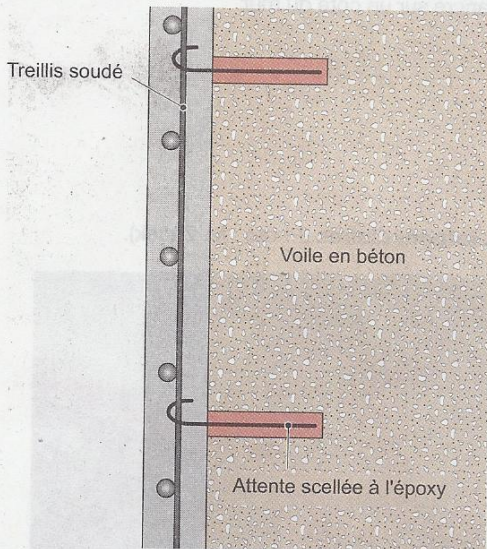


7.2 - Exemples de renforcement des constructions en béton armé

7.2.1 - Renforcement des voiles

Les voiles non dimensionnés pour résister aux charges sismiques devraient être renforcés. De même que les murs en maçonnerie, les voiles peuvent être chemisés par béton projeté ou coulé en place (Fig. 31).

Figure 31. Chemisage d'un voile en béton armé.



La surface du béton doit être sablée et l'armature du chemisage fixée sur des attaches préalablement scellées dans le voile.

Une autre possibilité de renforcement consiste à coller des bandes en tissus de fibres de carbone ou des plats en acier placés sur les diagonales du mur, à la manière des croix de Saint-André. Ces solutions conviennent pour les murs en bon état de conservation.

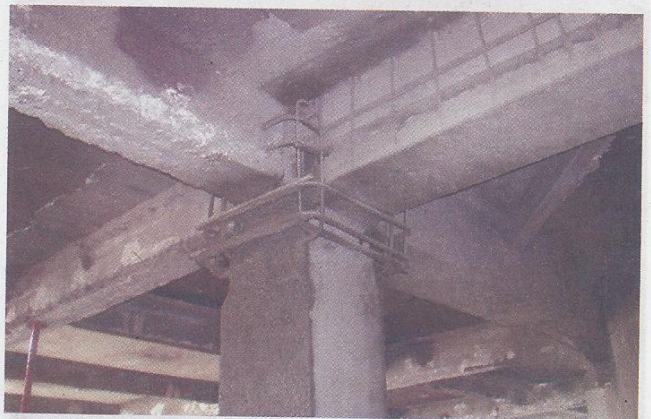
7.2.2 - Renforcement des éléments d'ossature

Le béton projeté peut être employé également pour le renforcement des poteaux, poutres et nœuds (Fig. 32 et Fig. 33). L'avantage de la projection est de pouvoir appliquer le béton sur les zones dont la géométrie n'est pas simple. Dans ces cas, l'utilisation du tissu de fibres de carbone (TFC) collé convient également.

Figure 32. Mise en place de l'armature de poutres avant projection de béton (Photo : M. Zacek).



Figure 33. Poteau renforcé par projection de béton, nœud en attente de projection (Photo : M. Zacek).



PARASISMIQUE : MISE EN SÉCURITÉ DES BÂTIMENTS EXISTANTS

Les éléments prismatiques à géométrie simple peuvent être renforcés par corsetage ou à l'aide de plaques d'acier collées (Fig. 34).

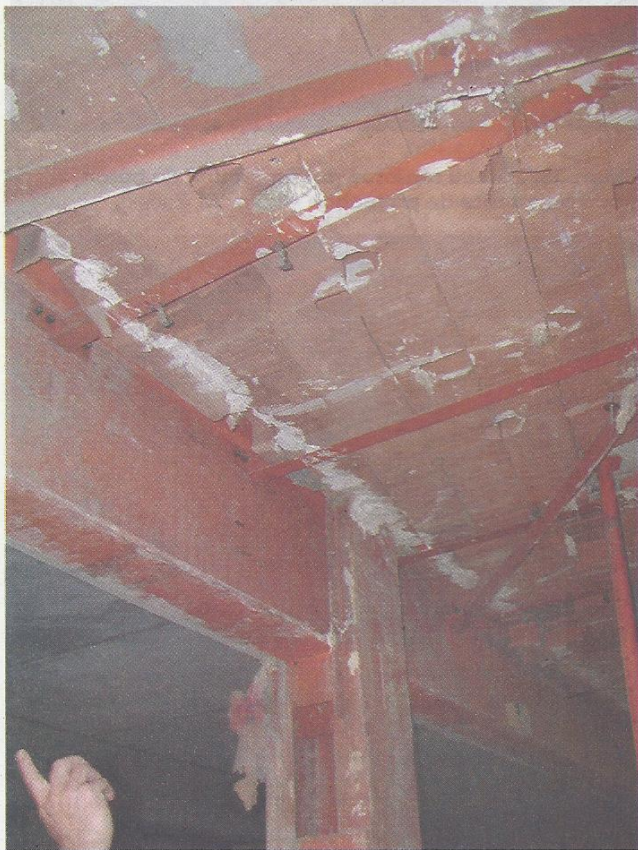
Le corsetage est généralement constitué de cornières auxquelles sont soudées des bandes d'acier horizontales discontinues. Les cornières peuvent être collées au béton par l'intermédiaire d'un liant époxydique ou y être plaquées, sans aucun espace. Les bandes peuvent être soumises à un traitement thermique préalable au soudage, afin d'assurer par la suite un certain confinement positif du poteau.

Pour les poteaux prismatiques, on utilise également le chemisage en acier, constitué de quatre cornières auxquelles sont soudées des plaques en acier continues. Les poteaux cylindriques peuvent recevoir un chemisage tubulaire, qui procure un excellent confinement du béton et améliore considérablement leur ductilité.

7.2.3 - Prévention de l'éclatement des panneaux de remplissage en maçonnerie

Compte tenu de l'éclatement fréquent des panneaux montés de manière traditionnelle, sans liaison avec l'ossature en partie supérieure, il est préférable de les remplacer par des cloisons et éléments de façade légers. Si les panneaux de remplissage doivent être conservés, il est nécessaire de les solidariser efficacement avec les poutres ou dalles en partie haute. On peut utiliser un bourrage au mortier sans retrait des joints entre les panneaux et les poutres ou un enduit hydraulique appliqué sur un treillis soudé ancré sur un côté du mur.

Figure 34. Poutres renforcées par plaques en acier collées, ajout de poteaux intermédiaires (Photo : M. Zacek).



a) Plaques sur trois faces de la poutre



b) Plaque collée en sous-face de la poutre

7.2.4 - Renforcement des dalles en béton armé

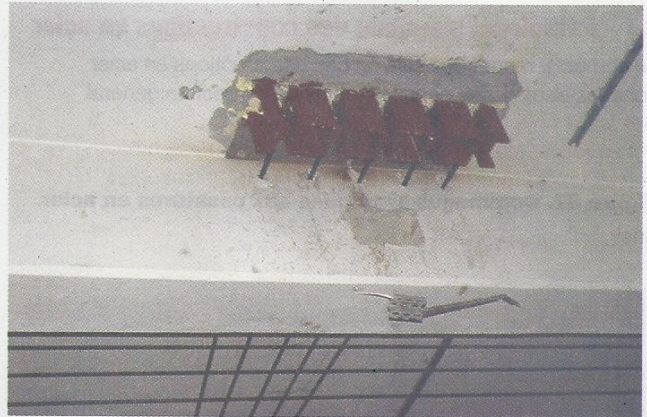
À l'instar des portiques, les dalles peuvent être renforcées à l'aide de béton projeté préalablement armé, ainsi que par collage de bandes d'acier ou de TFC en sous-face. La figure 35 montre

un renforcement par précontrainte. Les câbles précontraints, placés sous la dalle, doivent être ancrés de manière à transférer les efforts dans le plan neutre de la dalle (Fig. 35b).

Figure 35. Renforcement par précontrainte (Photo : M. Zacek).



a) Câbles de précontrainte sous dalle



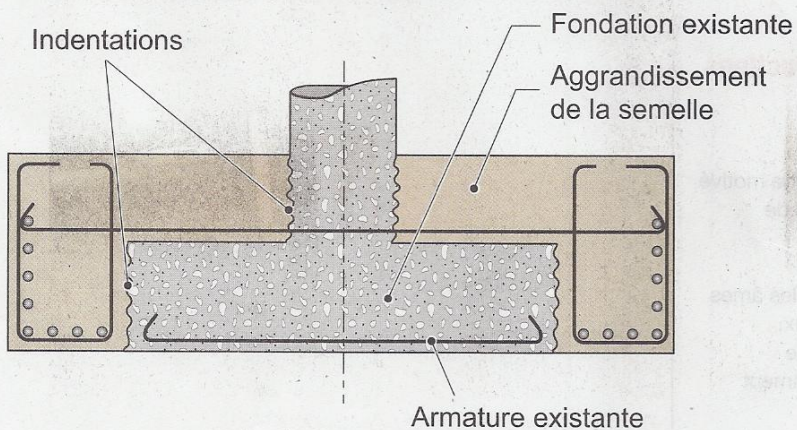
b) Ancrage des câbles

7.2.5 - Renforcement des fondations

La prise en compte de l'action sismique dans le redimensionnement de la structure peut nécessiter le renforcement des semelles de fondation. Il s'agit d'une intervention « lourde ».

La figure 36 montre un exemple de renforcement.

Figure 36. Renforcement d'une semelle de fondations (d'après [5]).



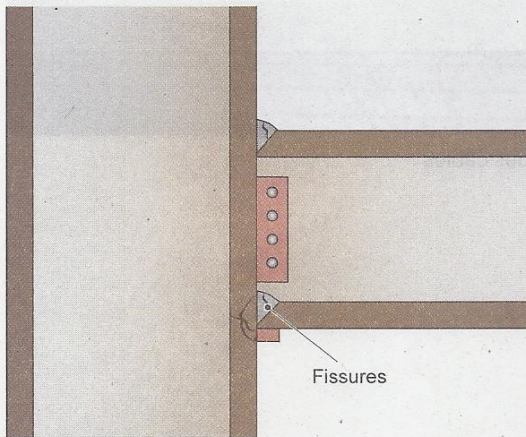
8 - RENFORCEMENT DES CONSTRUCTIONS EN ACIER

8.1 - Pathologie sismique des constructions en acier

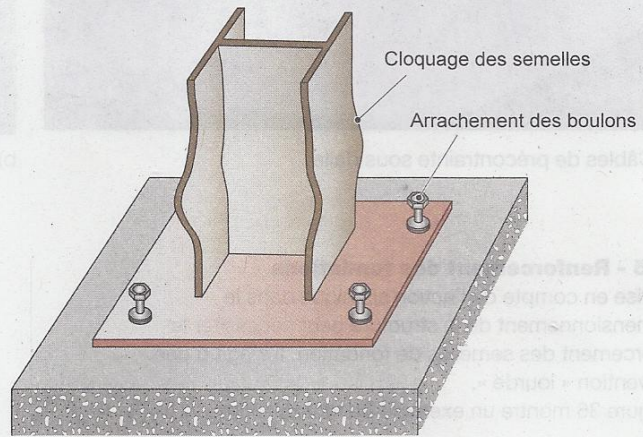
Le comportement sous séisme des constructions en acier conçues et réalisées dans les règles de l'art est en général

satisfaisant. Toutefois, lors des tremblements de terre forts, certains dommages structuraux sont typiques : rupture de soudures dans les assemblages poteau-poutre, arrachement de boulons d'ancrage des poteaux et instabilité de forme sous compression des éléments élancés (flambement et cloquage des poteaux, déversement ou voilement des poutres, flambement des barres de contreventement, etc.). (Fig. 37). Cependant, il est rare que ces dommages entraînent l'effondrement de la construction.

Figure 37. Dommages sismiques aux ossatures en acier.



a) Rupture de soudures



b) Cloquage de poteaux, arrachement de boulons

8.2 - Exemples de renforcement des constructions en acier

8.2.1 - Renforcement des poteaux et poutres

Le renforcement d'éléments d'ossature en acier peut être motivé par l'insuffisance de stabilité de forme ou l'insuffisance de résistance pure. Deux solutions sont pratiquées :

- enrobage de béton armé ;
- soudage de plats en acier sur les semelles et/ou sur les âmes des profilés, ou encore sur les parois des profils creux.

Ces renforcements améliorent également la capacité de l'ossature à accepter des déformations ductiles, notamment l'enrobage de béton armé.

Contreventement de l'ossature

En transformant le système de portiques en une ossature contreventée, la résistance aux charges sismiques horizontales est assurée principalement par les palées de stabilité et un renforcement des assemblages poteau-poutre peut ne pas être nécessaire.

L'Eurocode 8-3 recommande d'utiliser de préférence des palées de stabilité à barres excentrées (Fig. 42) plutôt qu'une triangulation classique, à barres centrées. Les tronçons d'excentrement permettent, lors des séismes forts, une dissipation d'énergie significative, ce qui réduit les charges sismiques.

Figure 42. Palée de stabilité à barres excentrées
(Photo : M. Zacek).



Afin d'améliorer la stabilité hors plan de l'assemblage du contreventement, la continuité des poutres et des poteaux ne devrait pas être interrompue. Il convient d'utiliser de préférence des assemblages rigides plutôt que des assemblages considérés comme articulés et d'éviter les assemblages soudés d'un tronçon d'excentrement sur un poteau dans son plan de faible inertie.

Une autre façon de contreventer une ossature consiste à utiliser des murs en acier, en béton ou mixtes. Les panneaux en acier doivent être soudés en atelier et boulonnés *in situ*. Un acier à faible limite d'élasticité peut être utilisé.

CONCLUSION

La présente étude résume, sans les traiter d'une manière approfondie, les étapes de la mise à niveau parasismique des bâtiments existants et montre des exemples commentés de techniques de renforcement.

La mise à niveau parasismique est plus complexe que la conception parasismique d'un bâtiment à construire et devrait donc être menée par des spécialistes. Elle peut donner lieu à des écueils.

Afin de les éviter, on devrait notamment veiller à :

- Ne pas aggraver le comportement d'ensemble en ne renforçant que certains éléments : un renforcement local peut déplacer le « problème » sur les éléments voisins non renforcés.
- Ne pas créer une grande différence de rigidité horizontale entre un niveau renforcé et le reste du bâtiment : l'interface entre un niveau renforcé et un niveau non renforcé constitue une zone particulièrement fragile.
- Répartir la rigidité symétriquement par rapport au centre de gravité de chaque niveau, afin de limiter la torsion d'ensemble : en effet, un renforcement localisé entraîne en général un déplacement du centre de rigidité.
- Ne pas créer une structure hybride couplant des éléments ayant un comportement dynamique très différent.
- Éviter le mode de ruine par cisaillement pour les poteaux et les poutres (ce qui est le cas des poteaux courts ou bridés, des poutres-allèges, des poutres assurant un transfert de charges, etc.), car il n'autorise pas de grandes déformations avant rupture.

- Sécheresse
- Divers
- Les phénomènes souterrains
- Sols



MECANIQUE DES ROCHES ET DES SOLS

1. DEFINITIONS

1.1 Mouvement et déformation des roches et des sols

Géotechnie:

Roches = pierre: matière compacte et de grande dimension

Sol: mélange de fragments de roches de petite dimension définitions et mesures des paramètres caractéristiques; applications au génie civile.

Un champ de forces peut produire 2 types de transformations sur un volume de roche :

* un déplacement global du volume par translation et rotation rigide ;

* un changement des positions relatives des particules constituant le volume: cette dernière transformation correspond à la déformation au sens strict. La déformation traduit les changements de forme subis par la

roche. Elle est ductile ou fragile (rupture). Selon le champ de forces, il se produit une compression, une extension ou un cisaillement.

La déformation est indépendante de l'amplitude du déplacement.

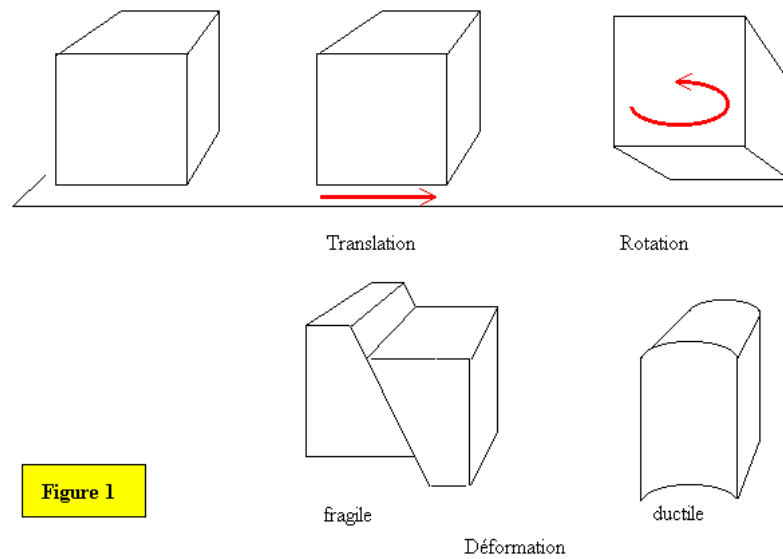


Figure 1: Déplacement et déformation

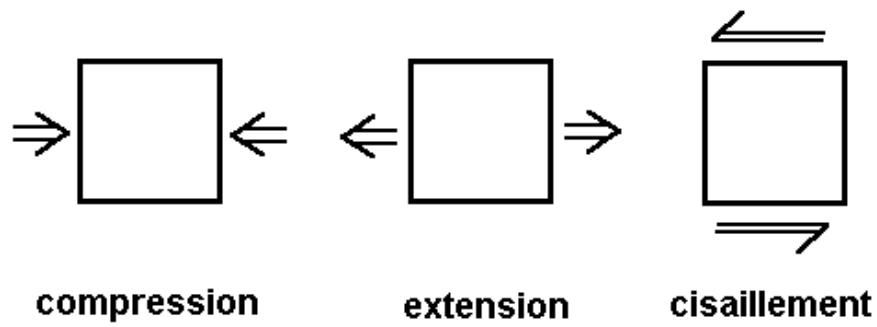


Figure 2: type de déformation en fonction des forces appliquées

1.2 Etat de contrainte

Un volume de roche ou de sol qui subit l'action de forces est soumis à un certain état de contrainte. Une surface isolée dans ce volume reçoit l'action d'une force, donc une pression, caractérisée par sa direction, son sens et son intensité.

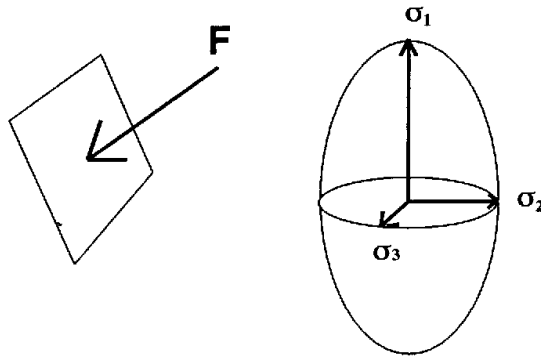


Figure 3: ellipsoïde des contraintes ou bulbe de pression

1.3. Propriétés rhéologiques des corps

La rhéologie est l'étude du comportement mécanique des corps. On étudie expérimentalement la réaction d'un corps à l'action d'un champ de contrainte en lui appliquant une force de valeur croissante et en mesurant la déformation totale produite. Pour ce type d'essai, on utilise des cylindres de roches (ou des matériaux) soumis à l'action d'une presse hydraulique.

La déformation du corps est mesurée par son élongation e :

$$L_0 = \text{Longueur initiale} \quad L_1 = \text{Longueur finale} \quad e = (L_1 - L_0) / L_0$$

En fonction des résultats obtenus, on distingue 3 modèles rhéologiques fondamentaux.

Les corps élastiques La déformation est réversible et proportionnelle à l'intensité de la contrainte. Le temps n'intervient pas dans la déformation. Le modèle pratique est donné par un ressort à spires parfaitement élastique et sans masse.

Les corps plastiques. La déformation ne se produit qu'à partir d'un certain seuil de contrainte. Lorsque ce seuil est atteint, la déformation se produit sans qu'il soit possible d'augmenter la valeur de la contrainte. La déformation conserve la valeur atteinte lorsque la contrainte cesse. Le modèle rhéologique est un patin frottant sur une surface horizontale; si on tire sur le patin, il se déplace lorsque la force de traction atteint un certain seuil.

Les corps visqueux La valeur de la déformation dépend de la durée d'application de la contrainte. Pour une contrainte donnée non nulle, la déformation se fait à vitesse constante. Après suppression de la contrainte, le système conserve son état final. Le modèle est réalisé par un piston perforé se déplaçant dans un liquide parfait: si on tire sur ce piston, il se déplace quelque soit la contrainte.

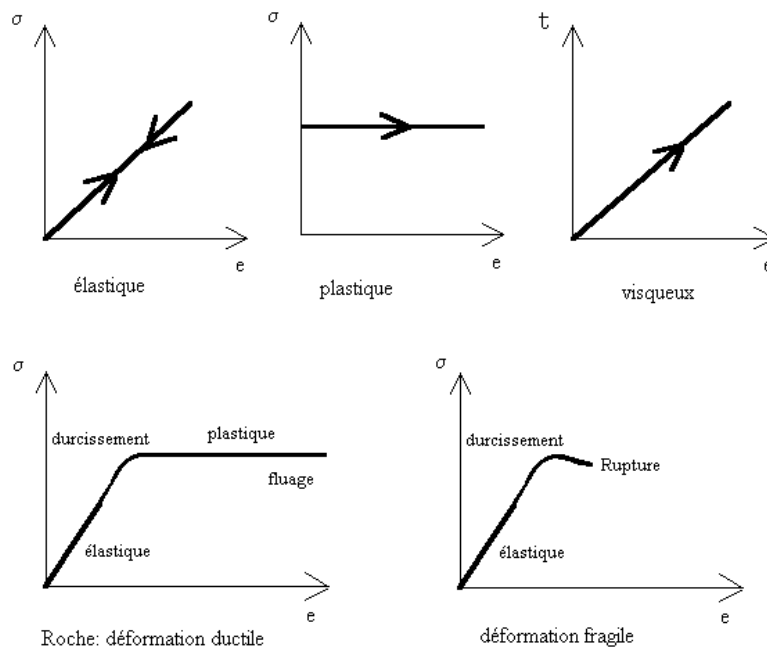


Figure 3

Figure 4: comportement rhéologique des corps

* Comportement des corps réels

Les corps réels ne sont jamais parfaitement élastiques, plastiques ou visqueux. De plus, leur comportement peut changer au cours de la déformation. Dans le cas général, il combinent les propriétés des 3 types fondamentaux. C'est le cas des roches qui sont élastiques pour une contrainte faible et deviennent plastiques lorsque la contrainte devient plus forte. Le passage du comportement élastique au comportement plastique s'appelle le durcissement: la roche subit des modifications irréversibles dans sa structure. La déformation de la roche peut rester ductile mais s'accroître au cours du temps, bien que la valeur de la contrainte reste constante: c'est le fluage. Dans d'autres cas, il apparaît une rupture, la roche devient fragile.

2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES ROCHES

Mesures et essais en place et au laboratoire pour utilisation éventuelle de la roche en construction, empierrage...

2.1 Densité apparente

masse volumique; entre 2 et 2,8. Une bonne pierre de construction devra avoir une densité apparente au moins égale à 2,5.

2.2 Porosité

C'est la mesure du volume des vides. Elle est exprimée par le rapport: volume des vides / volume de la roche. L'échantillon est séché à chaud puis imbibé d'eau sous vide et sous pression d'eau.

2.3 Gélivité

conséquence de la perméabilité et de la capillarité de la roche; dépend de la taille des pores. roche imbibée d'eau soumise à des cycles de refroidissement à -20°C .

2.4 Rupture à la compression et à la traction

Presse hydraulique. Essai triaxial

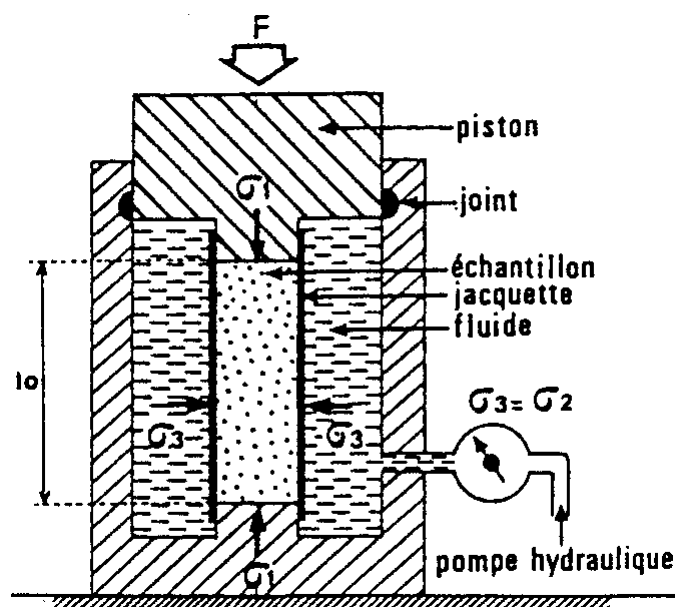


Figure 4b: Presse hydraulique en coupe

a) Compression

La rupture varie selon la valeur de la pression de confinement ($\sigma_2 = \sigma_3$).

- pression de confinement faible: l'éprouvette se casse selon une fente parallèle à la direction de σ_1 .
- pression de confinement fort: la déformation est d'abord ductile, l'éprouvette prend une forme de barillet, puis 2 plans de cassure apparaissent formant un dièdre de 60° environ dont le plan bissecteur contient la direction de σ_1 . Les blocs délimités glissent le long de ces 2 plans qui sont donc des plans de cisaillement. L'angle formé par les deux plans est l'angle de rupture.

Roches	Résistance à la compression (MPa)
GRANITE	100-280
GRES	40-110
CALCAIRE	50-60
QUARTZITE	150-600
MARBRE	100-125

Figure 5: Pression nécessaire pour provoquer la rupture par compression à l'air libre de quelques roches (d'après KELLER, 2000). L'unité est le MPa ($1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$)

b) Traction

La résistance de rupture des roches à la traction est plus faible qu'en compression.

- pression de confinement faible: l'échantillon se casse suivant des plans perpendiculaires à la direction de σ_3 .
- pression de confinement forte : l'échantillon s'allonge par déformation ductile puis se casse selon 2 familles de plans de cisaillement conjugués se coupant selon un angle d'environ 120° et dont le plan bissecteur contient la direction de σ_3 .

c) Cercle de Mohr

Pour des échantillons d'une même roche, on fait varier expérimentalement σ_1 et σ_3 ; on note les valeurs provoquant la rupture et l'angle de rupture correspondant. La représentation graphique dite du Cercle de Mohr situe le domaine de la rupture par rapport aux valeurs des contraintes σ_1, σ_3 et à la contrainte tangentielle τ exercée sur le plan de rupture. Par convention, on prend des valeurs négatives de σ_3 dans le cas de la traction. Le cercle de Mohr permet donc de prévoir la résistance à la rupture d'un matériau, les conditions limites de la rupture et l'angle de rupture correspondant pour des valeurs données de σ_1, σ_3 et τ .

2.6 Résistance à l'usure

Mesure de la résistance à l'attrition

essai Deval roche cassée en fragments à arêtes vives, enfermés dans un cylindre mis en rotation; usures des arêtes des fragments par frottements et chocs modérés. On pèse les fragments arrondis à la fin de l'essai. La perte de masse est proportionnelle à la fragilité de la roche.

essai Los Angeles même principe, mais on ajoute des boulets d'acier de 47 mm de diamètre; on tamise à la fin de

l'essai. La taille du cylindre, le nombre de boulets, le nombre de tours/minute et la durée de l'essai sont normalisés.

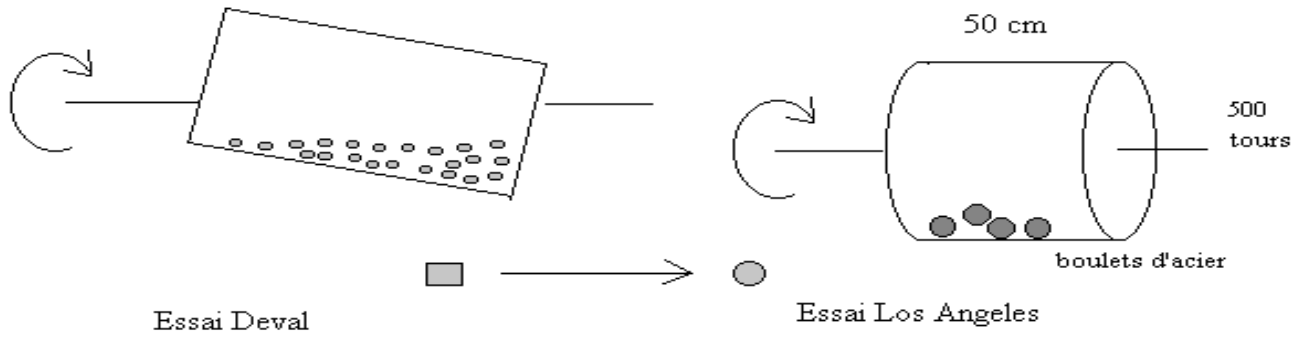
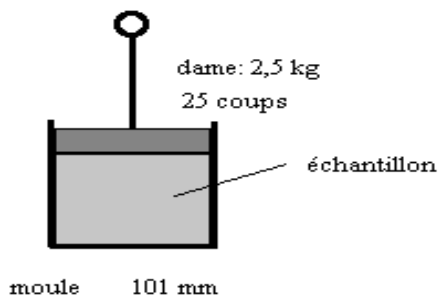
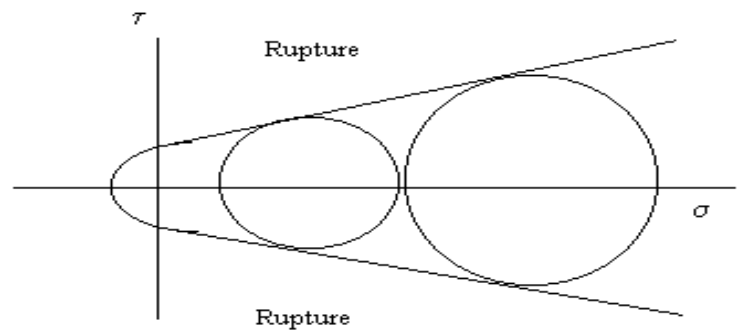


Figure 6



Essai Proctor

Figure 7



Courbe intrinsèque

Figure 8



3. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES SOLS

Pour prévoir notamment les réactions du sol à une surcharge, à l'imbibition, au gel...

3.1 Granulométrie Elle se fait par tamisage au travers d'une colonne de tamis normalisée. On distingue plusieurs classes granulométriques: cailloux, graviers, sables grossiers, sables fins, limons, argiles.

3.2 Densité apparente Un sol est constitué de grains solides baignant dans de l'eau et/ou de l'air. La masse volumique apparente, ou densité, est la masse d'un volume unité de sol (grains+eau+air). La masse volumique sèche ne comprend que les grains.

3.3 Porosité et perméabilité

- Porosité: rapport du volume des vides au volume total. L'indice des vides est le rapport du volume des vides au volume des grains solides.
- Perméabilité: circulation de l'eau libre autour des grains (l'eau pelliculaire autour des grains est immobile). On détermine un coefficient de perméabilité k qui varie selon la granulométrie du sol:
 - gravier: 10 cm/s (valeur moyenne)
 - sable: 10^{-2} cm/s
 - argile: 10^{-9} m/s

Le coefficient de perméabilité est mesuré en laboratoire (expérience de DARCY) ou sur le terrain par des tests d'infiltration.

Capillarité: remontée de l'eau dans un sol non saturé; la hauteur est fonction inverse du diamètre des pores (loi de JURIN). Le drainage permet d'évacuer l'eau d'infiltration et de remontée capillaire.

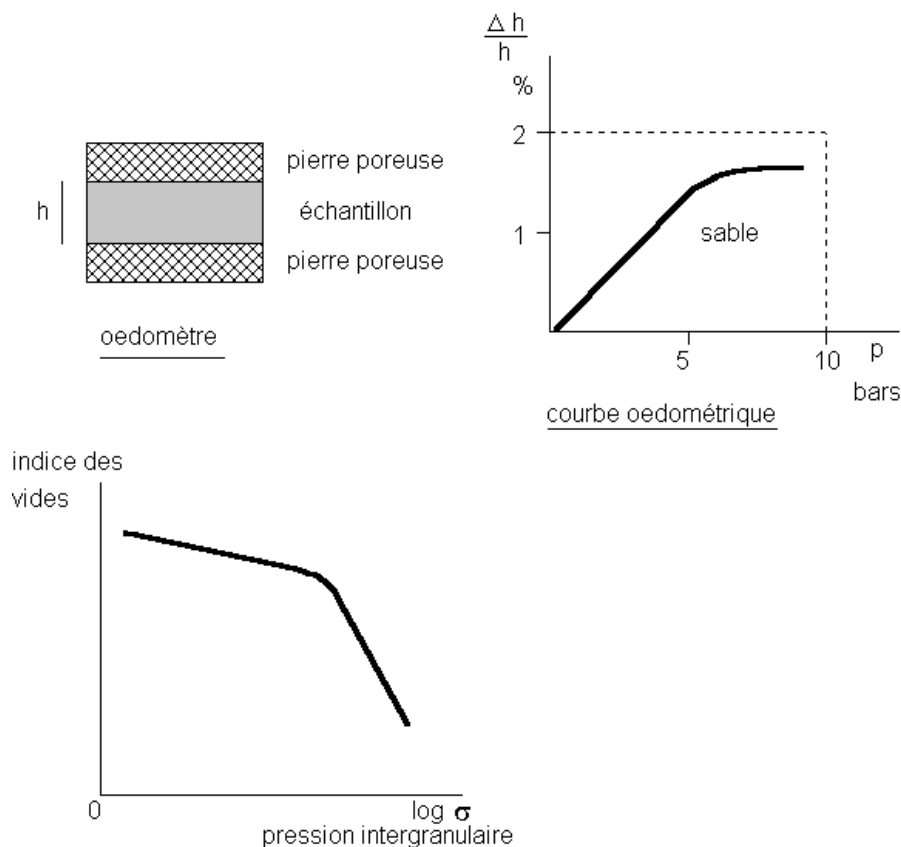


Figure 9: Action de la pression sur la porosité d'un sol.

3.4 Teneur en eau et degré de saturation

Degré de saturation S_r : rapport du volume occupé par l'eau au volume total des vides.

$S_r = 0$: terrain sec

$S_r = 1$: terrain saturé en eau

La présence d'eau augmente la cohésion du sol par les forces de tension superficielle qu'elle développe (un exemple familier: les châteaux de sable sont construits avec du sable humide). En revanche, la résistance à la charge des sables fins peut diminuer instantanément sous l'action d'un choc (phénomène de liquéfaction des « sables mouvants »).

sol	porosité %	indices des vides(volume des vides/vol.grains)	teneur en eau %	densité sèche	densité humide
sable homogène	46 - 34	0.85 - 0.51	32 - 19	1.43 - 1.75	1.89 - 2.09
sable hétérogène	40 - 30	0.67 - 0.43	25 - 16	1.59 - 1.86	2.16 - 1.77
argile	55 - 37	1.2 - 0.6	45 - 22		1.77 - 2.07

Figure 10: Caractéristiques de quelques sols en place (d'après Terzaghi et Peck).

3.5 Compactage Essai Proctor (figure 7)

L'échantillon est mélangé à une quantité d'eau puis placé dans un moule cylindrique de 101 mm de diamètre. Il est compacté par la chute d'une dame de 2,5 kg selon des conditions normalisées. A la fin de l'essai on le dessèche et on mesure sa densité pour évaluer le taux de compaction. On recommence l'expérience avec des quantités d'eau différentes pour connaître finalement le mélange subissant la plus forte compaction.

3.6 Liquidité, plasticité Limites d'Atterberg

Limite de liquidité: le sol est mélangé à une quantité d'eau. La pâte obtenue est placée dans une coupelle de 100 mm de diamètre environ. On trace sur la pâte lissée une rainure normalisée avec un outil spécial. A l'aide d'une came, on fait subir une série de chocs à la coupelle. On observe en fin d'expérience le contact des deux lèvres de la rainure. La limite de liquidité est la teneur en eau en % qui correspond à une fermeture en 25 chocs.

Limite de plasticité: on mélange l'échantillon avec des quantité variable d'eau; on façonne avec la pâte un rouleau de 3 mm de diamètre pour une centaine de mm de longueur. La limite de plasticité est la teneur en eau en % du rouleau qui se fissure et se brise lorsqu'il atteint un diamètre de 3 mm.

L'indice de plasticité est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité.

3.7 Résistance à la compression et au cisaillement

Comme pour les roches, on peut représenter l'action de deux contraintes par le cercle de Mohr. La courbe intrinsèque d'un matériau est l'enveloppe des cercles de Mohr correspondant à l'état de rupture pour des valeurs de contraintes variables. A l'intérieur de la courbe, le sol est stable; à l'extérieur, le sol est à l'état de rupture.

un sol saturé d'eau est soumis à une pression; il se tasse en perdant de l'eau jusqu'à atteindre un état d'équilibre. On mesure la déformation; on construit une courbe de tassement en faisant varier la pression appliquée. L'indice de compression est défini comme le rapport de l'indice des vides au logarithme de la variation de pression. A titre de comparaison:

indice de compression des sables: 0,01 à 0,10

des argiles (smectites): 0,8 à 2,5

résistance au cisaillement

le sol est soumis à une force tangentielle à sa surface.

Boîte de cisaillement

taille 6x6 cm ou 10x10 cm

échantillon cylindrique ou parallélépipédique

cisaillement à vitesse déterminée

diagramme σ pour déterminer l'angle de frottement ϕ

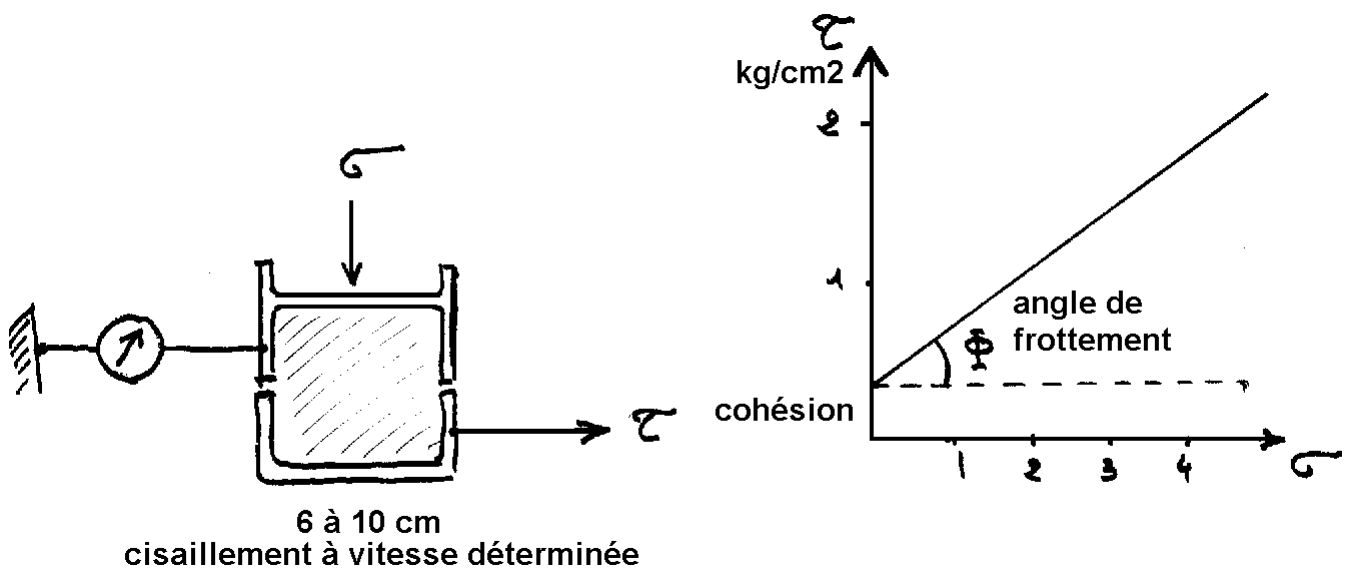
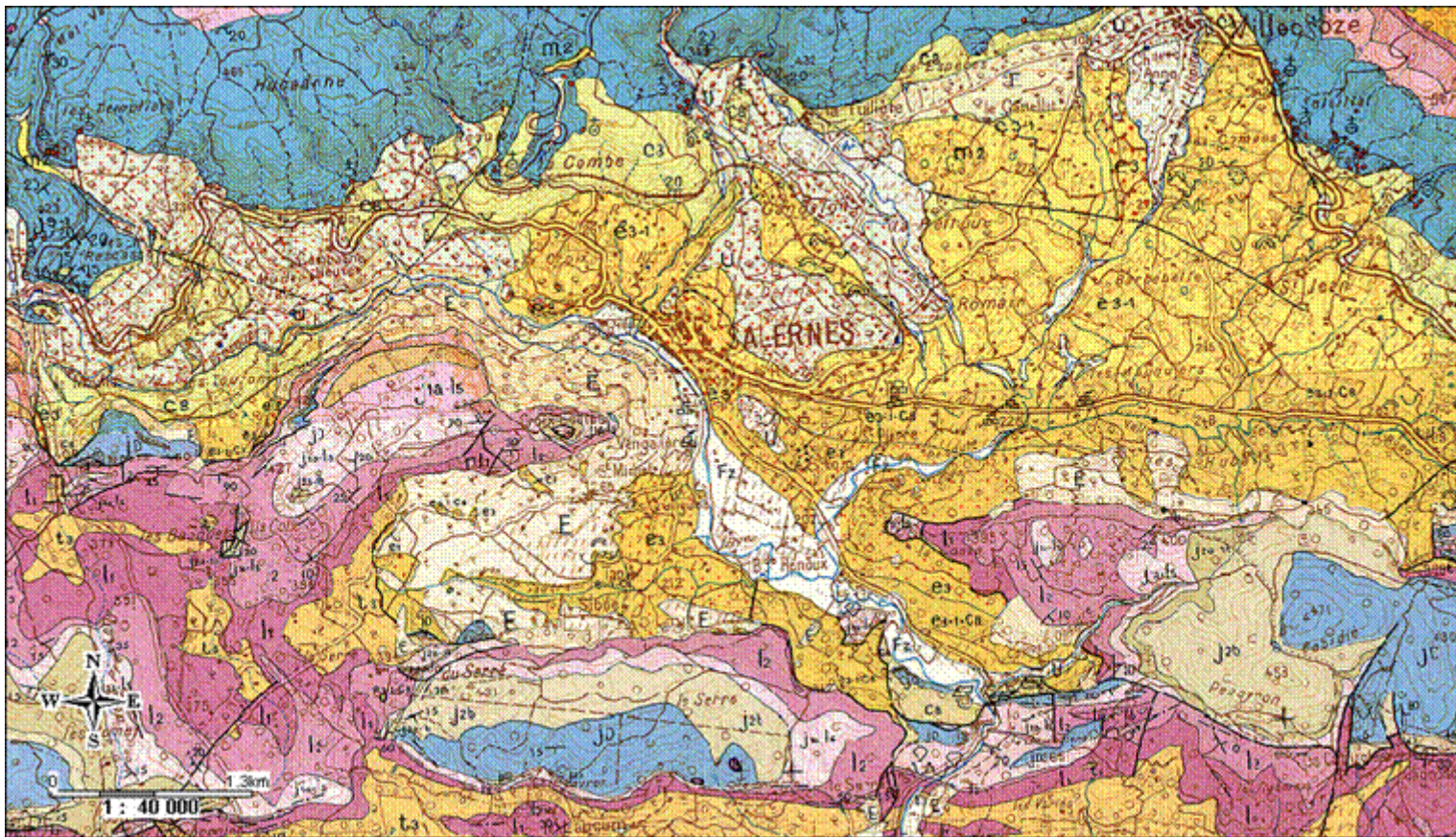


Figure 11: Boîte de cisaillement de Casagrande et expression des résultats

3.8 Gélivité

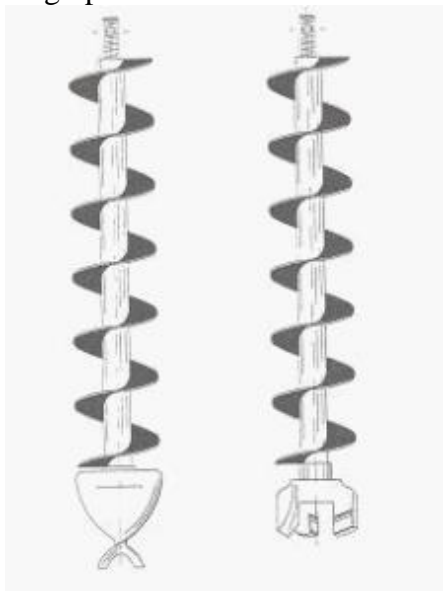
Le sol gelé gonfle en raison d'un afflux d'eau liquide de la profondeur vers la surface. La profondeur du gel croît en fonction du carré de la température négative et de la durée du gel. Les sols les plus gélifs sont constitués par les sables limoneux et les limons.

4. METHODES DE RECONNAISSANCE ET D'ETUDE DE TERRAIN



4.1 Forage

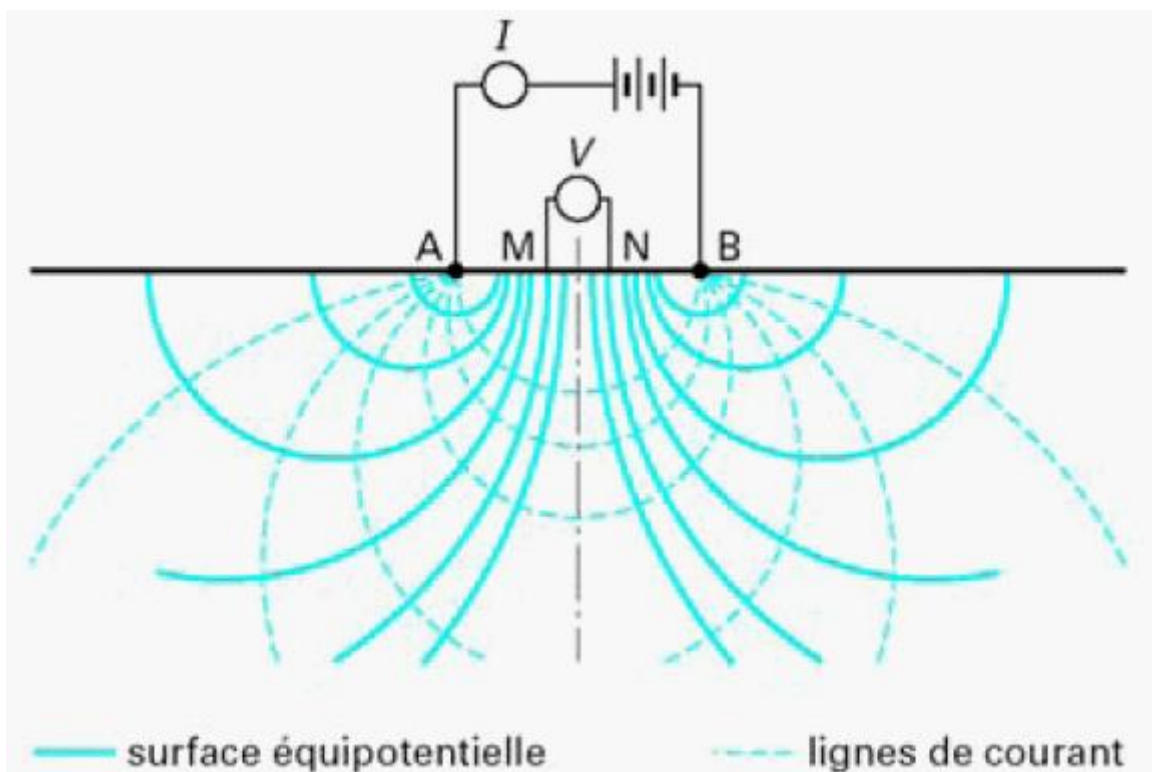
En terrain meuble, la foration se fait à la pelle hydraulique (jusqu'à 8m de profondeur) ou à la tarière à main ou mécanique portée sur camion (jusqu'à 50 m de profondeur). Elle se fait par forage rotary et par marteau fond de trou pour avancer dans les matériaux résistants; le carottier permet de prélever des échantillons. Des outils spéciaux descendus dans le trou de foration fournissent des mesures in situ (résistivité, perméabilité...) constituant les diagaphies.

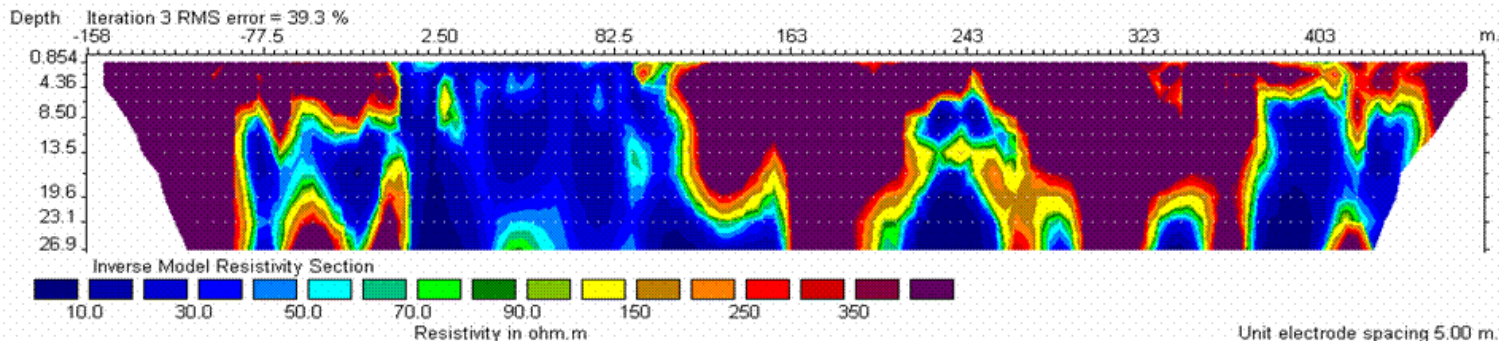




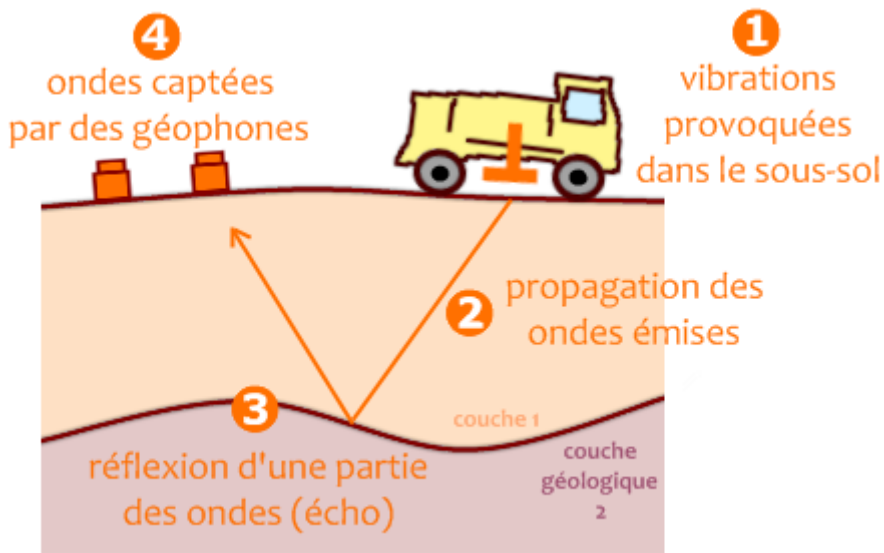
4.2 Sondage électrique

La mesure de la résistivité donne des indications sur la porosité et la teneur en eau des roches: les sables et graviers sont facilement identifiés. Un courant continu ou de basse fréquence d'intensité i est envoyé à 2 électrodes A et B fichées dans le sol. La différence de potentiel dV est mesurée entre 2 électrodes intermédiaires M et N

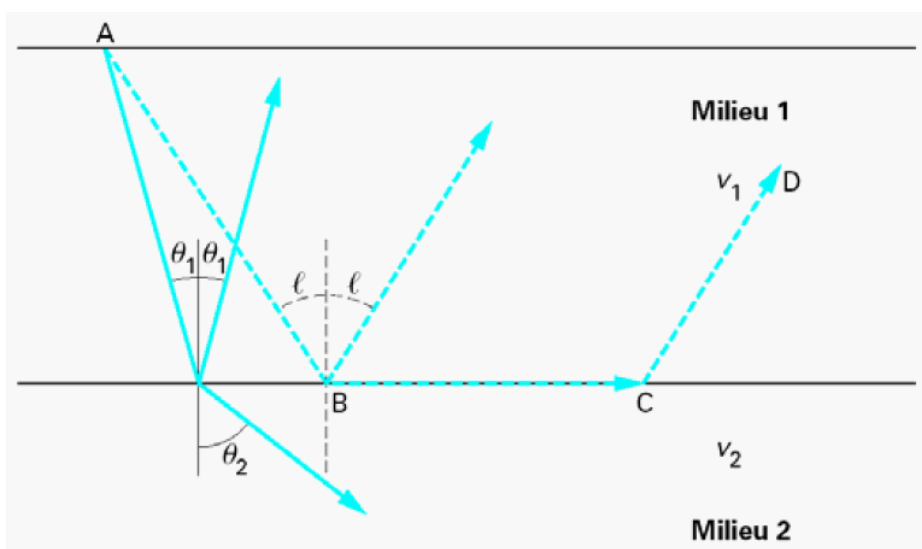




4.3 Sismique réfraction



La sismique réfraction situe l'emplacement du substratum rocheux sous des matériaux meubles et son degré de fissuration. Elle mesure le temps de propagation des ondes sonores envoyées par une source (choc d'un marteau sur une plaque, explosion). et reçues par des récepteurs (géophones). Une série de mesures est faite en augmentant la distance entre source et récepteurs. Le traitement du signal permet de calculer l'épaisseur des terrains traversés et les vitesses v de propagation des ondes.



Quelques valeurs de v :

- terre végétale: < 1000 m/s
- argile: 1000-2000
- granite: 1000-3700

Ces valeurs aident à déterminer le mode d'exploitation ou de terrassement (roche "rippable" ou non). Pour des valeurs supérieures à 2000 m/s l'explosif est nécessaire.

4.4 Gravimétrie

Elle mesure les variations d'intensité de la pesanteur g . Après de multiples corrections, on peut déterminer la densité des roches sous-jacentes.

4.5 Pénétrométrie

Cette technique permet d'évaluer les propriétés mécaniques d'un terrain meuble pour des fondations. On enfonce un outil en mesurant la force nécessaire à exercer pour la pénétration: on distingue les niveaux compacts des niveaux plus mous, ce qui permet de calculer la capacité portante du sol et les caractéristiques des pieux de fondation à

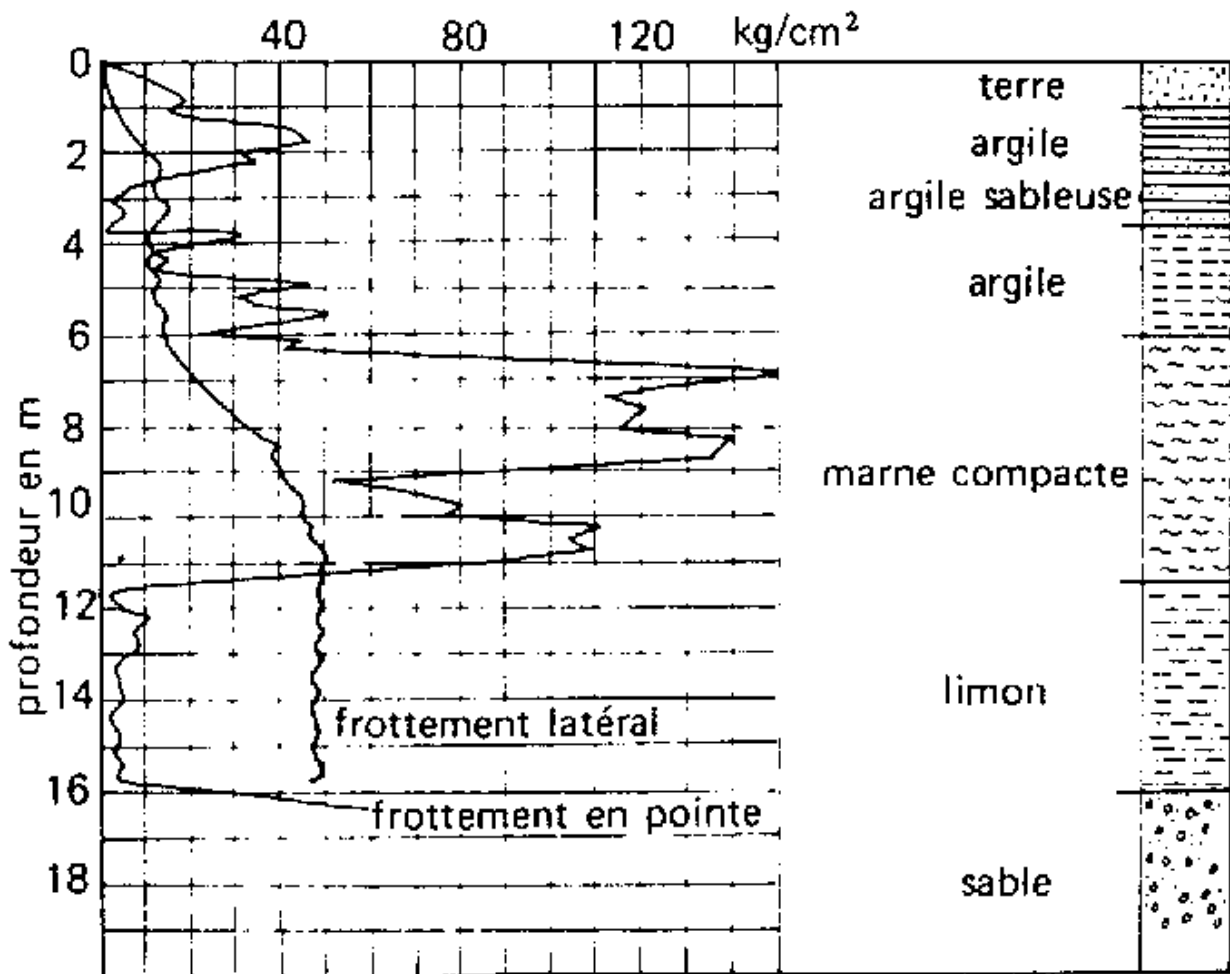


Figure 12: Diagramme d'essai au pénétromètre (d'après DERCOURT et PAQUET)

4.6 Pressiométrie



On introduit l'outil dans un trou de forage et on augmente son volume à l'aide d'air comprimé pour exercer une pression sur les parois du trou; on mesure la déformation résultante. Comme dans l'essai précédent, on peut connaître ainsi la résistance du sol à la déformation.

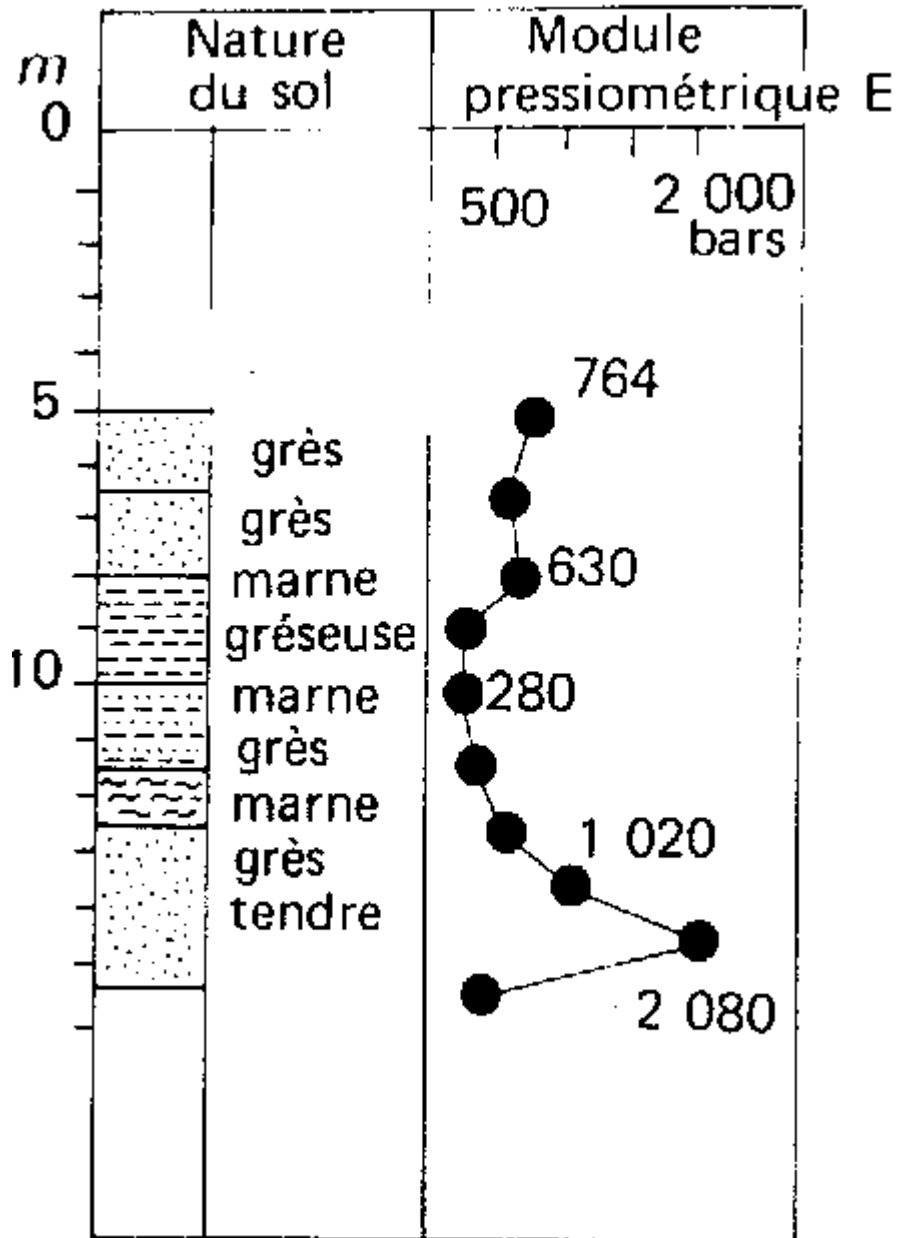


Figure 13: Profil pressiométrique (d'après DER COURT et PAQUET).

5. INSTABILITE DU SOL

Les deux causes principales d'instabilité du sol sont le tassement et le glissement. Les soulèvements sont plus rares. La présence de cavités souterraines, naturelles ou artificielles, peut provoquer des effondrements spectaculaires.

5.1 Les tassements

Le sol est un matériau compressible; lorsqu'une charge est appliquée à sa surface, le sol se déforme; le tassement est la déformation verticale vers le bas (vers le haut, c'est un gonflement). Les tassements sont dangereux pour les constructions qui s'affaissent ou basculent quand les tassements sont inégaux.

Les tassements subis par le sol sous l'effet d'une contrainte sont dûs à 3 phénomènes:

- la compression des grains solides du sol;
- la compression de l'air contenu;
- l'évacuation de l'eau et de l'air contenus.

Sous l'action d'une charge, le sol se consolide: son indice de vides décroît pour se stabiliser à une valeur fonction de la charge appliquée.

5.2 Les glissements de terrain

La vitesse de ces déplacements en masse est très variable

La solifluxion est un déplacement très lent de la pellicule superficielle sur une pente.

Les coulées de boues sont constituées d'un fluide visqueux fait d'un mélange d'eau et de formations superficielles. La vitesse dépend de la viscosité et de la pente. Les coulées de boues suivant le lit des torrents sont appelées "laves torrentielles" ("lahar" pour les cendres volcaniques).

Les écroulements sont les plus rapides (chute d'un pan de falaise).

La vitesse des glissements de terrain en montagne peut approcher 10 cm par jour: elle varie selon la période de l'année (pluviosité, fonte des neiges...)

Les glissements se font rarement sur un plan car il faut un plan de glissement préexistant: stratification, natures de matériaux différentes, revêtement de talus rapporté... Le plus souvent la surface de rupture d'une pente est courbe et ressemble à une section de cylindre. L'eau joue un rôle important sur la stabilité d'une pente par la pression hydrostatique développée par une nappe ou les forces dues à l'écoulement: l'eau s'écoule dans le sol selon la ligne de pente et ajoute son action à la gravité. La stabilité d'un sable sur un talus est réduite de moitié si le sable est traversé par un écoulement d'eau. Les terrains contenant des corps plastiques comme les argiles gorgées d'eau seront instables sur des pentes même faibles (une pente de 1% suffit à une coulée de boue). La végétation en revanche en consolidant le sol et limitant les infiltrations et le ravinement superficiel stabilise le sol.

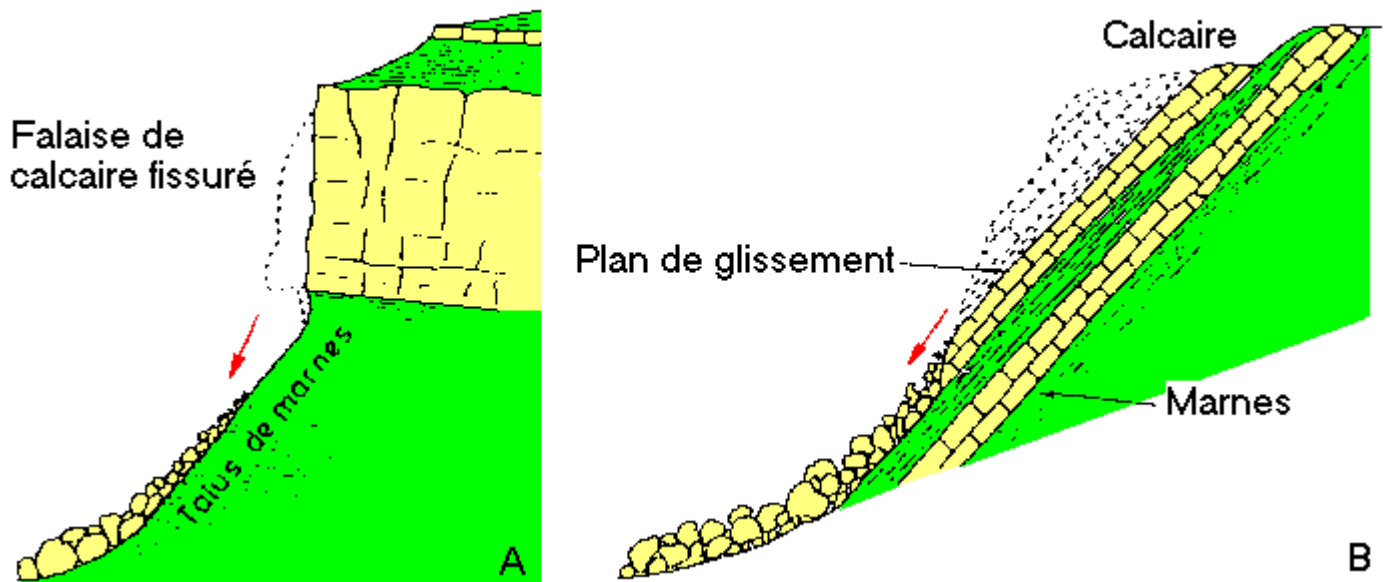


Figure 14: éboulement (A) et glissement de terrain (B) banc sur banc.

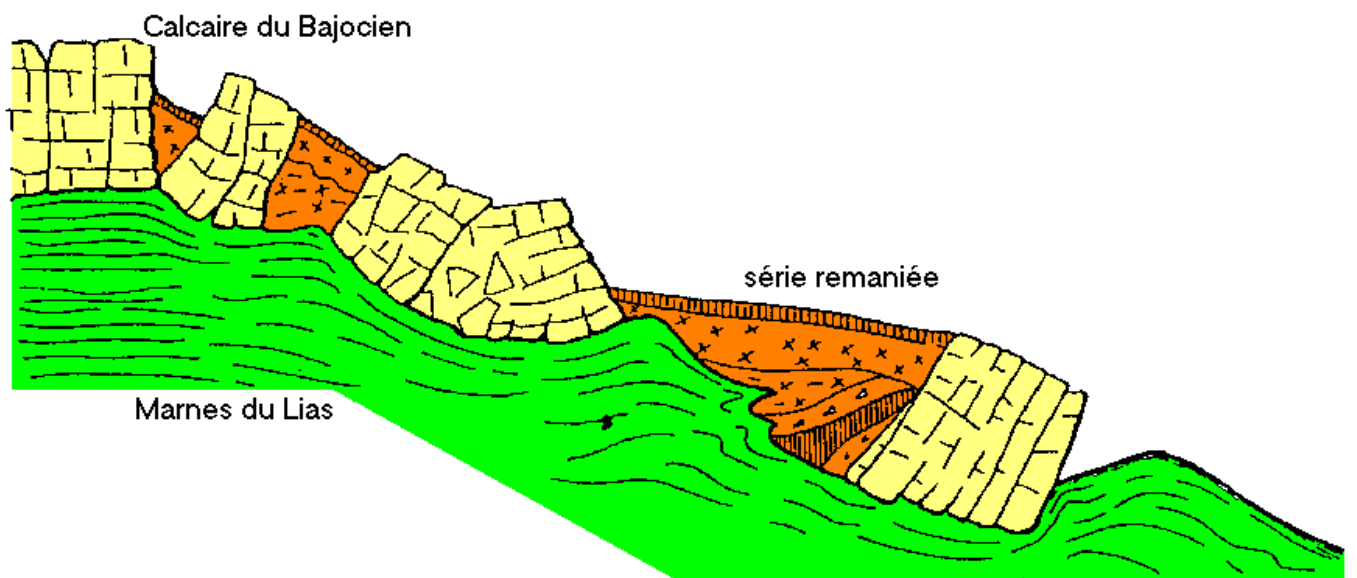


Figure 15: glissement des calcaires jurassiques sur les marnes sous-jacentes (Chaînes subalpines).

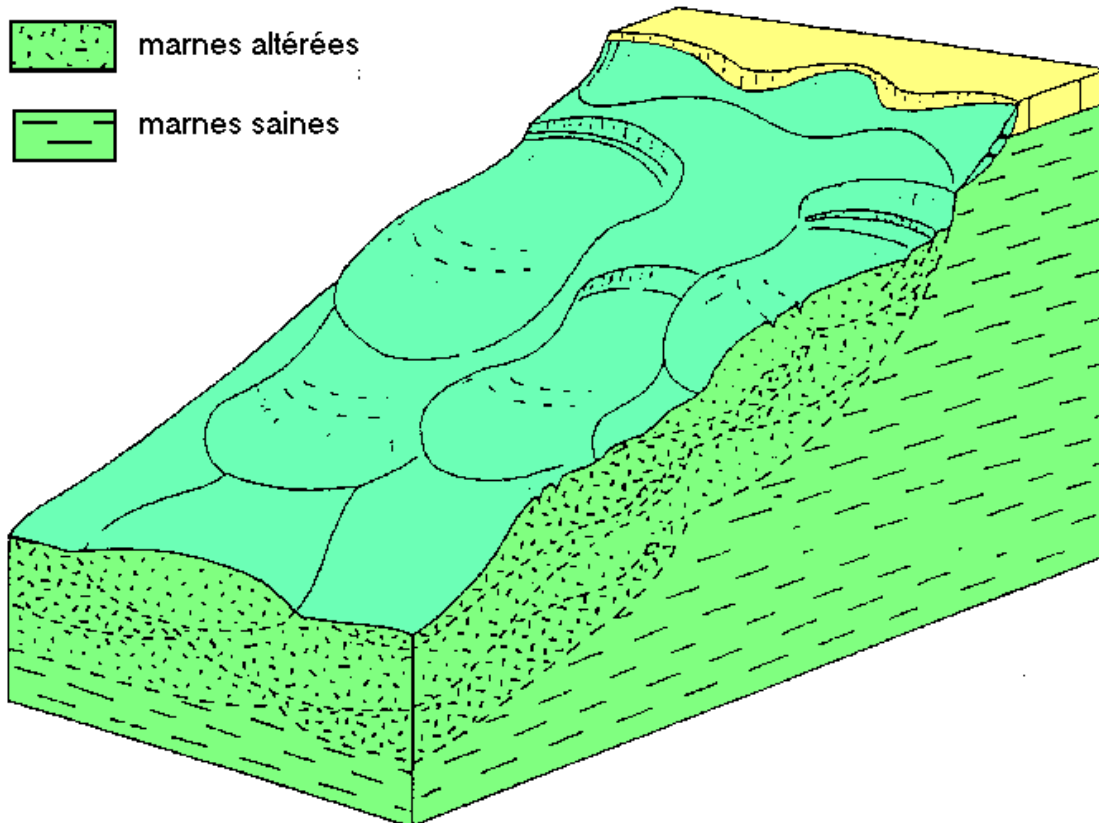


Figure 16: Loupes de glissement sur une série marneuse

SW

NE

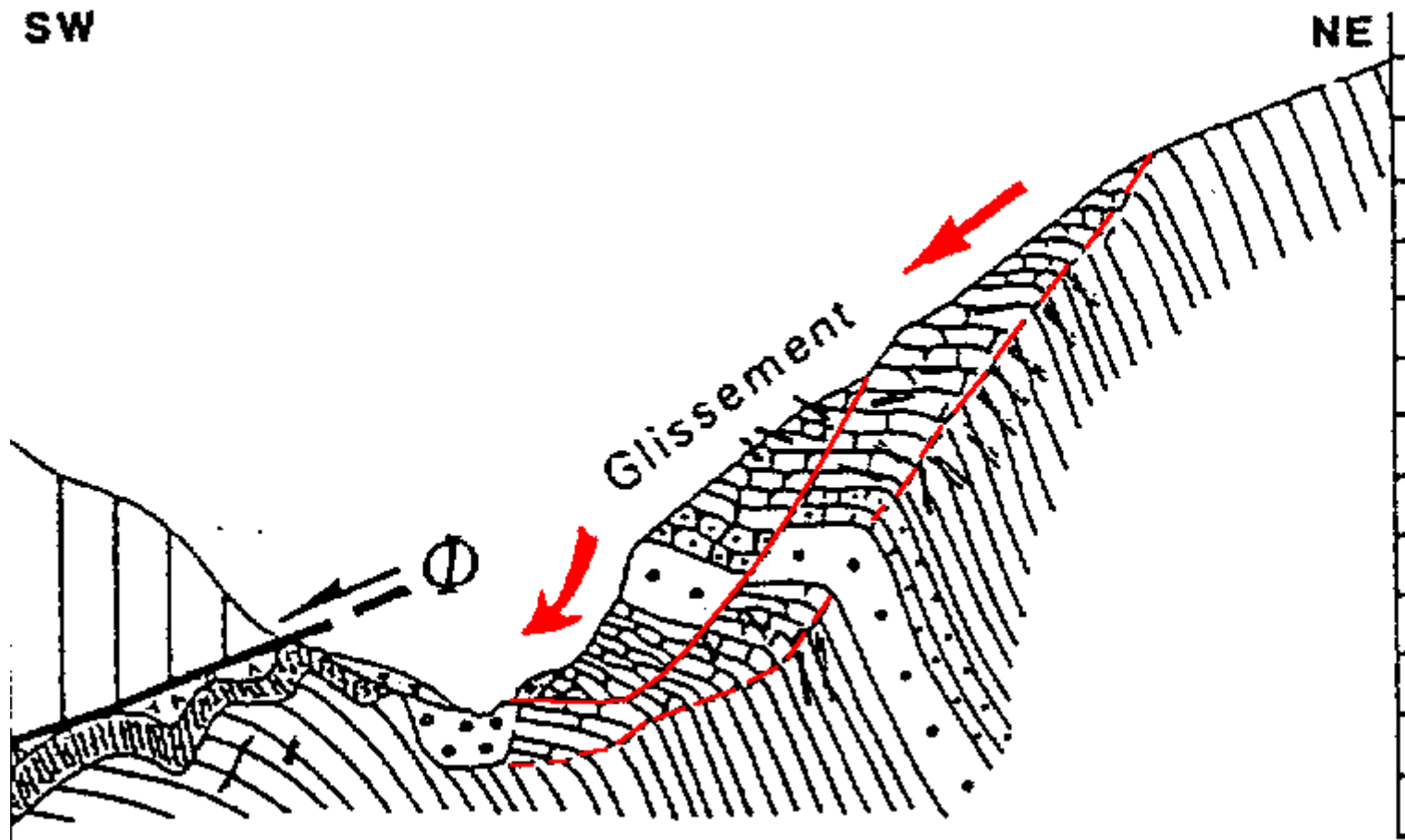


Figure 17: Glissement actuel de La Clapière (St Etienne-de-Tinée): le détachement se fait suivant une surface courbe (d'après DUROUCHOUX).

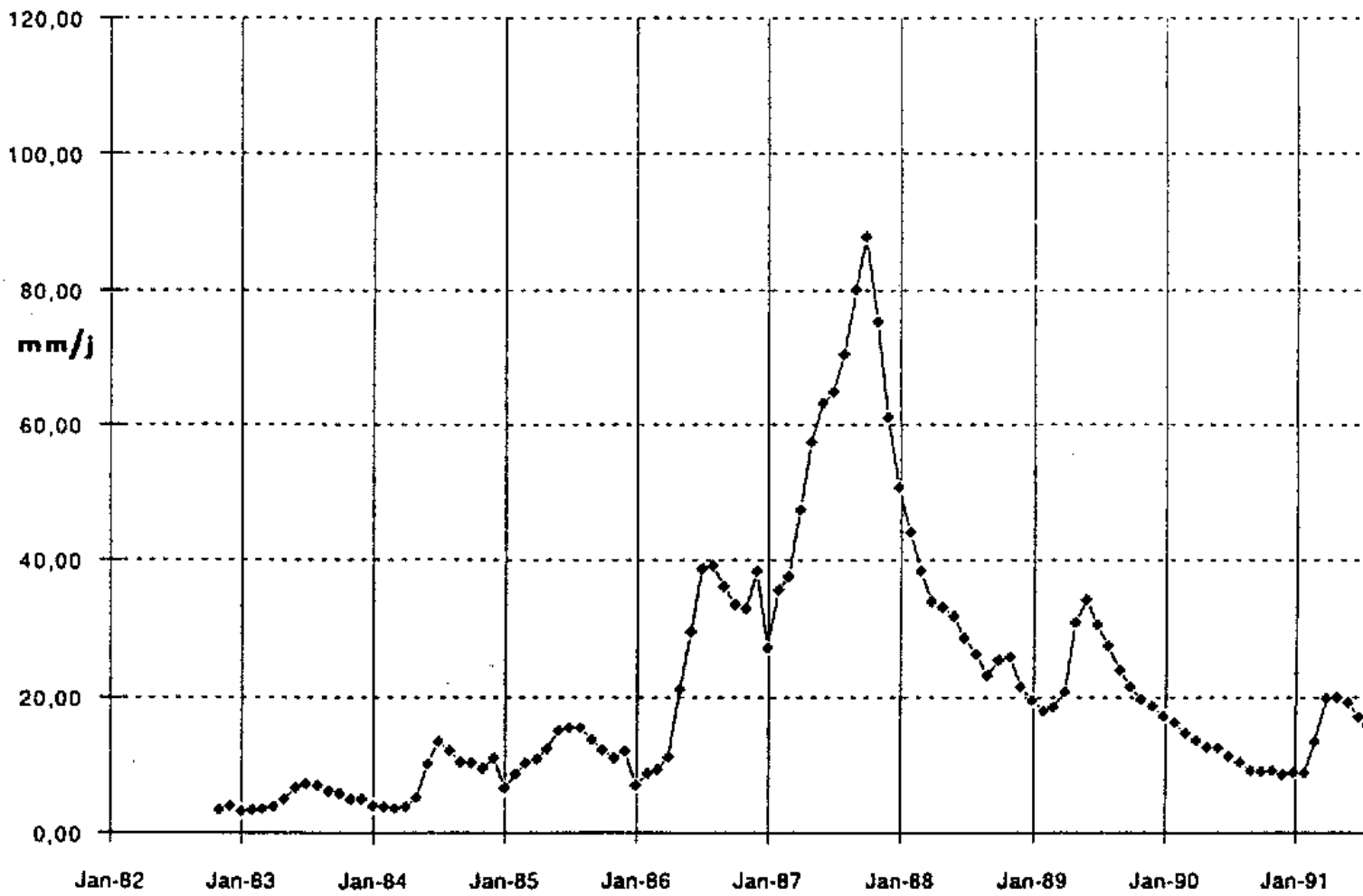


Figure 18: vitesse de glissement (en mm/jour) mesurée à La Clapière (d'après DURVILLE).

5.3 Les soulèvements

Ils peuvent résulter du gonflement d'une assise argileuse par imbibition, de l'arrêt de travaux souterrains de creusement, de la remontée du niveau piézométrique par arrêt du pompage...



Figure 19: Soulèvement du quartier de la gare St Lazare (Paris) suivi par interférométrie radar satellitaire. La cause en est l'arrêt des travaux et du pompage. L'amplitude de la déformation est de quelques mm depuis 1998 (document BRGM).

5.4 Les effondrements

L'effondrement du toit d'une cavité souterraine (grotte, galerie de mine...) peut atteindre la surface: c'est le cas des "fontis" dans la région parisienne dus à la dissolution du gypse en profondeur.



Figure 20: Effondrement de terrain (fontis) en zone pavillonnaire (document BRGM).

FONDATIONS ET INFRASTRUCTURES

Mouvements de fondations de maisons individuelles Première partie : tassements courants



Le constat

Les maisons individuelles sont habituellement fondées superficiellement par des [semelles](#) en béton armé.

En présence d'un sol déformable, ces fondations peuvent subir des mouvements susceptibles d'engendrer des dommages importants.

La déformabilité du sol sous l'effet des charges apportées peut ainsi favoriser l'apparition de fissures ou lézardes sur les murs. Les aménagements intérieurs, surtout s'ils sont en dur (cloisons en carreaux de plâtre, carrelage), peuvent aussi subir les contrecoups de ces mouvements.

Un [tassement différentiel](#) des fondations de l'ordre du cm peut suffire à induire ces phénomènes.

Le diagnostic

Les maisons individuelles concernées ont généralement été construites en maçonnerie (briques ou blocs de béton), sans sous-sol complet, sur des fondations en béton armé de faible profondeur (en général entre 0,50 m et 1 m).

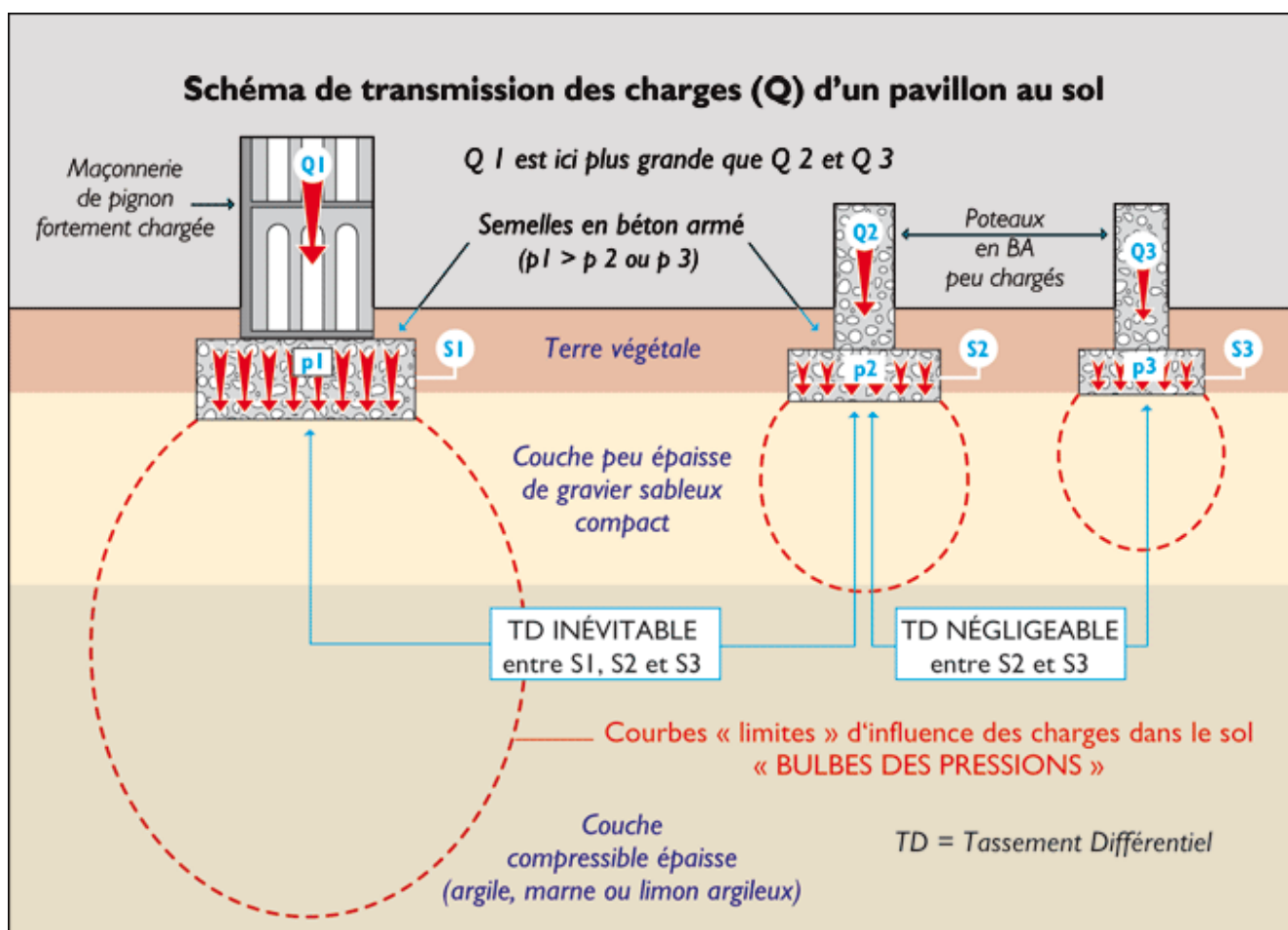
Ces fondations ont pour fonction de diffuser les charges du bâtiment (poids des matériaux et charges d'exploitation) dans le sol jusqu'à une profondeur qui ne dépasse pas, en principe, 3 à 4 m sous leur niveau d'assise.

Si, dans ces limites, le terrain est fait d'éléments rocheux, aucun incident grave n'est à craindre. Le pavillon risque, en revanche, de subir les conséquences de mouvements du sol si celui-ci contient de manière aléatoire des inclusions rocheuses ou comporte une couche déformable (argileuse, limoneuse, sableuse).

À noter : le risque spécifique retrait/gonflement des argiles est abordé dans [la fiche A2](#).

Trois conditions doivent être réunies pour déclencher la fissuration.

- **Un sol compressible sous le niveau d'assise des fondations.** La présence de sols compressibles dans cette limite d'influence des fondations peut amener le sol à se déformer trop fortement sous le poids des structures.
- **Des charges irrégulièrement réparties aux fondations.** Ce déséquilibre des efforts sur le sol provoque un tassement différentiel. Le sol se déformera donc plus ou moins selon les points d'appui. (voir schéma ci-dessous). C'est aussi le cas lorsque des fouilles importantes sont faites à proximité immédiate de fondations existantes.



La fragilité de la [superstructure](#). Les déformations différentielles du sol sont pour la superstructure des déplacements imposés, qui engendrent des contraintes de traction et de cisaillement dans la superstructure. Les points les plus faibles et notamment les joints de maçonnerie seront les premiers à ne pas résister à ces contraintes.

Les autres causes de désordres.

- L'implantation du bâtiment sur un sol hétérogène, renfermant des inclusions rocheuses qui constituent autant de points durs ou, au contraire, des débris végétaux (tourbe) ou des matières organiques en décomposition (vase) qui forment des zones compressibles.
- L'implantation de la maison directement sur la terre végétale de surface ou à si faible profondeur que le sol n'est pas à l'abri du gel (se référer au FD P 18-326 « Zones de gel en France »).
- La présence juxtaposée de deux remblais d'âge différent sous les fondations : un ancien, peu compressible, et un récent, mal compacté lors des travaux.
- La création ultérieure d'une plate-forme contre une façade du pavillon. Elle crée une charge parasite excessive au droit de la semelle de ce mur.
- La rupture d'une canalisation enterrée ou d'un regard d'eau pluviale, voire simplement la chute de précipitations dans les fonds de fouilles pendant l'exécution. Elle provoque une arrivée d'eau qui change localement la consistance du sol en pied de mur.

Les bonnes façons de faire.

- Hors des zones connues et répertoriées, avoir recours à un BET spécialisé pour étudier les caractéristiques géotechniques du sol est indispensable. L'étude de sol doit tenir compte de la construction projetée et indiquer les valeurs de tassement prévisibles. C'est à partir de ces valeurs que le BET Béton sera à même de dimensionner son ouvrage. Les sols compressibles ou argileux nécessitent une vigilance toute particulière et l'adoption de mesures spécifiques (voir fiche A2 déjà citée).
- Ne pas utiliser en fondation les procédés avec béton de fibre, qui relèvent d'un Avis Technique, sans s'être rapproché de l'assureur.
- Bien décapoter et nettoyer le fond de fouilles.
- Reporter le coulage des fondations en cas de pluies trop abondantes.
- Respecter les autres conditions de mise en œuvre des fondations superficielles fixées par le DTU 13.11.
- Dans le cas de constructions en pente, respecter la pente maxi entre deux semelles successives, qui est limitée à une pente de 3 pour 1.

LES FONDAMENTAUX

- **Hors des zones notoirement connues et répertoriées, faire réaliser une étude de sol.**
- **Mettre en œuvre conformément au DTU 13.11.**

Mouvements de fondations de maisons individuelles Seconde partie : mouvements exceptionnels en sols sensibles



Le constat

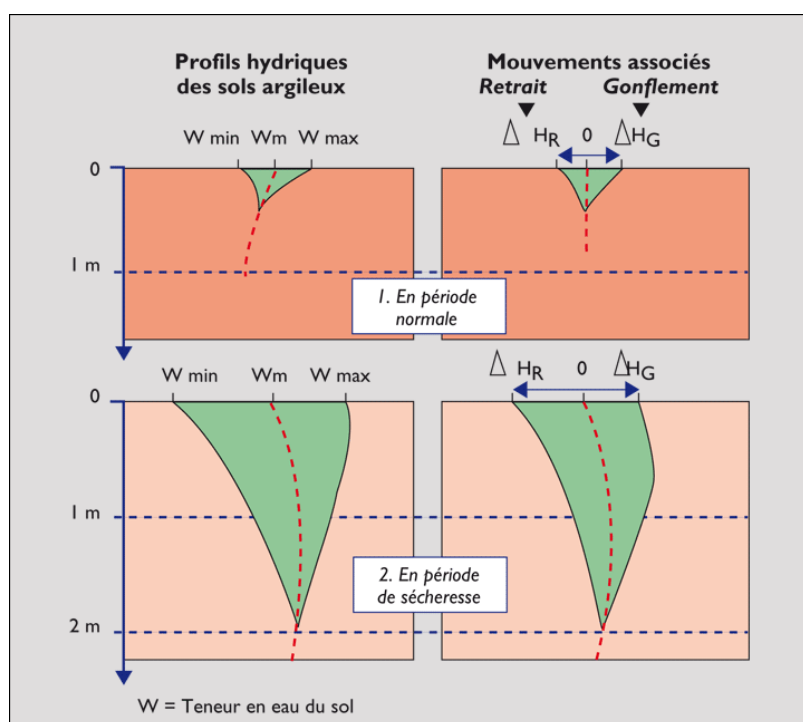
Les [argiles](#) dites « gonflantes » sont dangereuses pour les fondations : tassements en période de sécheresse, soulèvements quand les argiles se réhydratent.

Cette alternance de tassements et de soulèvements provoque des dégâts dans les murs. Dans les cas graves, les fissures peuvent atteindre une largeur de 30 à 40 mm (on parle alors de lézardes) et peuvent nécessiter

la déconstruction totale de l'ouvrage. Elles peuvent aussi concerner les aménagements extérieurs (trottoirs, escaliers...), les voiries d'accès, les réseaux d'eau enterrés, ...

Le diagnostic

En alternance saisonnière normale, les variations de teneur en eau de sols dits gonflants (argiles à prédominance de [montmorillonite](#)) perturbent leur équilibre hydrique sur moins d'un mètre de profondeur. En revanche, une sécheresse prolongée entraîne une forte évaporation d'eau entre la surface et le banc argileux sur une profondeur de 2 à 4 m. Ce phénomène provoque une importante diminution du volume du sol argileux, ce qui se traduit par un [retrait](#) pouvant atteindre une dizaine de centimètres.



Ces mouvements du sol ne sont pas uniformes sous les bâtiments car ceux-ci forment un écran contre l'évaporation. Des efforts différentiels importants apparaissent donc entre le centre du pavillon et sa périphérie, d'où l'apparition de fissures ou de lézardes.

Ce processus peut être localement aggravé par la présence, à proximité du pavillon, de certaines végétations dont les besoins en eau sont importants : chênes, peupliers, frênes, ...

La nature même des argiles concernées peut donner naissance, lors d'une période ultérieure très pluvieuse, à un phénomène opposé de gonflement qui tend à refermer les fissures.

Les pavillons implantés sur ce type d'argile à prédominance de montmorillonite sont habituellement soumis à des cycles de retrait et de gonflement, notamment au niveau des parties les plus directement exposées, situées en périphérie. Si la partie centrale du pavillon peut apparaître plus stable à court terme, elle pourra subir à plus long terme les effets d'un gonflement progressif de grande amplitude.

Celui-ci peut être dû à un apport continu d'eau en période pluvieuse sous l'effet de remontées de nappes phréatiques, par exemple, suivi de l'impossibilité d'évacuer cet excès d'eau en saison plus sèche.

Les bonnes facons de faire

- Consulter en amont des cartes géologiques. Le ministère en charge de la construction a confié au BRGM de cartographier le risque « argiles gonflantes ».
- Repérer si le terrain se trouve sur une zone concernée par le phénomène d'argiles gonflantes. Le site <http://www.argiles.fr/> du BRGM permet, dans les départements qui en sont dotés, d'obtenir les cartes d'exposition commune par commune.
- Recourir à un BET spécialisé pour étudier les principales caractéristiques géotechniques du sol est indispensable.
Des essais en laboratoire ([limites d'Atterberg](#), essai à l'[œdomètre](#)) sont indispensables pour reconnaître précisément le type de sol rencontré et le potentiel de gonflement de toute couche argileuse douteuse.
- Vérifier l'existence locale d'un PPR (Plan de prévention des risques) spécifique, et prendre les précautions nécessaires :
 - éloigner la construction des arbres, ou recourir à des écrans anti-racines ;
 - ancrer plus profondément et de manière homogène la construction : profondeur minimum de - 0,80 m en aléa faible à moyen, de -1,20 m en aléa fort ;
 - rigidifier la structure (chaînages verticaux et horizontaux) ;
 - prévoir un joint de rupture entre les ouvrages (la maison et le garage, par exemple) ;
 - limiter l'évaporation au sol près des maisons (terrasse ou géomembrane).
- Respecter les conditions de mise en œuvre des fondations superficielles fixées par le DTU 13.11 ; pour limiter notamment les variations d'humidité dans les sols d'assise.

LES FONDAMENTAUX

- Consulter le site www.argiles.fr.
- Faire réaliser une étude géotechnique par un BET spécialisé et l'étude béton qu'elle induit.
- Réaliser les fondations conformément aux DTU 13.11 et 13.12 notamment en cas de sols difficiles.

Affaissement de dallage de maisons individuelles

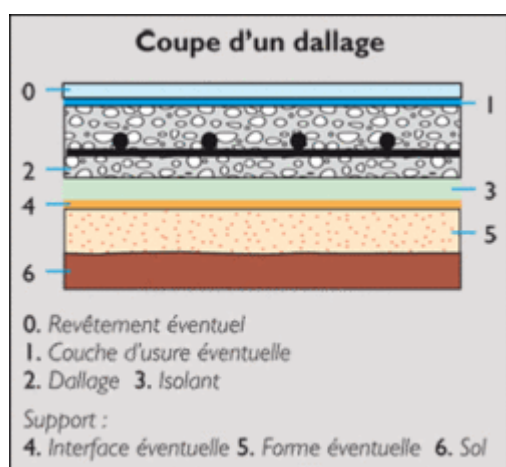


Le constat

Les dallages sur terre-plein des maisons individuelles subissent parfois des affaissements en pied de murs périphériques. Ils se traduisent généralement par l'apparition d'un vide entre le revêtement de sol et la base des plinthes. Des fissures plus ou moins importantes apparaissent dans les cloisons et les revêtements de sol.

Des arrachements de canalisations passant dans ou sous le dallage peuvent également se produire.

Le diagnostic



Un dallage sur terre-plein est un ouvrage horizontal en béton de grandes dimensions par rapport à son épaisseur (minimum de 12 cm pour les maisons individuelles), coulé sur une forme en matériaux choisis et mis en œuvre pour constituer une assise stable. La forme est réalisée à même le sol en place après décapage de la terre végétale, et le dallage est en appui continu sur cette forme, avec une interface éventuelle (couche de sable, film, isolant...). Dès que le sol et/ou la couche de forme présentent des faiblesses, le dallage en béton suit ces mouvements.

Les principales causes d'affaissement de dallages sur terre-plein sont :

Des terrains inaptes à recevoir un dallage sur terre-plein

- **Terrains hétérogènes** (ou terrains en pente avec remblais et déblais), pouvant entraîner des tassements différentiels de la forme, et donc du dallage ; sols meubles, fréquents en France, pouvant comporter des rognons rocheux, constituant des points durs ; terrains gypseux ou calcaires, dans lesquels des cavités importantes peuvent apparaître, par dissolution de la roche.
- **Terrains compressibles** comportant des strates molles (tourbes, vase) en dessous de strates de meilleure résistance, d'où basculement ou affaissement du dallage ; terrains comportant des remblais non stabilisés ou des assises en voie de consolidation.
- **Terrains argileux** sensibles aux phénomènes de retrait-gonflement liés à des modifications de teneur en eau du sol, conduisant à des affaissements de dallages, non uniformes en général (voir fiche A.2).
- **Terrains soumis à l'action de l'eau** : variations de niveau de la nappe phréatique, entraînant des cycles de tassements et de gonflements du sol ; terrains sujets à inondation lors de crues de rivières proches, engendrant une érosion ou un compactage hydraulique de l'assise du dallage, d'où affaissement rapide de ce dernier ;

terrains en cuvette ou présentant une couche argileuse, peu perméable, juste sous le niveau des fondations, d'où saturation d'eau dans le sol, perte de résistance mécanique et tassements différentiels.

Une mauvaise réalisation de la couche de forme

- **Décapage insuffisant de la plateforme**, d'où migration des **granulats** de la couche de forme vers le terrain sous-jacent, trop mou, et tassement de la forme conduisant à un affaissement du dallage ; coulage du dallage directement sur la terre végétale, sans réalisation de forme, d'où décomposition ultérieure des matières organiques et instabilité du terrain.
- **Nature et composition de la couche de forme inadaptées aux charges appliquées**, forme réalisée à partir de matériaux contenant des gravats ou des impuretés argileuses affaiblissant sa résistance ; matériaux dits « tout-venant » ou friables, comportant un fort pourcentage d'éléments fins, générateurs de tassements.
- **Insuffisance de compactage de la forme**, notamment en rives périphériques, facteur principal des affaissements de dallage ; l'insuffisance de serrage du squelette granulaire réduit considérablement la capacité portante, d'où forte diminution de la résistance à la déformation ; compactage sur des couches trop épaisses (ne pas dépasser 20 cm d'épaisseur par couche à compacter), trop humides ou à l'aide de compacteurs non adaptés ; absence ou insuffisance de compactage le long des murs porteurs.

Autres causes potentielles :

- Rupture de canalisations enterrées sous dallage, d'où fuites provoquant des affouillements du sol et entraînant l'affaissement du dallage.
- Présence d'un isolant uniquement en périphérie et non sous toute la surface du dallage, d'où tassement différentiel selon compressibilité de l'isolant.
- Compressibilité de l'isolant non adapté.
- Tassement du sol sous l'effet de succion de l'eau par les racines d'arbres implantés trop près (distance à respecter de 1 à 1,5 fois la hauteur de l'arbre à sa taille adulte).

Les bonnes façons de faire

- **Au niveau de la conception**
 - se renseigner localement sur le niveau de la nappe phréatique, sur les crues éventuelles et sur l'existence ou non de dallages dans les constructions avoisinantes ;
 - établir un diagnostic rigoureux des risques, afin d'évaluer la faisabilité ou non d'un dallage sur terre-plein : consultation du PPR départemental Argiles, s'il existe, reconnaissance des sols (étude géotechnique obligatoire dans certains cas) et réalisation des sondages permettant d'identifier les couches de terrain et d'évaluer leurs caractéristiques mécaniques ;
 - en cas de sols argileux, préférer un plancher sur vide sanitaire à la solution d'un dallage sur terre-plein, sensible aux effets de retrait-gonflements.
- **Au niveau de la mise en œuvre**
 - effectuer un décapage suffisant de la terre végétale (à évacuer sur 30 cm d'épaisseur environ) ;
 - réaliser la forme avec des matériaux appropriés ;
 - effectuer un compactage soigneux de cette forme, par couches de 20 cm maximum, avec du matériel adéquat, y compris, point essentiel, en périphérie et au droit des façades et refends ;
 - effectuer un contrôle des résultats du compactage (DTU 13.3) ;
 - vérifier la qualité de réalisation des canalisations enterrées sous dallage.

LES FONDAMENTAUX

- **Ne réaliser un dallage sur terre-plein que sur un terrain apte à le recevoir (étude de sols). Porter une grande attention à la mise en œuvre : composition de la couche de forme, qualité du compactage, contrôle du résultat.**

Effondrement de murs de soutènement en maçonnerie



Le constat

Destinés au maintien de massifs de terre de faible hauteur (moins de 2 m en général), ces petits ouvrages annexes de pavillons sont généralement construits en maçonnerie, très souvent sans l'aide d'un bureau d'études.

La stabilité des murs de [soutènement](#) en maçonnerie (blocs de béton, briques pleines, pierres, béton banché non armé) est assurée par leur propre poids (on parle de « mur-poids »).

Pour maintenir son équilibre, le poids du mur doit permettre de contrebalancer :

- la poussée des terres « drainées » ;
- les surcharges d'exploitation éventuelles (passage de véhicules, ...) ;
- les chocs éventuels.

Une épaisseur insuffisante de la paroi ou une mauvaise évacuation des eaux de ruissellement sont à l'origine de fissurations ou du bombement du mur, de son basculement partiel, voire de son effondrement.

Enfin, suivant la pente générale du terrain surplombant l'ouvrage, le risque de grand glissement doit également être évalué.

Le diagnostic

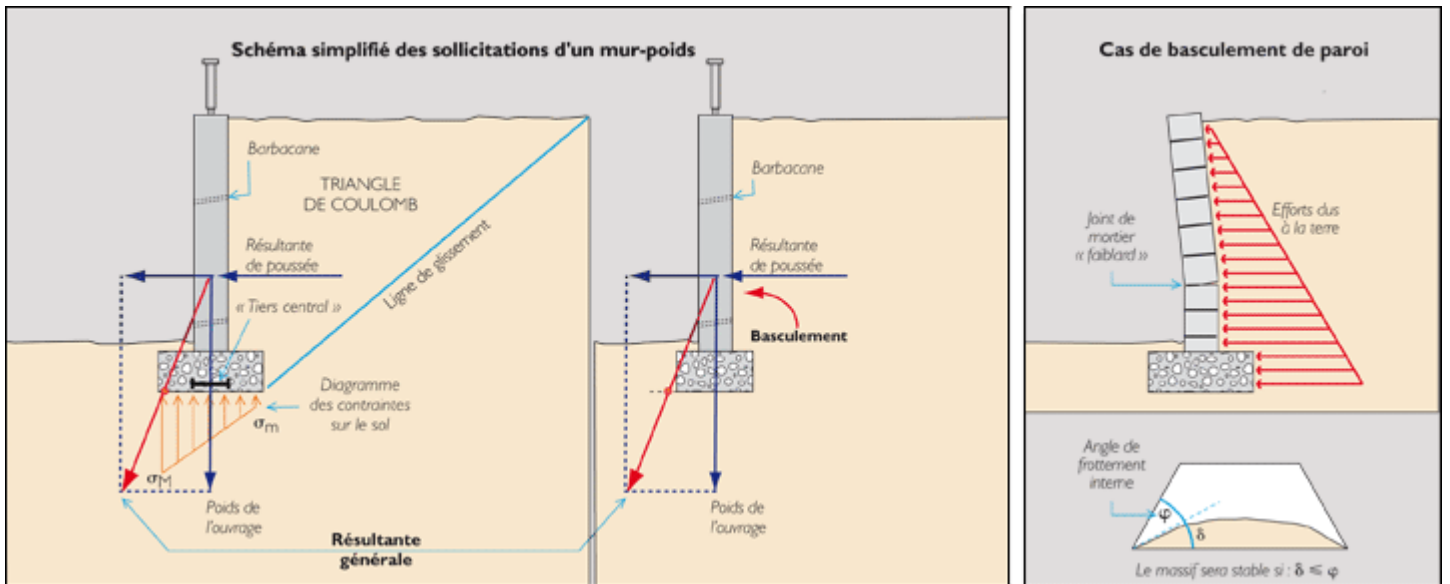
Les deux principales causes de désordres sont :

Une erreur de dimensionnement de l'ouvrage

Les poussées sur le mur résultent :

- de la poussée due aux terres en place et aux remblais sur le mur. Cette poussée dépend des caractéristiques du sol (densité, cohésion et [angle de frottement](#) interne) et de la hauteur des terres à soutenir ;
- de la poussée due à la présence d'eau. La réalisation d'un système de drainage et d'évacuation (grâce à des [barbacanes](#)) susceptible de s'accumuler le long de la paroi permet de limiter ces efforts ;
- de la poussée due à des surcharges éventuelles : véhicules, stockage, ...

Constitué d'un mur et d'une fondation, l'ouvrage de soutènement est considéré comme autostable. Cela signifie que le mur doit être suffisamment lourd pour résister sans déformation excessive aux différentes poussées. La prise en compte des chaînages dans le calcul de la stabilité n'est pas autorisée (cf. DTU 20.1 Partie 4). En revanche, des raidisseurs (poteaux en béton armé incorporés dans l'épaisseur du mur) ou des contreforts peuvent s'avérer nécessaires. Les caractéristiques de la semelle (dimensions, ferrailage) doivent également être calculées en prenant en compte les poussées.



L'action de l'eau

L'absence, la mauvaise conception ou le mauvais fonctionnement des systèmes de drainage et d'évacuation des eaux de ruissellement sont une cause fréquente de sinistre. En s'accumulant derrière la paroi, les eaux de ruissellement exercent sur celle-ci une poussée hydrostatique, qui vient s'ajouter à celle déjà exercée par le terrain sec. Or, aucun

mur de soutènement, prévu pour être autostable et calculé pour résister à la seule poussée des terres, n'est capable de résister à des pressions hydrostatiques. Remarque : Relevant d'un cas particulier, la présence d'une nappe phréatique n'est pas abordée dans cette fiche.

Les bonnes façons de faire

- Dans la mesure du possible, faire réaliser une étude de sol (ou compléter celle pour les fondations).

- Faire intervenir un bureau d'études «structure » pour le dimensionnement de l'ouvrage, y compris :
 - vérification des surcharges même non permanentes (passage ou stationnement de véhicules, aménagement de terrain (remblai) effectué ultérieurement, ...),
 - vérification du risque de glissement.
- Apporter un soin particulier à la réalisation du drainage et des barbacanes afin d'éviter l'accumulation d'eau sur la face interne de la paroi.
- Prévenir le maître d'ouvrage des limites de l'ouvrage de soutènement et des risques en cas de non respect des consignes minimales (entretien des barbacanes et du drain, interdiction de surcharger l'arrière du mur).
- Utiliser des murs préfabriqués peut éviter bien des désordres.

LES FONDAMENTAUX

- **Faire intervenir un bureau d'étude de structure et vérifier le ferrailage sur chantier par rapport aux plans.**
- **Bien drainer et évacuer les eaux de ruissellement.**
- **Entretenir drains et barbacanes.**

FONDATIONS ET INFRASTRUCTURES

Désordres des fondations profondes par pieux



Le constat

On recourt à des fondations profondes par [pieux](#) lorsqu'une solution superficielle (semelles, radier, puits) n'est pas réalisable au vu de l'adaptation au sol de l'ouvrage projeté.

Les désordres qui peuvent affecter ces pieux sont de deux ordres, tassement ou rupture du pieu.

Les réparations en cas de sinistre représentent un coût élevé et peuvent aller jusqu'à nécessiter la destruction de l'ouvrage.

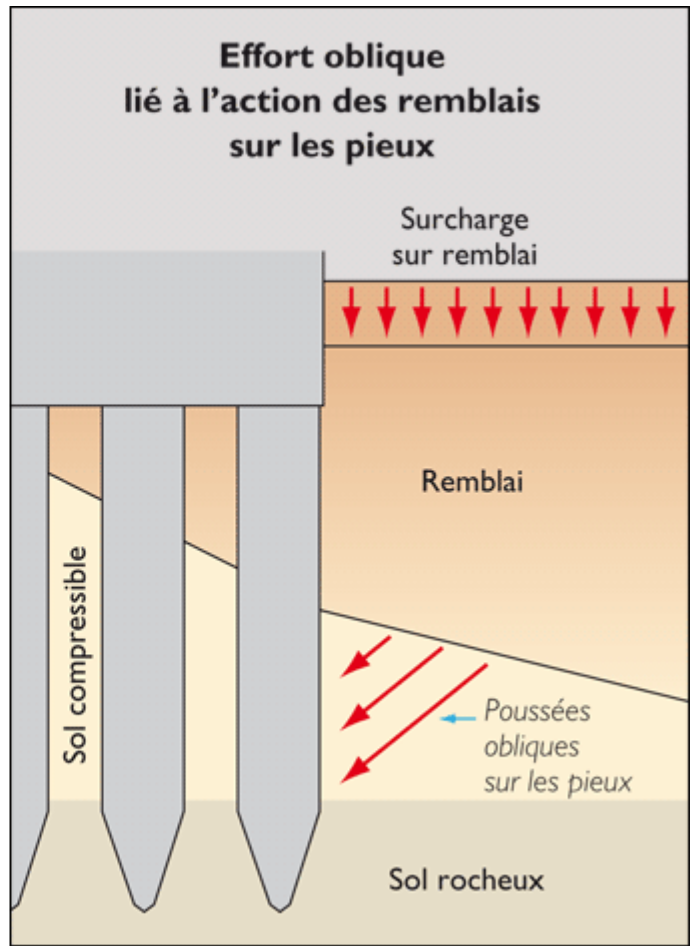
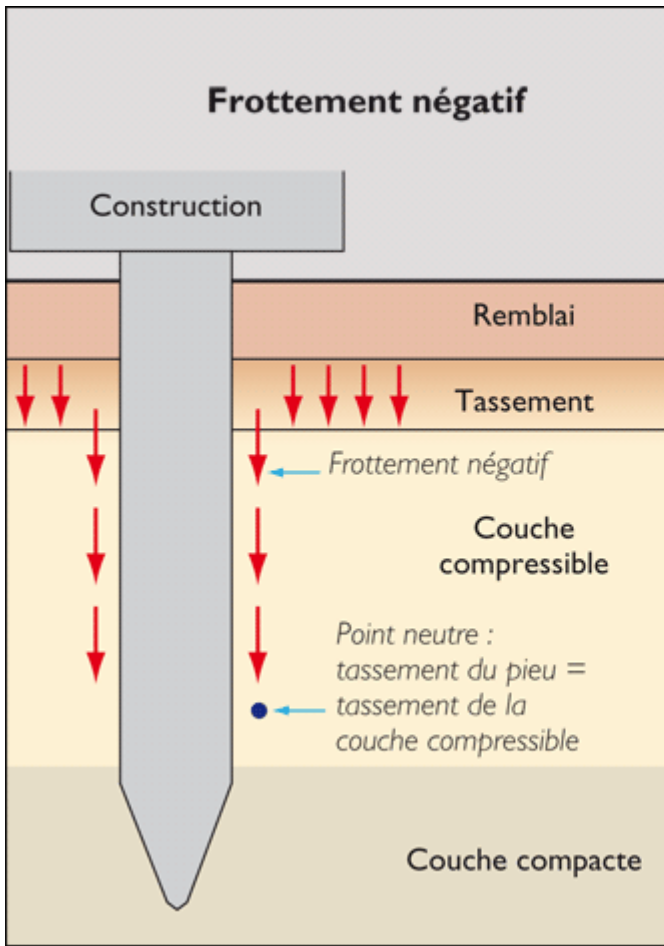
Le diagnostic

Les désordres peuvent provenir de plusieurs causes :

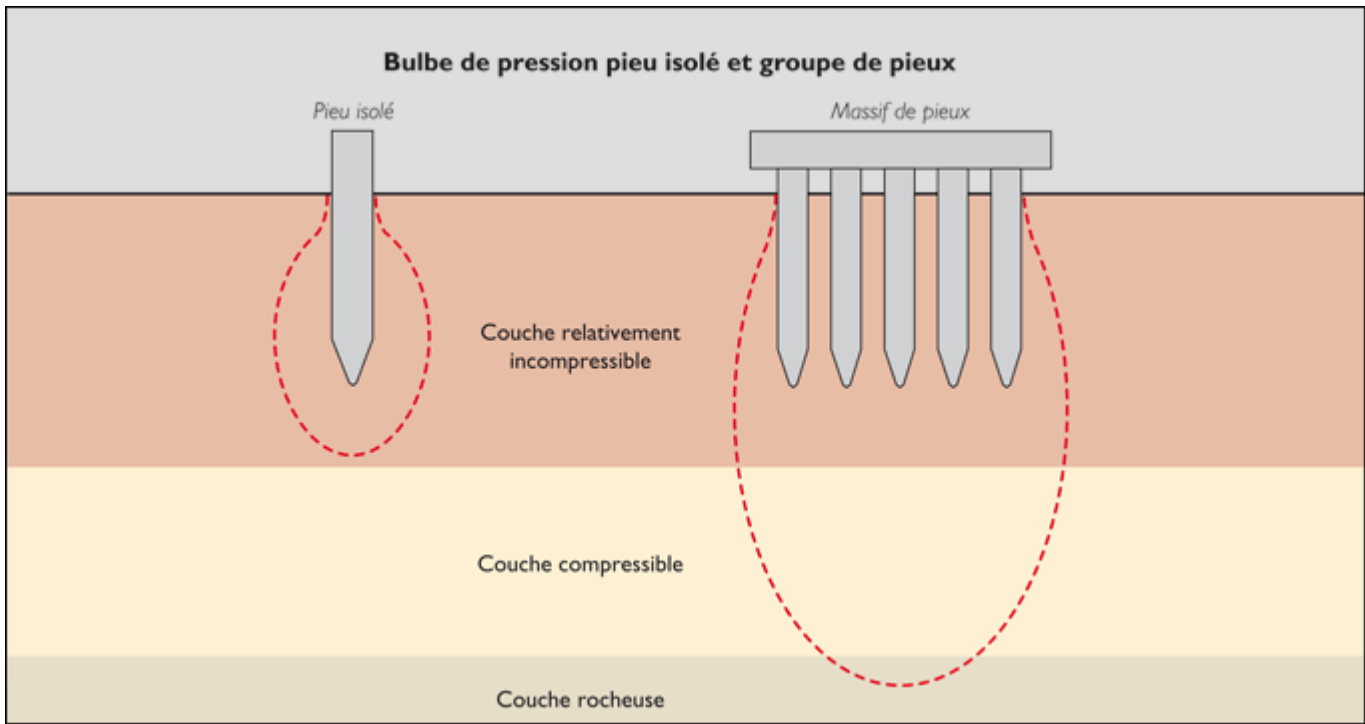
Une étude de sol incomplète, inadaptée ou l'absence d'étude géotechnique ;

Une mauvaise interprétation de la reconnaissance des sols

- les tassements de pieux peuvent résulter de la non-prise en compte d'un frottement négatif dû à des couches de surface compressibles, et qui s'ajoute, par conséquent, à la charge transmise au pieu par l'ouvrage,



- sur un même terrain, l'interaction des charges entre pieu isolé et groupe de pieux ne sera pas la même, ce qui peut être à l'origine de tassements importants,



- en présence de couches compressibles de surface, chargées par des remblais dissymétriques, le [fluage](#) des couches molles peut engendrer des efforts latéraux sur le fût des pieux allant jusqu'à leur rupture en l'absence d'armatures,
- les pieux battus peuvent rencontrer de faux [refus](#) ou pas de refus dans certains sols. Ce type de pieux se rencontre moins fréquemment compte tenu notamment du risque vis-à-vis des avoisinants (vibrations liées au battage);

Les erreurs d'implantation ou d'exécution

Rupture de pieu lors du battage, du [recépage](#), ou du terrassement... Pour les pieux coulés en place, un mauvais bétonnage peut résulter de l'emploi d'un béton trop « sec », de ferrailles trop importantes gênant le coulage du béton ou d'une remontée trop rapide du tube ;

L'agression des pieux par le sol environnant

Circulation d'eaux acides, d'eaux contenant des sulfates... Cette pathologie est en récession grâce à l'emploi de ciments adaptés à ces agressions.

Les bonnes façons de faire

- Faire réaliser une étude de sol préalable complète G 11 (étude préliminaire de faisabilité géotechnique) et G 12 (étude de faisabilité des ouvrages géotechnique) suivant la nomenclature géotechnique NF P94-500.
- La faire suivre des missions G2 (étude géotechnique de projet), G3 (étude et suivi d'exécution) et G4 (supervision géotechnique d'exécution), constitue un élément minoratif du risque.
- Effectuer un programme de reconnaissance comprenant au minimum :
 - un sondage avec prélèvement d'échantillons pour identification des sols en place ;
 - une reconnaissance au [pressiomètre](#), éventuellement complétée par des essais au [pénétrromètre](#) statique ;
 - une profondeur de sondage conséquente : elle doit dépasser d'au moins 7 diamètres (avec un minimum de 5 m) la cote d'ancrage des pieux prévue. La prise en compte des effets provoqués par des groupes de pieux peut conduire à une augmentation de cette profondeur.
- Apporter une attention particulière à l'exécution de pieux, dont le contrôle est difficile.
- Dans le cadre de l'introduction de l'Eurocode 7, préciser, le cas échéant, ses correspondances avec les normes françaises.

LES FONDAMENTAUX

- **Faire réaliser par un BET sol une étude géotechnique complète et circonstanciée.**
- **Lui confier la mission de suivi et de réalisation des pieux.**

- Eaux et nappes
 -
 - Divers
 - Les phénomènes aériens
 - Intempéries

Désordres dans les voiries et réseaux divers



Le constat

Des désordres, parfois récurrents, peuvent affecter tant les voiries que les réseaux enterrés : de l'arrachement de câbles ou la rupture de canalisations par un engin de chantier, à l'affaissement ou aux fissures, faïençage, nids-de-poule et soulèvement en surface de la voirie. Les risques, s'agissant des réseaux enterrés, sont parfois vitaux.



Le diagnostic

Méconnaissance de l'implantation des réseaux

Le manque d'information des exploitants sur les infrastructures, l'absence de demande de renseignements adressée par le maître d'ouvrage ou le maître d'œuvre aux exploitants (DR) et de déclaration d'intention de commencement des travaux (DICT) par l'entreprise, l'insuffisance de sondages de reconnaissance préalables aux travaux sont des facteurs de risques évidents.

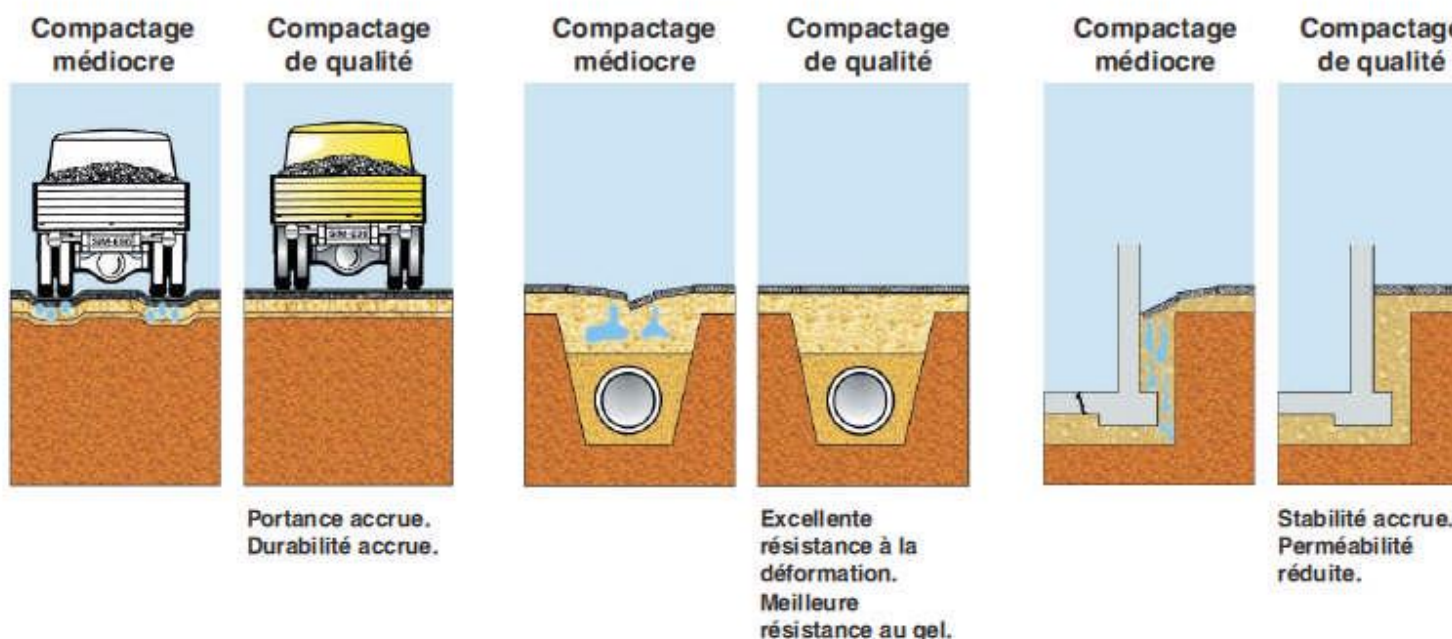
Vétusté ou état non réglementaire des réseaux existants

L'altimétrie non réglementaire des câbles et canalisations, éventuellement cumulée avec l'absence de grillage avertisseur, expose aux risques d'arrachement de câbles et de détérioration des canalisations par un engin de chantier.

Mauvaise exécution des travaux de préparation et de compactage

- **Mauvaise préparation du fond de fouille** : le fond de fouille non purgé n'a pas été débarrassé de ses éléments les plus gros.
- **Choix inadapté des matériaux de remblaiement** : dimension maximale des matériaux inadaptée vis-à-vis de la largeur de la tranchée, de l'épaisseur de la couche compactée ou du diamètre du réseau à enrober.
- **Insuffisance de compactage** : les exigences de compactage des couches de remblaiement des tranchées ne sont pas respectées.
- **Absence de contrôle du compactage** : imprécisions sur la conformité des objectifs attendus de densification du remblai.

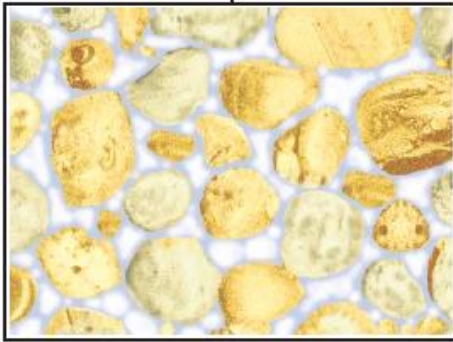
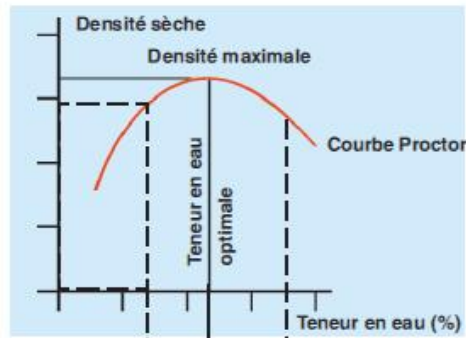
Objectifs du compactage



Ces erreurs d'exécution se traduisent par des affaissements.

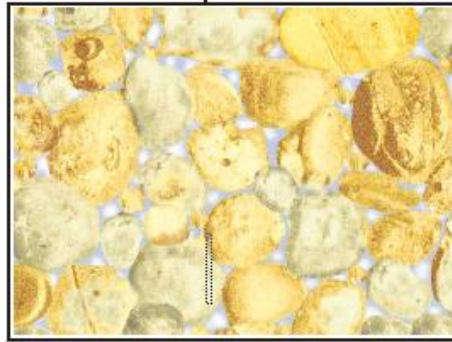
Compactage des sols

Influence de la teneur en eau sur l'aptitude au compactage



Faible teneur en eau

- frottements internes élevés
- faible densité



Teneur en eau optimale

- meilleure aptitude au compactage
- densité maximale



Teneur en eau élevée

- pression élevée de l'eau
- faible densité

BA01f-08/03

Gonflements de surfaces

La présence d'une forte teneur en sulfates dans les graves ciment conduit à la formation de sels expansifs d'[Ettringite](#), qui génèrent fissures et soulèvements en surface, parfois accompagnés de risques de rupture des réseaux souterrains.

Désordres de voiries lourdes

Des défauts de mise en œuvre des matériaux constitutifs de la voirie, un sous-dimensionnement de la structure de chaussée (mauvaise détermination du trafic/de la durée de service/de la protection vis-à-vis du gel) sont générateurs de risques d'affaissements des voiries.

Par ailleurs, la mise en œuvre d'une chaussée sur un support inadapté conduit à des désordres visibles en surface : fissures, faïençage, nids-de-poule. Même risque si le sol support est mal préparé : trop humide ou trop sec et décompacté, ou avec des poches de mauvais sol non purgées et comblées par un matériau adapté.

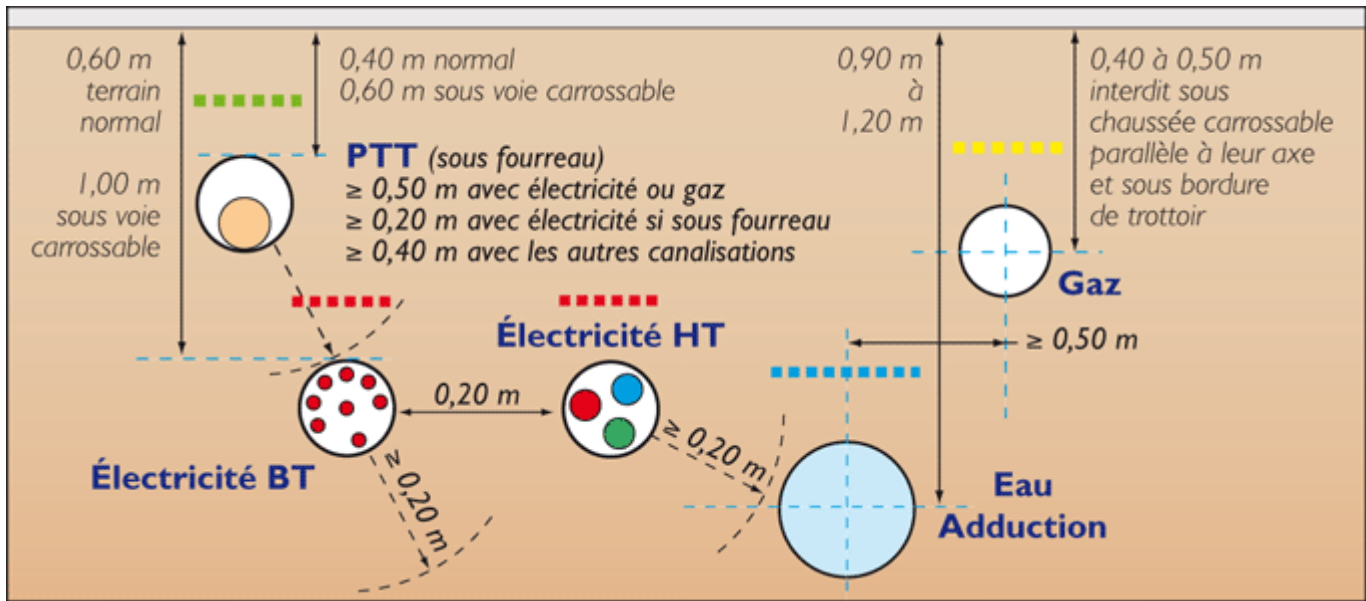
Engins inadaptés à la vulnérabilité du sol

Leur utilisation peut provoquer également des affaissements.

Les bonnes façons de faire

- **Prendre en compte les réseaux enterrés existants**
 - respecter les obligations des parties (y compris en cas de travaux urgents) ;
 - effectuer un piquetage général ;
 - observer attentivement les surfaces : réfections de sol/postes de détente/ regards/coffres de branchement/ bouches à clefs/présence de sablon... présagent de la présence de réseaux ;
 - utiliser des détecteurs de canalisation (détection par induction/géoradars/ ondes acoustiques...)

- surseoir aux travaux jusqu'à décision du maître d'œuvre (CCAG Travaux), en cas de découverte d'ouvrages enterrés non repérés ;
- respecter les règles de distance entre réseaux enterrés et règles de voisinage entre réseaux et végétaux.



- **Bien choisir les matériaux de remblaiement**
 - en cas de présence de nappe phréatique, tenir compte pour le choix des matériaux de remblayage de la perméabilité du milieu environnant, pour éviter la création d'une zone drainante.
- **Veiller à la qualité du compactage**
 - effectuer systématiquement un contrôle de la qualité du compactage.
- **Pour réussir sa chaussée**
 - la plate-forme support doit avoir des caractéristiques minimales :
 - nivellement +/- 3 cm
 - déformabilité faible (module EV2 à la plaque > 50MPa ou déflexion sous essieu 13 t < 2 mm). Ces caractéristiques doivent être homogènes sur toute la surface du support de la future chaussée ;
 - réceptionner le support visuellement (pas de poche en surface, le passage d'un engin lourd ne déforme pas le support et ne laisse pas d'ornières) ;
 - compléter par des essais en cas de doutes (essai de plaque ou mesure de la déformation sous essieu cités ci-dessus).
- **Veiller au bon dimensionnement des chaussées**

- respecter la norme NF P98-082 pour le dimensionnement des couches de fondation, de base et de roulement ;
- utiliser les guides techniques élaborés par le SETRA.

LES FONDAMENTAUX

Pour les réseaux divers :

- se renseigner de façon précise sur les réseaux en place ;
- utiliser des matériaux de remblaiement appropriés.

Pour les voiries :

- réceptionner le sol support ;
- pratiquer des essais en cas de doute.

STRUCTURES ET GROS OEUVRE

Humidité en sous-sol des bâtiments



Le constat

Les infiltrations se manifestent sous diverses formes, depuis de simples traces d'humidité ponctuelles sur la face intérieure des murs périphériques ou à la jonction entre murs périphériques et dallage, jusqu'à l'inondation totale du sous-sol.

Ce type de désordre concerne essentiellement les sous-sols réalisés en maçonnerie de petits éléments, et principalement les maisons individuelles. Mais des sous-sols réalisés en béton banché sont aussi susceptibles d'être concernés.

Le diagnostic

L'absence d'ouvrage

- [Cuvelage](#) non prévu ni réalisé alors que le niveau de la nappe phréatique est susceptible d'être supérieur à celui du dallage.
- Cuvelage non prévu ni réalisé alors que des ruissellements d'eau souterrains importants sont susceptibles d'atteindre le sous-sol.
- Drainage périphérique non prévu ni réalisé alors que des eaux souterraines (telluriques) ou de ruissellement sont susceptibles de s'accumuler contre les murs de sous-sol.

Le mauvais choix des revêtements extérieurs

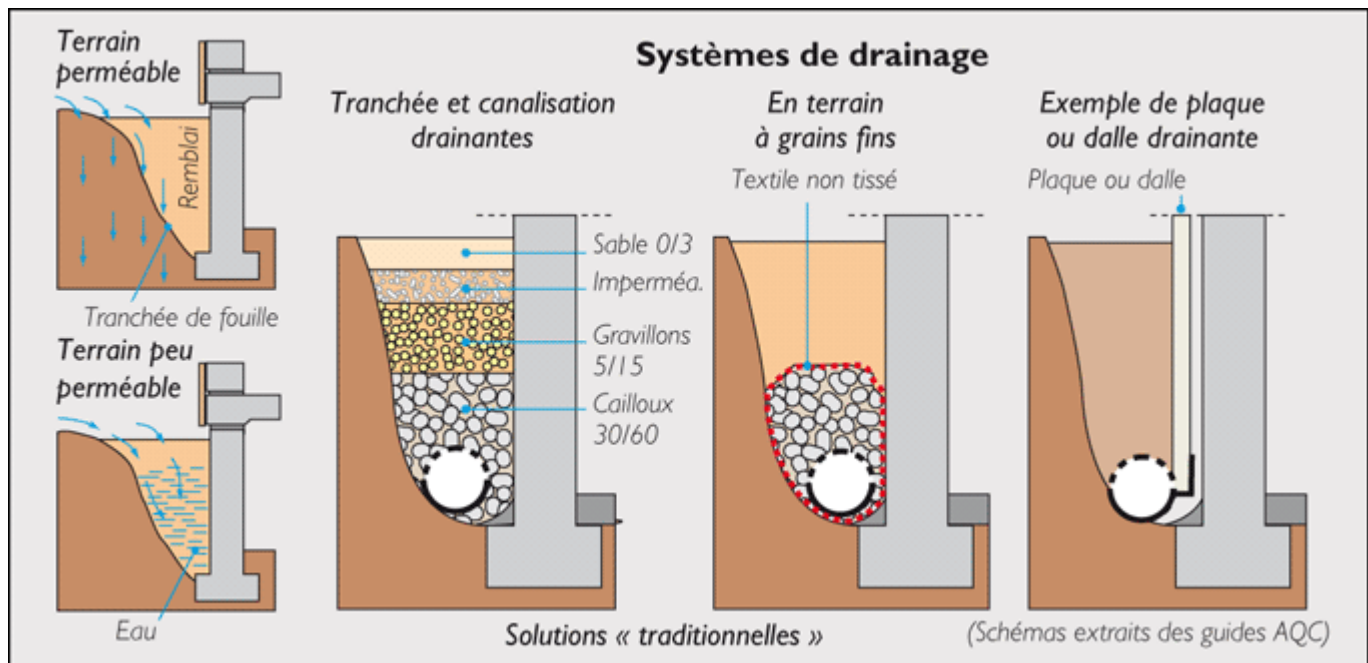
- Emploi de revêtements inadaptés sur la face extérieure des murs périphériques. Une simple émulsion bitumineuse appliquée directement sur la maçonnerie n'apporte pas de protection efficace contre les

infiltrations d'eau. Il faut, au minimum, un revêtement à fonction imperméabilisante, type enduit de mortier ou enduit bitumineux. voire un revêtement [étanche](#) (type membrane bitumineuse collée) qui interdit tout passage d'eau.

- Les nappes à excroissances n'assurent aucune protection à l'eau car, n'étant pas collées, l'eau les contourne. Elles n'assurent qu'une protection mécanique des revêtements, ou sont intégrées à des systèmes de drainage en association avec d'autres matériaux.

Les défauts d'exécution

- **Défauts d'exécution des drainages**
 - Drainage vertical inefficace : par absence de matériaux drainants ou de procédés drainants performants, contre toutes les surfaces de murs enterrés, ou mauvaise mise en œuvre;
 - Mauvais raccordement de ce drainage vertical avec les drains ;
 - Utilisation de drains type agricole (perforés de tous côtés) à la place de drains type bâtiment (perforations uniquement sur le dessus) ;
 - Insuffisance de pente des drains, absence ou insuffisance d'exutoire des eaux recueillies par les drains. L'eau s'accumule alors contre les murs de sous-sol ;
 - Absence de feutre géotextile, ou équivalent, empêchant le colmatage du système de drainage par entraînement des particules de terre ;
 - Absence, mauvaise réalisation ou décrochage, par le compactage des terres de remblai, de la protection en tête du système de drainage (nappe à excroissances). La terre pénètre dans le système de drainage et le colmate ;
 - Absence de regards de visite aux changements de direction des drains (impossibilité d'intervention en cas de colmatage).
- **Défauts d'exécution des revêtements extérieurs des murs périphériques**
 - Nombre de couches de produit de revêtement inférieur aux préconisations du fabricant ;
 - Omission de l'enduit de mortier préalable à la mise en œuvre de certains produits bitumineux ;
 - Discontinuités du revêtement extérieur ;
 - Manques localisés de revêtement autour des châssis de sous-sol, aux attentes de murets sur rampe de sous-sol, au niveau supérieur des sols.
- **Défauts d'exécution des abords**
 - Remblais de fouille mal ou non compactés. Les cavités présentes dans ces remblais favorisent l'accumulation d'eau contre les murs de sous-sol ;
 - Présence de trottoirs et terrasses en pavés autobloquants posés sur lit de sable, en pied de façade. Ils constituent des réservoirs d'eau ;
 - Niveau excessif des sols extérieurs par rapport à celui du revêtement extérieur des murs de sous-sol : les ruissellements de surface passent par-dessus les [arases étanches \(ou coupures de capillarité\)](#). Les exigences en matière d'accessibilité nécessitent des dispositions particulières au moins au droit des accès ;
 - Les pentes dirigées vers le bâtiment favorisent l'accumulation d'eau contre les murs enterrés ;
 - Les cours anglaises, sauts-de-loup et tout aménagement en cuvette contre les sous-sols, et qui sont dépourvus de système de renvoi des eaux pluviales à bonne distance ;
 - Défaut d'étanchéité des regards, réseaux enterrés, récupérateurs d'eau et autres à proximité des sous-sols ;
 - Proximité excessive d'épandage de système d'assainissement non collectif;
 - Absence ou fuite de gouttières et descentes d'eaux pluviales.



Les bonnes façons de faire

- Réaliser impérativement une étude de sol préalable approfondie.
- Déterminer s'il faut un cuvelage ou un drainage périphérique, un revêtement imperméable ou étanche. Le cas échéant, renoncer à réaliser un sous-sol.
- Éviter d'aménager ultérieurement en lieu de vie ou d'habitation un local en sous-sol non conçu pour cet usage.
- Mettre en place une ventilation des locaux en sous-sol.
- Veiller à la bonne exécution des travaux prévus, en particulier au droit de tous les points singuliers, et au traitement des abords.

LES FONDAMENTAUX

- **Définir avec le maître d'ouvrage l'usage final de ces locaux (stockage, parking, local habitable, ...).**
- **Faire réaliser une étude de sol préalable (nature du sol et circulation d'eau).**
- **Bien concevoir les murs de sous-sol.**
- **Bien choisir et exécuter les revêtements d'imperméabilisation et d'étanchéité.**

STRUCTURES ET GROS OEUVRE

Remontées capillaires



Le constat

On observe en façade des traces frangées ou ondulées, qui peuvent s'élever à plusieurs mètres au-dessus du sol. La partie de façade située en dessous de ces traces est généralement plus sombre que la partie de façade située au-dessus, et saturée d'humidité. Dans les cas extrêmes, les enduits et peintures de façade se décollent et laissent apparaître du salpêtre. L'humidité, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur, entraîne l'apparition de salpêtre, des moisissures, le décolllement des revêtements et le pourrissement des pièces de bois qui sont au contact.

Les maçonneries anciennes sont fréquemment le siège de remontées capillaires, notamment avant réhabilitation, mais aussi parfois après si ces remontées ne sont pas ou mal traitées. En revanche, ce phénomène affecte très rarement les constructions récentes.

Le diagnostic

L'eau présente dans le sol imprègne les embases de murs de maçonnerie enterrée, puis elle remonte par capillarité à l'intérieur de ceux-ci. Cette humidité s'évapore par les parements hors sol du mur, abandonnant les sels minéraux qu'elle avait dissous dans les matériaux. Ce sont ces dépôts de sels minéraux, et des développements de micro-organismes, qui constituent les franges visibles en façades.

Ce désordre concerne essentiellement les murs construits en matériaux capillaires (à cause de leurs pores fins) : pierres tendres ou briques, par exemple. Mais il peut aussi n'affecter que les enduits de façade si la maçonnerie est non capillaire ou protégée.

Absence d'arase étanche (ou coupure de capillarité)

Les constructions anciennes n'en comportent généralement pas, sauf emploi de pierres très peu capillaires type schistes, grès ou granit, en soubassement des murs porteurs.

Il est très rare qu'elle soit omise en construction neuve de maçonnerie.

Mauvaise exécution de l'arase étanche

- Arase étanche positionnée dans le sol : l'eau provenant du sol passe au-dessus de l'arase étanche, qui est alors inefficace.
- Arase étanche positionnée à trop faible hauteur au-dessus du sol extérieur, le bas des murs est éclaboussé par les eaux de rejaillissement, l'efficacité de l'arase étanche est alors partiellement compromise.
- Arase étanche discontinue. C'est le cas lorsqu'elle n'est pas bien réalisée sur toute la section horizontale de tous les murs au contact du sol. C'est aussi le cas de certains traitements curatifs par injection de résine lorsque celle-ci n'imprègne pas la maçonnerie de manière homogène.

Présence de parements ou de revêtements de façade peu perméables à la vapeur d'eau (enduits de mortier, doublages, revêtements d'imperméabilité)

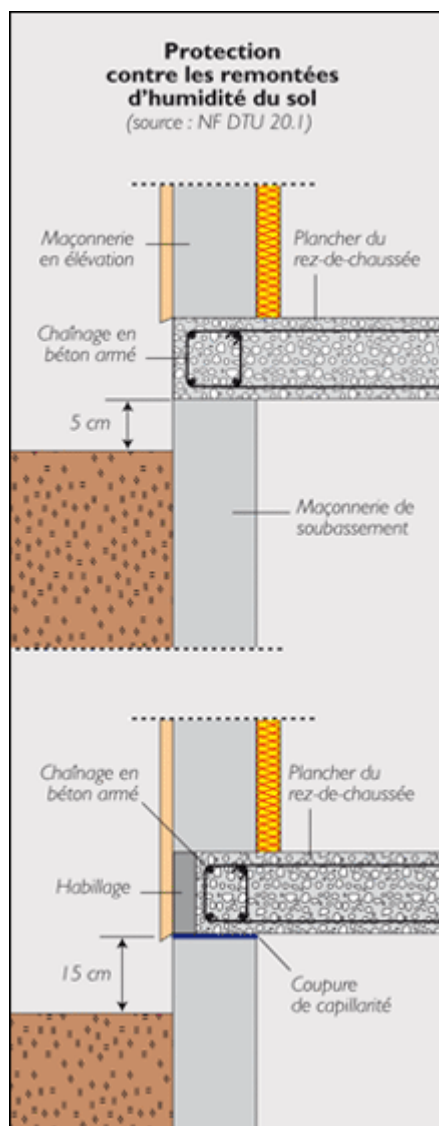
C'est un facteur aggravant plus qu'une cause. En effet, ces parements empêchent l'évaporation au plus près du sol de l'eau présente dans la maçonnerie. Celle-ci migre alors toujours plus haut pour trouver une surface d'évaporation suffisante.

À noter que les revêtements perdent leur perméabilité à l'air rapidement en zone urbaine polluée (encrassement).

Effet mèche

Parfois, l'arase étanche étant correctement réalisée, seul l'enduit de façade est affecté de remontées capillaires. Cela se produit lorsque l'enduit de façade a été réalisé plus bas que l'arase étanche.

Les bonnes façons de faire



- **Réaliser une arase étanche rigoureusement continue, en construction neuve** : sur tous les murs porteurs, disposée 5 cm ou 15 cm au-dessus de tous les sols extérieurs, avec des matériaux étanches, selon les prescriptions de la norme NF DTU 20.1.

NB : En cas d'enduit extérieur, son niveau inférieur doit être positionné au-dessus de la coupure de capillarité.

- **Réaliser un diagnostic préalable, en travaux sur existant** : pour détecter la présence d'humidité, vérifier si celle-ci est bien d'origine ascensionnelle et non liée à des infiltrations ou de la condensation, et préserver ainsi d'éventuels nouveaux aménagements. En présence de remontées, il faut analyser si la réalisation d'une arase étanche efficace (dans les conditions techniques visées plus haut) est réalisable ou pas. Si elle ne l'est pas, voici les solutions envisageables :
 - **un traitement curatif**
Il existe de nombreuses techniques pour tenter de mettre fin aux remontées capillaires : injections de résines, inserts en tôles d'acier inoxydable, siphons atmosphériques, procédés par [électro-osmose](#) ou [électrophorèse](#), procédés électroniques ou électromagnétiques, etc. Outre la question du choix, se pose celle de la possibilité de mise en œuvre (accès impossible sur une des faces, par exemple) ;
 - **un traitement palliatif**
Ce type de traitement ne mettra pas fin aux remontées capillaires mais peut en réduire notablement les conséquences : drainage périphérique raccordé sur un exutoire pour réduire la quantité d'eau en pied des murs, mise à nu des maçonneries de façade pour accélérer l'évaporation de l'eau, doublage avec vide d'air ventilé côté intérieur des murs.

LES FONDAMENTAUX

- Bien positionner l'arase étanche, en construction neuve.
- Réaliser un diagnostic préalable, en travaux sur existant.

STRUCTURES ET GROS OEUVRE

Corrosion des armatures du béton armé en façades des bâtiments

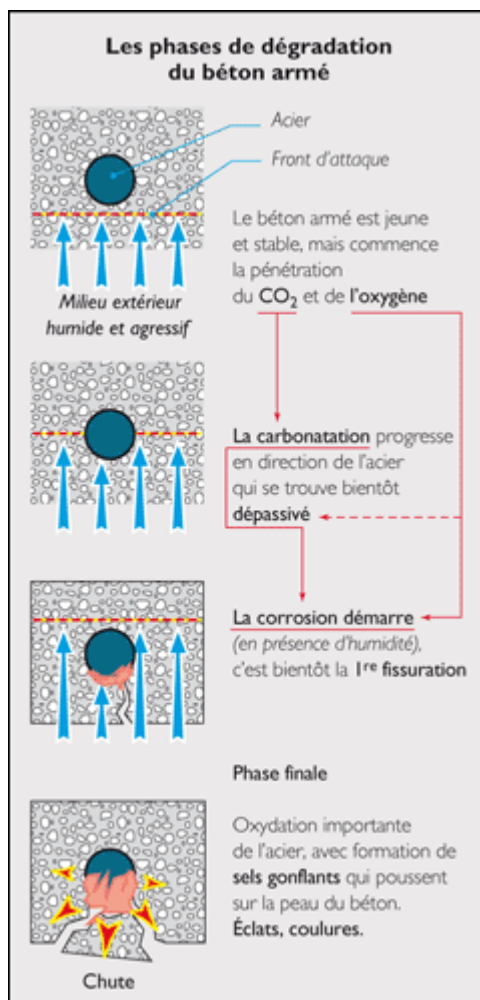


Le constat

Les désordres affectant les structures en béton armé commencent à la surface du béton par de fines fissures et de légères traces de teinte ocre. Puis l'élargissement des fissures permet à la rouille (hydroxyde de fer) de suinter. Des aciers presque totalement corrodés apparaissent après soulèvement et détachement des éclats de béton.

Le diagnostic

Porosité excessive du béton



Elle peut être due à la composition du béton (mauvais rapport entre le sable et les gravillons par exemple, excès d'eau, ...) ou à des insuffisances de [vibration](#) du béton au sein du coffrage.

Les conditions climatiques lors de la mise en œuvre du béton ont également une incidence certaine sur la porosité. Ainsi, par un temps sec et chaud, une dessiccation rapide du béton jeune, dont la surface n'a pas été protégée par un produit de [cure](#) approprié, peut être à l'origine d'une porosité excessive du matériau.

Mauvaise disposition des armatures

L'enrobage (distance entre l'acier et le mur extérieur du béton) des armatures n'est pas respecté, par suite d'une erreur de lecture de plan de ferrailage ou par suite d'une insuffisance de cales assurant le maintien des barres à l'intérieur des coffrages.

La souplesse des cages d'armatures est alors défavorable sous la pression du béton et celles-ci peuvent se coller contre le coffrage.

Fissures structurelles

Ces fissures évoquées en fiche B1 (Fissures structurelles des maçonneries de maisons individuelles), sont des chemins préférentiels pour l'attaque des aciers par l'oxygène et l'entretien du processus électrochimique engendrant la formation des sels de fer (sels gonflants) en couches superposées sur le métal.

Les bonnes façons de faire

- Assurer une bonne compacité du béton : la compacité du béton sera influencée par le rapport eau/ciment, les additions minérales (cendres volantes, fumées de silice, laitiers, fillers, ...) et l'ajout d'adjuvants (plastifiant, réducteur d'eau, [accélérateurs](#) de prise, ...) pour réduire la porosité du béton durci.

Respecter les valeurs d'enrobage définies par les documents en vigueur (EC2, BAEL).

- Prendre en compte l'exposition de la structure : l'attaque de l'acier par l'oxygène est accélérée par la présence d'humidité. Les façades exposées à la pluie sont les plus vulnérables.
- Veiller à multiplier les cales de maintien des barres.
- Assurer une vibration suffisante au sein des coffrages.
- Protéger les surfaces avec un produit de cure approprié pour éviter la dessiccation par temps sec et chaud.

LES FONDAMENTAUX

- **Veiller à la compacité du béton. Respecter les valeurs d'enrobage.**
- **Vérifier le positionnement des armatures et leur bon maintien.**

STRUCTURES ET GROS ŒUVRE

Réparations des bétons

Réparation du béton

Après de longues décennies de construction, arrivent à présent les temps forts de la réparation. En effet, après de longs siècles où la pierre et le bois furent pratiquement les seuls matériaux utilisés dans les ouvrages d'art, le béton armé a pris sa place pour l'édification de nos ponts, viaducs, barrages et autres ouvrages de génie civil qui équipent, aujourd'hui, nos sociétés modernes.

Nous le devons à Louis Vicat pour la redécouverte du liant hydraulique mais également à Joseph Monier pour sa formidable idée d'y avoir associé du fer et plus tard de l'acier. Mais ils ne pouvaient pas imaginer qu'un siècle plus tard, ce couple « béton/acier » nous causerait bien des problèmes.

En effet, l'association de ce ciment artificiel avec le fer va générer des réactions physico-chimiques qui, provoquées et entretenues par l'air ambiant (principalement le CO_2), vont contribuer à la détérioration lente mais irrémédiable de ces ouvrages.

Le ragréage est donc l'une des nombreuses techniques permettant de protéger une surface de béton dégradée, mais aussi d'en corriger l'état géométrique.

Il est bon de rappeler la démarche de bon sens qui consiste à traiter d'abord la cause du désordre et ensuite ses conséquences. Le ragréage n'échappe donc pas à cette règle. Sur beaucoup de chantiers, le terme ragréage est devenu un terme usuel et employé souvent pour camoufler l'état d'une surface dégradée.

Il est important de distinguer le ragréage d'un parement neuf (très souvent la conséquence d'une mauvaise exécution du bétonnage) d'un parement ancien dont la dégradation a été provoquée par l'action électrochimique (effet de la carbonatation par exemple).

La lecture de ce cahier pratique rappellera les règles élémentaires qu'il convient d'observer et d'appliquer pour que cette technique puisse atteindre le résultat escompté.

Christian Tridon

Président du STRRES (Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures)

1 - PRÉPARATION DE L'OPÉRATION

1.1 - Les désordres

1.1.1 - Les manifestations des désordres

En allant du plus bénin au plus grave, il est possible de distinguer (Fig. 1) :

- les défauts sans conséquences importantes, tels que variations de teintes sur un même parement, efflorescences, taches noires, pommelages, fuites de laitance, bullage, marbrures, fissures superficielles, ... ;
- les défauts indiquant que l'évolution risque de se faire anormalement : carbonatation, ressuage, nids de cailloux, faïençage, ... ;
- les défauts indiquant une évolution plus ou moins avancée : écaillage, fissuration, délamination... ;

- les défauts traduisant une modification du fonctionnement de la structure et ayant donc une incidence structurale : fissuration importante, déformation excessive... ;
- les défauts structuraux indiquant la proximité d'un état limite ultime et nécessitant une restriction de l'usage de l'ouvrage, voire sa mise hors service.

1.1.2 - Processus de corrosion des armatures

Il est important de bien comprendre le processus qui conduit à la corrosion électrochimique des armatures. Il dépend de l'agent agressif mais, également, de l'importance de la fissuration du béton.

Les diagrammes théoriques de corrosion (équilibres potentiel - pH) ont été établis par Pourbaix pour une température de 25 °C et pour la pression atmosphérique normale : la température comme la pression agissent sur l'importance et la vitesse de la corrosion.

Ces graphiques indiquent les domaines où une réaction peut se produire, ceux où il y a immunité (pas de réaction possible) et ceux où il y a passivation (la réaction peut se produire dans certaines conditions) (Fig. 2). Lorsqu'une réaction peut avoir lieu, le diagramme de Pourbaix ne donne aucune indication sur la réalité de la corrosion ni sur sa vitesse.

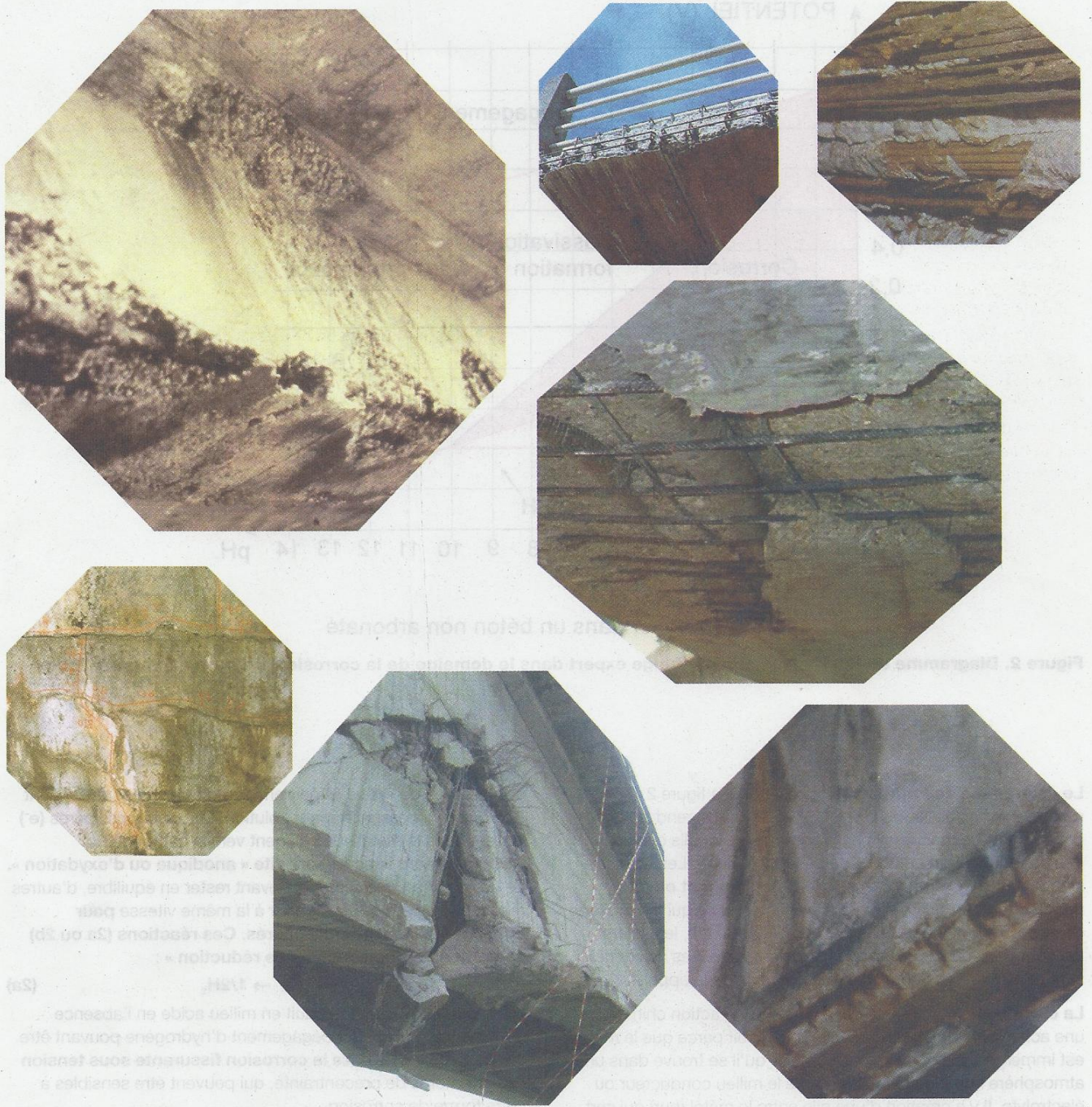


Figure 1. Différents désordres de structures en béton armé et précontraint.

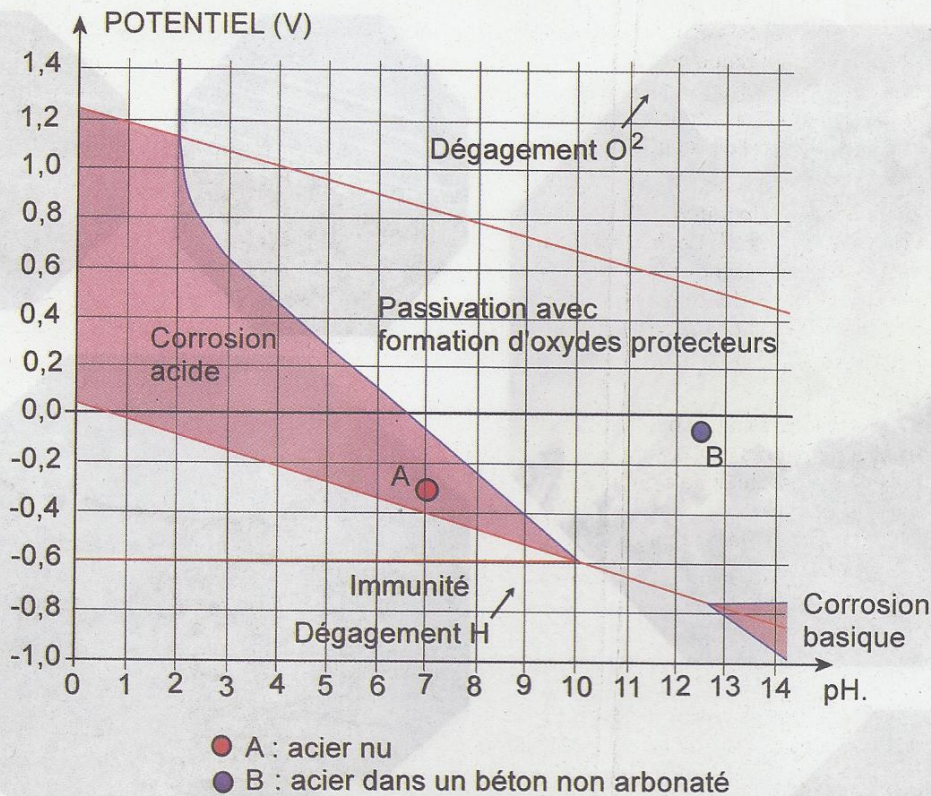
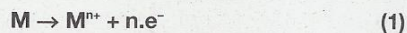


Figure 2. Diagramme de Pourbaix (ingénieur belge expert dans le domaine de la corrosion) pour un acier dans l'eau.

Le diagramme de Pourbaix [1]⁽¹⁾ présenté à la figure 2 montre que l'alcalinité du ciment (pH de 12 à 13) rend le milieu passivant (cela concerne le béton comme les coulis d'injection des conduits de précontrainte à base de ciment). Les aciers se trouvent dans une zone dite de recouvrement ou de passivation (formation d'oxydes protecteurs) ce qui les protège de la corrosion. Lorsque le pH baisse et atteint 9, les aciers passent dans une zone dite de corrosion acide. Les aciers ne sont plus passivés et une corrosion peut se développer.

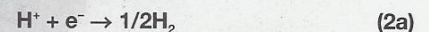
La corrosion électrochimique combine une action chimique et une action électrique. Elle se développe, soit parce que le métal est immergé dans un liquide, soit parce qu'il se trouve dans une atmosphère humide. Le liquide forme le milieu conducteur ou électrolyte. Il y a création d'une pile entre le métal (pur) qui sert d'anode et une impureté, par exemple, la calamine qui sert de cathode. Lorsque la pile fonctionne, la réaction (1) suivante se produit :



(1) Voir libellé de la référence bibliographique à la page « Pour en savoir plus », p. 26.

Les atomes de métal M perdent des électrons et deviennent des ions qui passent dans la solution. Les électrons libérés (e^{-}) restent dans le métal et se dirigent vers la cathode.

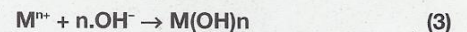
Cette première réaction est dite « anodique ou d'oxydation ». Le système métal-électrolyte devant rester en équilibre, d'autres réactions doivent se développer à la même vitesse pour consommer les électrons libérés. Ces réactions (2a ou 2b) sont dites « cathodiques ou de réduction » :



La réaction (2a) qui se produit en milieu acide en l'absence d'oxygène conduit à un dégagement d'hydrogène pouvant être naissant, ce qui favorise la corrosion fissurante sous tension des armatures de précontrainte, qui peuvent être sensibles à cette forme de corrosion.



En milieu non acide, les produits des réactions (1) et (2b) qui sont dans l'électrolyte se combinent entre eux pour former un hydroxyde :



Cet hydroxyde précipite sur le métal pour former une couche plus ou moins imperméable. Si cette couche est imperméable, elle bloque les diverses réactions. Cette réaction est dite de

recouvrement (anciennement dite de **passivation**) (Fig. 3). On utilise les termes de **polarisation anodique ou cathodique** suivant que le dépôt, qui bloque la réaction, se forme sur l'anode ou la cathode. Ultérieurement, si la couche passivante est détruite, en particulier, lorsque le pH diminue, la corrosion peut alors se développer.

1.1.2.1 - Effets de la carbonatation du béton

La **carbonatation** fait progressivement tomber le **pH à 9**. Les armatures se dépassivent et, s'il y a présence d'humidité et d'oxygène, la corrosion peut démarrer. Dans un milieu sec comme l'intérieur d'un bâtiment, la carbonatation peut être très importante, mais la corrosion inexistante.

1.1.2.2 - Effets des chlorures

Si la **concentration en ions chlorures**, au contact des armatures, dépasse les **seuils suivants** (seuils admis par la communauté scientifique), il y a chute brutale du pH et la corrosion des armatures se développe :

- au moins 0,4 % du poids du ciment de la formule du béton ;

- au moins de 0,04 à 0,1 % du poids du béton suivant son dosage en ciment.

REMARQUE

Ces valeurs ne doivent pas être confondues avec celles fixées dans le fascicule 65 du CCTG qui correspondent à une limitation des chlorures dans le béton d'un ouvrage à construire !

On notera aussi que lorsque la **teneur en chlorures est très élevée dans un béton** (ouvrage à la mer) (Fig. 3), il peut se produire une dissolution des armatures sans gonflement apparent (formation de rouille dite « verte »). Cette corrosion, par l'absence de toute manifestation visuelle, bien que rare, est redoutable.

REMARQUE

D'autres contaminants (iode, brome, fluor...) peuvent aussi provoquer la corrosion des armatures.

E (volts) **Diagramme de Pourbaix en présence d'ions Cl^-**

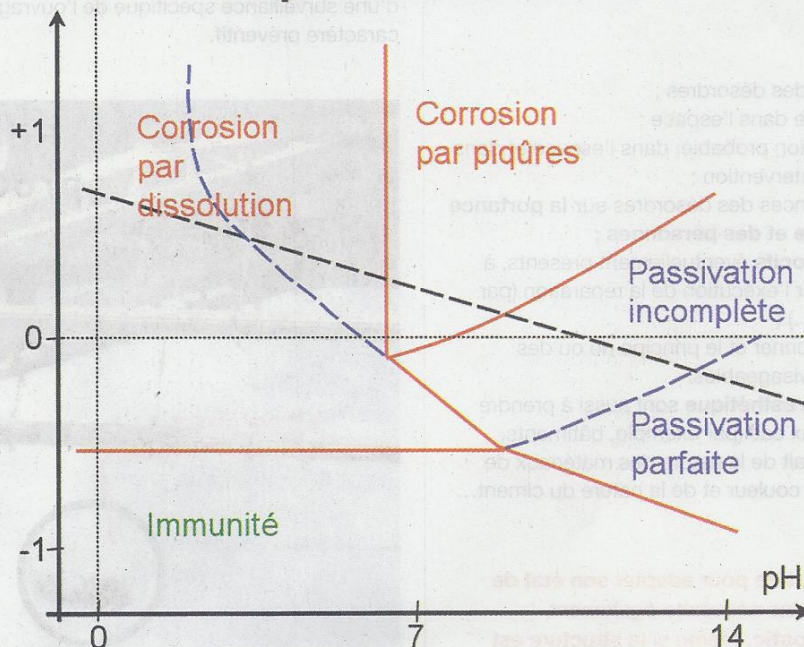


Figure 3. Diagramme de Pourbaix en présence de chlorures.

RÉPARATION DU BÉTON

Le plus souvent, une structure présente :

- des insuffisances d'enrobage de ses armatures localisées dans certaines zones,
- un béton dont les caractéristiques ne sont pas uniformes (par exemple, en matière de perméabilité et/ou de porosité) ;
- des parties plus ou moins exposées à l'environnement agressif et aux polluants (par exemple, sur les parties quasiment horizontales, l'humidité favorise le développement de micro-organismes générateurs d'attaques acides...).

Par voie de conséquence, **le développement de la corrosion n'est pas uniforme dans la structure**. Le long d'une armature, certaines parties jouent le rôle **d'anode vouée à la dissolution** et d'autres, le rôle **de cathode**. Les désordres apparaissent dans les zones anodiques (fissurations, délaminations...) comme le montre la figure 3.

ATTENTION !

En réparation classique par purge et ragréage, lorsque seules sont traitées les parties présentant des désordres, le pH de la zone réparée, de nouveau élevé, protège l'armature mais, dans les deux parties adjacentes, le pH du béton peut y être beaucoup plus faible. Il peut alors se développer une nouvelle pile de corrosion où l'ancienne anode devient cathode et inversement (inversion de polarité).

Quelques années après la réparation, apparaissent de nouveaux désordres (la réactivité de la pile est encore plus importante s'il y a encore des traces de corrosion juste à l'interface entre la partie réparée et les parties restées en état). Une telle réparation n'est pas forcément pérenne ! Il faut donc prendre des dispositions pour limiter une réapparition trop rapide des phénomènes de corrosion [2].

1.2 - Le diagnostic

Son objectif est de réaliser :

- l'identification de l'origine des désordres ;
- l'évaluation de leur étendue dans l'espace ;
- la prédiction de leur évolution probable, dans l'espace et dans le temps, en l'absence d'intervention ;
- l'estimation des conséquences des désordres **sur la portance et la sécurité de l'ouvrage et des personnes** ;
- la détection **de produits nocifs** éventuellement présents, à cause de leur incidence sur l'exécution de la réparation (par exemple, amiante, plomb...);
- la définition des suites à donner et le principe du ou des solutions de réparation envisageables.

Des considérations d'ordre esthétique sont aussi à prendre en compte dans de nombreux cas (par exemple, bâtiments, monuments historiques) du fait de la nature des matériaux de base, de leur texture, de leur couleur et de la nature du ciment...

ATTENTION !

Le renforcement d'une structure pour adapter son état de service à de nouveaux besoins nécessite également l'établissement d'un diagnostic, même si la structure est apparemment en bon état.

Plus une structure est âgée, plus le diagnostic doit être fouillé, en particulier parce qu'une corrosion des armatures peut être amorcée sans désordres apparents.

1.2.1 - Procédure à suivre

Elle découle alors des principes suivants (à adapter selon l'importance de l'ouvrage à réparer) [2, 3] :

- mise en œuvre **de mesures de sauvegarde** immédiates, si nécessaire, (purges, filets de protection, fermeture au trafic...) (Fig. 4) ;
- réalisation **d'une visite préliminaire** et de certaines opérations connexes (examen du dossier de l'ouvrage...) dans le but d'obtenir **un pré-diagnostic** ;
- mise au point **d'un programme d'investigation** ;
- lancement des opérations liées au diagnostic.

La réussite de l'opération demande évidemment que la personne chargée des opérations de diagnostic soit « **un expert** » (à ne pas confondre avec l'expert désigné par un tribunal, par exemple, dans le cas d'un contentieux) ayant une expérience professionnelle étendue dans le domaine des structures, dans celui des propriétés physico-chimiques des matériaux, dans celui de l'instrumentation des structures et des techniques d'auscultation ainsi que dans le domaine juridique. Bien entendu, dans les cas difficiles il pourra se faire assister de spécialistes de la mécanique des structures, de l'instrumentation des ouvrages, de la chimie des matériaux...

La mission de l'expert commence par la visite préliminaire, le pré-diagnostic et la rédaction du programme d'investigation et va au minimum jusqu'à la remise **du rapport de diagnostic**. Outre son rôle **de conseil du maître d'ouvrage**, l'expert doit assurer **la coordination** des différents intervenants (bureau d'études, laboratoire...).

Enfin cette procédure doit être conclue par la mise en place d'une surveillance spécifique de l'ouvrage après sa réparation, à caractère préventif.



Figure 4. Filets de protection sous un pont en béton armé ancien et désaffecté (crédit photo : D. Poineau).

1.3.2 - Remplacement du béton pollué et/ou désorganisé et les divers traitements de protection des armatures

La méthode de remplacement du béton risque d'être vouée à l'échec dans les deux cas suivants :

1. **Si la réparation est limitée aux seules zones où la corrosion se manifeste visuellement par des désordres.** En effet, si les armatures dans les autres parties de la structure en sont au début de la période de propagation (faible corrosion n'endommageant pas le béton), de nouveaux désordres vont apparaître par inversion de polarité (l'ancienne anode se transforme en cathode et vice et versa), même si un revêtement de protection est mis en œuvre à la fin du traitement. Dans un tel cas, il faut, soit procéder au remplacement total du béton pollué, soit appliquer en complément du traitement local une des méthodes décrites ci-après (déméralisation, ré-alkalinisation...).
2. **Dans le cas où les armatures corrodées ne sont pas dégagées totalement de leur gangue de béton** et ce pour les mêmes raisons que précédemment (bien entendu, si les armatures ne présentent pas de traces de corrosion, ce dégagement n'est pas nécessaire).

1.3.2.1 - Le remplacement du béton pollué

Cette méthode comporte au plus huit (8) phases (seules les phases 2, 4 et 6, voire 5 doivent obligatoirement être mises en œuvre, les autres sont applicables si besoin est) :

- **1^{re} phase** : si besoin est, **la structure est mise sur cintre.** Le cas se présente lorsque la stabilité et/ou la résistance de la structure risquent d'être mises en jeu par les travaux de la deuxième phase (par exemple, dégagement des armatures sur de grandes longueurs, enlèvement de la totalité du béton de certaines parties de la structure...).
- **2^e phase** : **les armatures corrodées sont débarrassées de la gangue de béton qui les entoure** au moyen de divers procédés et en respectant certaines précautions [2].
- **3^e phase** : si besoin est (corrosion avec réduction de section notable), **certaines armatures doivent être remplacées** (scellement d'armatures, soudure bout à bout...) afin de redonner à l'ossature sa capacité portante.
- **4^e phase** : **les armatures sont obligatoirement débarrassées de toute trace de corrosion** manuellement ou mécaniquement lorsque le procédé d'enlèvement du béton de la deuxième phase n'assure pas cette fonction. Cette phase (ou la deuxième phase) est suivie **d'un nettoyage** pour éliminer toutes les souillures, les poussières...
- **5^e phase** : les armatures, immédiatement après la **quatrième phase**, doivent recevoir **une protection contre la corrosion** sauf dans le cas où cette protection n'est pas strictement nécessaire (par exemple, en cas de remplacement complet du béton de la pièce) ou est incompatible avec le procédé de reconstitution de la géométrie de la pièce de la sixième phase (par exemple, le béton projeté).
- **6^e phase** : **le béton d'enrobage des armatures est reconstitué** de façon à retrouver la géométrie de la structure (ragréage manuel ou mécanique, béton coulé, béton injecté,

béton projeté...). Il est aussi possible d'augmenter le recouvrement des armatures, ce qui ré-alkalinise le béton et augmente sa résistivité.

REMARQUE

La mise en œuvre d'inhibiteurs de corrosion (mélangés au matériau de réparation ou appliqués à la surface du béton) peut être associée aux travaux de remplacement du béton pollué.

- **7^e phase** : **la structure est décentrée** après durcissement du matériau de réparation du béton d'enrobage.
- **8^e phase** : si besoin est, **une protection de surface** est mise en œuvre.

1.3.2.2 - Les divers traitements de protection des armatures

Il y a lieu de rappeler que les **armatures doivent être débarrassées de toute trace de corrosion** (Fig. 8), en particulier **lors d'une réparation localisée** à la jonction entre les parties reconstituées et les parties laissées intactes. En effet, la partie réparée, qui était une zone anodique, en bénéficiant d'un pH élevé (12 à 13), peut devenir une zone cathodique et **risque de former une pile de corrosion très réactive** avec la partie encore corrodée de l'armature mais enrobée d'un béton au faible pH. **Les divers traitements de protection des armatures ont pour but de limiter ce risque.**



Figure 8. Armatures débarrassées de toute trace de corrosion au pont de Limay (crédit photo : D. Poineau).

RÉPARATION DU BÉTON

La protection des armatures est aussi indispensable :

- lorsque l'enrobage, après réparation, ne peut respecter la valeur nécessaire pour résister à l'agressivité de l'environnement (se reporter, par exemple, aux enrobages prescrits par les règles de calcul du béton armé...),

RAPPEL

Certaines techniques de reconstitution d'enrobage, comme le béton projeté par voie sèche, sont incompatibles avec la mise en œuvre d'un traitement de protection des armatures contre la corrosion. En effet, dans le cas du béton projeté, la puissance d'impact de la projection détruit le traitement.

REMARQUE

Lorsque l'enrobage ne peut être respecté sur une grande partie d'une pièce ou lorsque la pièce est exposée à un environnement particulièrement agressif (par exemple, les corniches d'un pont en montagne), il est aussi possible de prévoir le remplacement des armatures concernées par des armatures galvanisées ou des armatures en acier inoxydable d'une nuance adaptée à l'environnement, voire des armatures composites.

- lorsque le produit de réparation ne peut apporter le pH indispensable au maintien de la passivation des armatures. C'est le cas des mortiers de réparation à base de résines synthétiques qui ont un pH voisin de 7.

La protection des armatures avant reconstitution de l'enrobage peut être assurée par (Fig. 9) :

- l'application sur la totalité de la circonférence de l'armature d'un revêtement actif au sens de la norme NF EN 1504-7, c'est-à-dire d'un revêtement contenant des pigments actifs permettant un contrôle des zones anodiques :
 - inhibiteurs anodiques (il existe une controverse sur leur effet à long terme),

- pigments métalliques ayant un potentiel d'électrode plus faible que l'acier et qui se sacrifient à son profit en cas de corrosion,
- l'application sur la totalité de la circonférence de l'armature d'un revêtement étanche au sens de la norme NF EN 1504-7, c'est-à-dire d'un revêtement isolant l'armature de l'eau interstitielle et empêchant ainsi « les cations Fe » de s'échapper et « les anions » entrants de se décharger :
 - revêtements à base de résines synthétiques, dont l'utilisation pour une réparation comme pour un ouvrage neuf est très délicate (Cf. Rappel).



Figure 9. Application d'un revêtement anticorrosion sur des armatures de béton armé (crédit photo : société Saint Gobain Weber France).

RAPPEL

La mise en œuvre d'un revêtement étanche sur les armatures (produit à base d'une résine synthétique) impose que l'armature soit totalement revêtue. Dans le cas contraire (mauvaise application ou blessure sur le chantier), il peut se former au droit d'une solution de continuité une corrosion par piqûre qui se développera vers l'intérieur par une corrosion dite « caverneuse » (pile d'aération différentielle) et qui entraînera la destruction de l'armature sous le revêtement de protection.

2 - MODES OPÉRATOIRES

2.1 - Préparation du support et des armatures

2.1.1 - Le relevé des défauts du support en béton et des armatures

Quelle que soit la méthode de réparation et/ou de renforcement ou de préservation et/ou de restauration de la passivité des armatures [2] le **marché** (contrat) impose sur le chantier un **relevé contradictoire de l'état du support et sa consistance, même si un relevé des défauts** doit normalement déjà figurer dans les pièces du marché.

Ce **relevé contradictoire de l'état du support** permet, en marquant et en métrant les défauts du béton, les fissures, l'état des armatures... **de contrôler le relevé du marché** et de fixer définitivement, après l'épreuve de convenance les techniques de préparation du support à mettre en œuvre.

Si le **diagnostic et l'expertise préalable** [2] n'ont pu avoir lieu, le **marché** doit fixer la **consistance des investigations et études** à entreprendre avant tous travaux. Dans un tel cas, il est conseillé de mettre le **diagnostic en tranche ferme et les travaux en tranche conditionnelle**, compte tenu des incertitudes sur les méthodes à appliquer et les quantités à mettre en œuvre.

ATTENTION !

Les travaux de réparation ou de renforcement d'un ouvrage précontraint nécessitent des précautions

particulières pour ne pas mettre en jeu la sécurité de la structure, tout particulièrement lors du repiquage et de l'enlèvement du béton (réduction de la section résistante mais conservation de la force de précontrainte).

2.1.2 - Préparation du support béton et des armatures et qualité du support à obtenir

2.1.2.1 - Préparation du support béton – Élimination du béton dégradé – Exigences de résultats

L'**entrepreneur** doit définir les **techniques** qu'il compte utiliser pour éliminer le béton dégradé ainsi que le matériel nécessaire, les dispositifs de protection et les moyens de contrôle prévus, ainsi que les conditions de recyclage des produits utilisés (par exemple, en cas de sablage ou lorsqu'un décapage chimique est prévu). Les lieux de stockage ou d'évacuation des gravais doivent être précisés.

Les **différentes méthodes d'élimination des bétons dégradés, de préparation des surfaces et de nettoyage** sont indiquées dans les tableaux 1 et 2 (Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13).

ATTENTION !

La préparation d'un support avec enlèvement du béton nécessite, en général, le recours à au moins deux techniques de préparation. Une première de dégrossissage relativement agressive et une autre de finition. Un nettoyage complémentaire est normalement nécessaire [5].

Tableau 1 : Techniques d'enlèvement du béton dégradé (synthèse des normes EN 1504-10 et P 95-101) (suite)

Méthodes Matériel	Efficacité	Inconvénients
Nettoyage du béton		
Eau à basse pression (< 18 MPa)	Bon enlèvement de la poussière, de la laitance, des résidus d'asphalte. Nettoyage des fissures, des joints.	Risques pour le personnel. Risque de trous si la surface du béton ne présente pas des caractéristiques homogènes.
Air comprimé	Nettoyage de poussière non adhérente, des fissures, des joints.	S'assurer que le compresseur ne dégage pas d'huile.
Marteau léger pneumatique à aiguilles multiples	Enlèvement des clous, fils de ligature, morceaux de bois incrustés dans le béton...	Possible création de microfissurations dans les granulats du béton.
Sablage à sec	Avec sables synthétiques agréés, bonne préparation des bétons et armatures.	Nuages de poussière polluant. Nécessité d'un personnel qualifié avec EPI (équipement de protection individuelle). Risques pour le personnel.
Sablage humide	Bonne préparation des surfaces de reprise.	Risque important de pollution des parties voisines. Prévoir une protection efficace.
Vapeur	Élimination de contaminants ayant pénétré dans le béton.	Risques pour le personnel.

Tableau 2 : Choix des techniques de préparation du support (d'après [8])

Technique de préparation	Traitement des défauts de planéité	Nettoyage des salissures peu adhérentes	Nettoyage des taches de gras	Amélioration de la rugosité superficielle	Élimination des micro-organismes
Égrenage, brossage et dépoussiérage		Oui			
Ponçage	Oui	Oui plus ou moins			
Lessivage avec détergents		Oui plus ou moins	Oui avec détergents et eau chaude		Oui avec biocides
Projection d'abrasifs à sec		Oui	Non	Oui	oui
Projection d'abrasifs par voie humide		Oui	Non	Oui	Oui
Projection d'eau sous pression (Cf. NF EN 1504-10) :					
Basse pression P ≤ 18 MPa		Oui	Oui avec détergent et eau chaude	Après essai de convenance pour déterminer la pression optimale	Oui avec biocides
Haute pression 18 MPa < P ≤ 60 MPa					
Très haute pression P > 60 MPa					



Figure 10. Résultat d'un décapage par sablage (crédit photo : D. Poineau).

Abrasif pour sablage



Figure 11. Sacs d'abrasif sans silice pour sablage (crédit photo : D. Poineau).



Figure 12. Résultats d'une hydrodémolition [2] (crédit photo : SETRA).

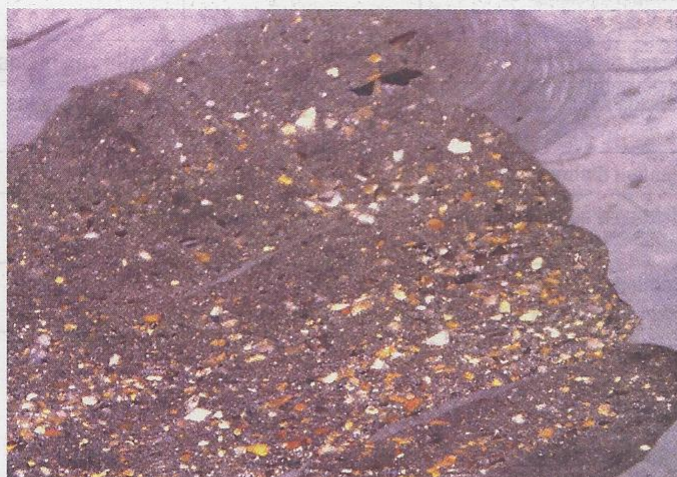


Figure 13. Résultat d'un décapage léger à l'eau sous pression (crédit photo : D. Poineau).

RÉPARATION DU BÉTON



Figure 17. Toutes les armatures corrodées doivent être dégagées (crédit photo : société Parexlanko).

Pour permettre une bonne mise en place et un bon compactage du matériau de réparation, la figure 18 donne la **distance minimale « d »** à respecter entre la barre et le support repiqué (Cg représente la dimension maximale du granulats). Cette distance « d » est au minimum égale à la plus grande des deux valeurs suivantes : 15 mm ou $Cg + 5$ mm.

Si le béton est contaminé par les chlorures, la distance minimale est à porter à 20 mm. De plus, **un lavage soigné** du béton et des armatures est à effectuer à l'eau sous pression (< 18 MPa).

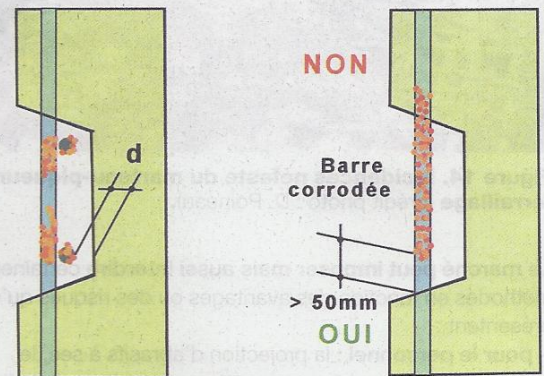
En l'absence de toute trace de corrosion, le béton carbonaté et/ou pollué par des chlorures peut rester en place **si le traitement fait appel aux méthodes électrochimiques** (sous réserve que la résistivité soit compatible avec la méthode) ou

lorsque la teneur en eau du béton est très faible (forte résistivité) et peut le rester (environnement sec).

Si la méthode de réparation prévoit la mise en place **d'un revêtement anticorrosion contenant des pigments actifs** (par exemple, de type inhibiteur) sur les barres, le décapage des barres doit atteindre le niveau Sa2 « nettoyage – décapage profond ».

Si la méthode de réparation prévoit la mise en place **d'un revêtement de protection** (film étanche à base de résines) sur les barres, le décapage des barres doit atteindre le niveau Sa2½ « nettoyage – décapage très profond ».

Dégagement des barres corrodées



Valeur de "d"

Le maxi de 15mm et $Cg + 5$ mm ou > 20mm en présence de chlorures

Figure 18. Distance minimale à respecter entre la barre et le béton lors de la préparation du support.

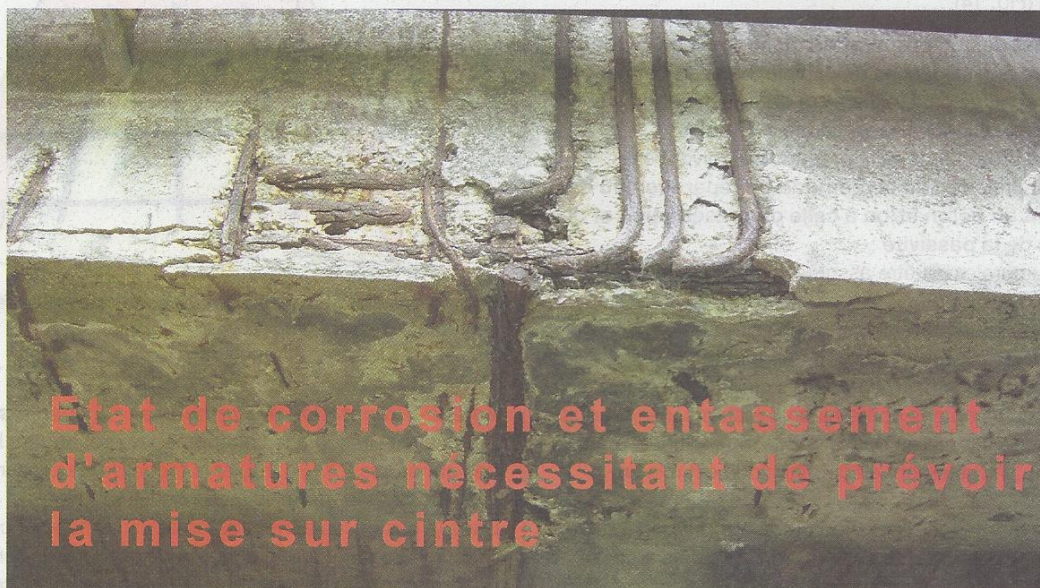


Figure 19. Entassement de barres (crédit photo : société Parexlanko).

Parfois, dans certaines parties d'une structure, la concentration des barres, le faible espacement entre les barres ou les paquets de barres (Fig. 19) rend **l'enlèvement du béton carbonaté et/ou pollué et le nettoyage très difficile** (les mesures du potentiel d'armature peuvent renseigner l'existence d'une corrosion). Dans un tel cas, il est conseillé, soit de mettre en œuvre une méthode électrochimique, soit de renforcer l'efficacité de la méthode de réparation au moyen de produits à base de liants hydrauliques (apport d'alcalins), par exemple, au moyen d'un revêtement d'étanchéité aux gaz et aux liquides. L'élimination des parties oxydées se fait par brossage métallique, repiquage, sablage, grenailage ou à l'eau sous très haute pression.

Dès que les traces d'oxydation ont disparu, **les quatre cas suivants se présentent :**

1. la mise en place **d'un revêtement anticorrosion sur les armatures est inutile** si le mortier ou le béton à base de liants hydrauliques de restauration est mis en œuvre par projection par voie sèche, cette technique étant incompatible avec tout revêtement sur les armatures ;
2. la mise en œuvre **d'un revêtement anticorrosion sur les armatures n'est pas forcément nécessaire** en l'absence de produits agressifs dans le béton (chlorures...) et si les armatures ne sont que peu ou pas corrodées sous réserve que le mortier ou le béton de restauration soit à base de liants hydrauliques et soit **mis en œuvre immédiatement et en épaisseur suffisante** pour assurer un recouvrement des barres conformes aux exigences d'environnement et si l'environnement n'est pas trop agressif ;
3. la mise en œuvre **d'un revêtement anticorrosion sur les armatures est nécessaire** si les armatures sont nettement corrodées ou si le mortier ou le béton à base de liants hydrauliques de restauration **ne peut être mis en œuvre immédiatement et/ou en épaisseur suffisante** pour assurer un recouvrement des barres conformes aux exigences d'environnement ;
4. la mise en œuvre **d'un revêtement anticorrosion sur les armatures est impérative** lorsque le mortier ou le béton est à base de liants organiques.

ATTENTION !

Les revêtements anticorrosion doivent être appliqués sur les armatures **sans déborder sur le béton**. Si l'entassement des armatures rend cette application très difficile, il est possible d'utiliser une barbotine à base de liants hydrauliques et de styrène butadiène. Dans un tel cas, il faut impérativement mettre en œuvre le mortier (ou le béton) destiné à reconstituer l'enrobage des armatures avant la prise de la barbotine.

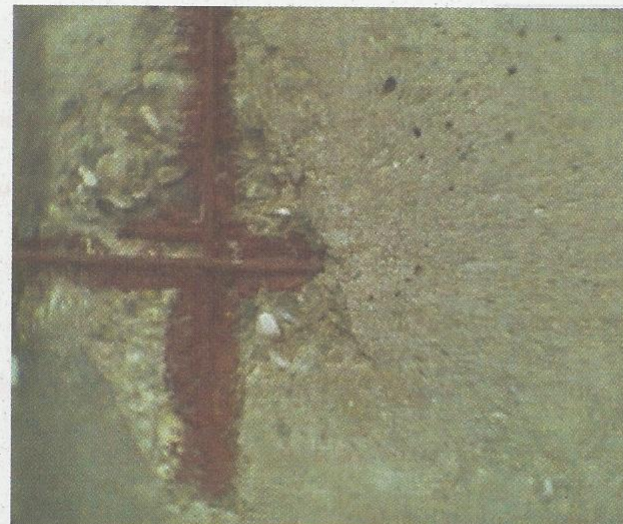


Figure 20. Mauvaise application d'un revêtement anticorrosion (crédit photo : D. Poineau).

RAPPELS

- En cas de recours à un revêtement anticorrosion non a la totalité de la surface de l'armature doit être recouvert le produit et en épaisseur suffisante. De plus, toute blessure du film est à proscrire pour éviter le développement d'une corrosion pernicieuse sous le film (Fig. 20). L'utilisation de ces types de produits est donc limitée en réparation.
- En cas de présence de rouille sur les parties des barres qui sont recouvertes de béton apparemment compact juste à côté d'une zone réparée par remplacement du béton pollué, un nouveau couple galvanique va se former entre la zone réparée, qui va jouer le rôle de cathode, et les deux zones non réparées, qui vont jouer le rôle d'anode (**phénomène appelé inversion de polarité**), avec développement de deux nouvelles zones de corrosion. Ce phénomène **d'inversion de polarité** va aussi survenir si les zones voisines d'une zone réparée sont proches d'être **entièrement carbonatées ou d'atteindre le taux de chlorures ou d'autres polluants limite**, c'est-à-dire qu'une corrosion généralisée va bientôt se développer. Dans un tel cas, la corrosion se développera, mais plus tardivement que dans le cas vu précédemment.

RECOMMANDATIONS

Ces phénomènes d'inversion de polarité ou de corrosion généralisée peuvent être retardés ou empêchés avec la mise en œuvre d'une ou de plusieurs des méthodes de réparation suivantes :

- un remplacement complet du béton carbonaté et/ou pollué et ce, sur toute la surface de la structure ;
- l'augmentation du recouvrement des armatures ;
- une ré-alkalinisation par diffusion avec la mise en place d'une couche de recouvrement en mortier ou béton sur toute la surface de béton carbonaté ;
- une application d'inhibiteurs de corrosion sur la surface du béton ;
- une déchloration, si nécessaire, suivie d'une ré-alkalinisation ;
- une protection cathodique ;
- un revêtement totalement étanche aux gaz ou aux liquides (à exclure dans le domaine du bâtiment car les murs doivent pouvoir laisser passer la vapeur d'eau).

Les armatures les plus attaquées par la corrosion, après mesure de leur diamètre résiduel, doivent être remplacées si la réduction de la section résistante (vis-à-vis de la flexion, du cisaillement...) est suffisamment marquée. L'enlèvement et le remplacement des armatures doivent être effectués sans provoquer de désordres, ni dans le béton (fissures, éclatements...), ni dans les armatures restantes (déformations, dépliages, ruptures, coupes sauvages...).

Le recours à la **soudure bout à bout et par recouvrement** (Fig. 21) est parfois nécessaire si les dispositions du ferrailage rendent difficile la mise en place d'armatures supplémentaires en recouvrement classique, sous réserve que les barres soient soudables. Les techniques de soudage à utiliser sont précisées dans les normes relatives aux armatures de béton armé. Des coupleurs ou manchons peuvent également être utilisés.



Figure 21. Exemple de soudures de barres de béton armé (crédit photo : société SIKA).

L'ajout de barres peut nécessiter leur **scellement** dans le béton support [9]. Il est à noter, que la préparation du support fait appel aux techniques visées au début de cet article, seul le

traitement des trous et/ou forages fait l'objet de prescriptions supplémentaires. Le fascicule de documentation **FD P 18-823** donne des recommandations pour le dimensionnement des scellements de barres d'armatures dans le béton.

2.1.2.3 - Nettoyage des surfaces - Exigences de résultats

Après la préparation du support béton et des armatures, il faut éliminer tous les résidus (poussières, souillures, morceaux de béton, parcelles d'anciens revêtements...). Cette opération de nettoyage des surfaces est réalisée immédiatement avant la mise en œuvre des mortiers et bétons ou de la couche d'accrochage.

L'entrepreneur doit s'assurer de la compatibilité entre la méthode de nettoyage prévue et les produits de réparation à mettre en œuvre en cas de restauration ou d'ajout de béton (support sec ou humide).

Les méthodes de nettoyage utilisables peuvent être :

- à sec : brossage, aspiration, soufflage à l'air déshuilé (un compresseur en bon état ne produit pas un air comprimé chargé d'huile) ;
- humide : lavage à l'eau, avec ou sans détergent.

Dans le cas du lavage à l'eau, les excédents d'eau doivent être éliminés, soit par soufflage à l'air déshuilé, soit par aspiration. De plus, avant l'application des produits, le support doit présenter un état de dessiccation ou d'humidification compatible avec les produits utilisés.

2.1.2.4 - Dispositions particulières liées à la nature des produits de réparation

2.1.2.4.1 - Produits à base de liants hydrauliques

Dans le cas de surfaces très poreuses ou à faible pourcentage de liant, il est nécessaire d'appliquer au préalable une couche de barbotine à base de liant hydraulique. L'eau de gâchage peut aussi être additionnée de latex, ce qui améliore l'adhérence. Dans le cas général, le support béton doit être saturé d'eau mais non ruisselant et l'application se fait sur un support à une température supérieure à 5 °C.

2.1.2.4.2 - Produits à base de liants hydrauliques modifiés

La notice du fabricant définit l'état de surface à exiger et, dans le cas de surfaces très poreuses ou à faible pourcentage de liant, il est nécessaire d'appliquer au préalable une couche de barbotine à base de liant hydraulique modifié.

Les armatures dégagées peuvent ne pas être traitées par un passivant après leur préparation, sauf lorsque l'ouvrage est situé en milieu agressif ou lorsqu'une couche d'accrochage initiale à base de polymère a été nécessaire.

2.1.2.4.3 - Produits à base de résines synthétiques

En règle générale le support béton doit être sec, sauf si la résine est compatible avec une surface humide.

Le fabricant doit préciser si une couche primaire d'accrochage est nécessaire.

Les armatures doivent obligatoirement recevoir un revêtement à pigments actifs anticorrosion compatible avec la résine synthétique utilisée.

2.2 - Réalisation d'une opération de restauration du béton

2.2.1 - Généralités

Il s'agit de la mise en œuvre de produits ou systèmes en faible ou en forte épaisseur appliqués manuellement ou mécaniquement. Les exigences générales développées ci-après pour les trois familles de produits ou systèmes sont reprises avec des compléments des deux normes de référence. Lorsque les réparations sont de faible importance en surface et volume, les produits et systèmes sont mis en œuvre manuellement. Dans le cas contraire la mise en œuvre est mécanisée.

La mise en œuvre est effectuée manuellement ou mécaniquement avec le matériel adapté au type de produit, à l'importance des travaux et à la finition recherchée.

Les matériels de mise en œuvre sont ceux fixés par la **fiche technique et la procédure de mise en œuvre de l'opération [2]**.

RAPPEL

Avant toute réalisation de la réparation, une protection contre le vent, le soleil (ensoleillement direct) ou la pluie est à mettre en place en fonction des règles de l'art et des recommandations de la fiche technique du produit ou du système. Toutes ces exigences sont reprises dans la procédure d'exécution.

Lorsque la structure à réparer a tendance à vibrer (par exemple, sous les effets des engins utilisés lors des travaux ou sous les effets du trafic car l'ouvrage doit être maintenu en service pendant tout ou partie de l'opération), il y a lieu de s'assurer que **les vibrations éventuelles** ne risquent pas de provoquer la décohésion du produit ou du système mis en œuvre. Ces vibrations sont particulièrement à redouter pour les mortiers et les bétons projetés. Dans un tel cas, **le marché** peut imposer lors de **l'épreuve de convenance** :

- la réalisation de plaquettes étalons, dont une partie est à fixer à la structure et l'autre à conserver sur le chantier dans les mêmes conditions thermiques et hygrométriques ;
- la mesure de l'intensité des vibrations, en particulier au droit des zones les plus sollicitées ;
- la mise en œuvre du produit ou du système sur les deux catégories de plaquettes étalons ;
- la mesure de l'adhérence du produit ou du système une fois durci (sondage au marteau, essai de traction directe...).

REMARQUE

La structure elle-même peut servir de plaquette étalon s'il est possible de réaliser l'épreuve de convenance avec ou sans vibration.

La simple restauration du béton d'une structure peut, dans certains cas, faire appel à **des techniques complémentaires** (collage de béton frais sur béton durci, injection de l'interface entre le produit de réparation et le support en béton...) [2].

RAPPEL

Si un revêtement (ou une barbotine) est appliqué sur les armatures, le mortier (ou le béton) de restauration doit être mis en œuvre en respectant le délai d'utilisation prévu par la notice d'emploi du produit de revêtement (pour une barbotine, avant la fin de prise de celle-ci).

2.2.1.1 - Mise en œuvre des produits à base de liants hydrauliques

Quel que soit leur mode de conditionnement et de préparation, les produits et systèmes sont mis en œuvre dans les délais les plus brefs après l'arrêt du malaxage. Le délai de mûrissement dépend de la nature du liant, de la température ambiante et de l'adjonction éventuelle d'un adjuvant.

Tout mortier ou béton n'ayant pu être utilisé dans les délais ou présentant un commencement de prise doit être rejeté. Il ne doit jamais être mélangé à du mortier ou du béton frais. **Le remalaxage est strictement interdit.**

En cas de mise en place dans un coffrage, le dimensionnement, la raideur et la fixation de celui-ci doivent être tels qu'aucun mouvement ne puisse se produire en provoquant une fissuration interne ou une décohésion avec ou sans décollage de la reprise. En l'absence de mise en œuvre d'un primaire, le support doit être humidifié, mais sans excès (le support doit présenter un aspect sombre et mat et non brillant).

Afin d'améliorer la liaison entre mortiers et supports, il peut être nécessaire, sauf s'il s'agit de béton projeté, d'appliquer un produit d'adhérence à base de résine ou de liants hydrauliques modifiés (PCC). L'application de mortier PCC est cependant délicate, en particulier dans les zones fortement armées. Les délais prescrits entre l'application du produit (ou « primaire ») d'adhérence et celle des mortiers ou bétons de reprise doivent être scrupuleusement respectés. Ces délais dépendent généralement de la température ambiante et de celle du support.

Dans tous les cas, il faut procéder à une cure soignée pour limiter au maximum la dessiccation et la fissuration du plan de reprise.

2.2.1.2 - Mise en œuvre des produits à base de liants hydrauliques modifiés (PCC)

Afin d'améliorer la liaison entre le mortier de réparation et le support, il est conseillé de prévoir l'application d'un produit d'adhérence à base de liant hydraulique modifié (PCC) sauf s'il s'agit de mortier ou béton mis en place par projection. En l'absence de mise en œuvre d'un primaire, le support doit être humidifié mais sans excès (le support doit présenter un aspect sombre et mat et non brillant).

La fiche technique du fabricant fixe les délais de mise en œuvre des produits après malaxage. Tout mortier ou béton qui n'a pas été mis en place dans les délais doit être rejeté.

Les coffrages éventuellement mis en place doivent être dimensionnés et fixés de telle façon qu'ils ne puissent pas être à l'origine de fissuration ou de décohésion préjudiciable.

Dans tous les cas, il faut procéder à une cure soignée pour limiter au maximum la dessiccation et la fissuration du plan de reprise.

2.2.1.3 - Mise en œuvre des produits à base de résines synthétiques (PC)

Il est rappelé que les produits de type « PC », qui ont des caractéristiques différentes de celles du béton support et n'apportent aucun alcalin passivant, sont utilisés lorsque les deux autres types de produits ne peuvent être mis en œuvre. Par exemple, en cas de :

- réparations locales sous l'eau ;
- nécessité d'une forte résistance aux agressions chimiques ;
- nécessité d'une très forte résistance à l'abrasion ;
- nécessité d'une très forte adhérence ;
- nécessité d'une montée en résistance très rapide ;
- mise en œuvre d'une cure impossible...

Lorsque le subjectile (ou support) est très poreux ou pauvre en liant ou lorsqu'il y a incompatibilité entre le produit rapporté et le subjectile, une couche d'accrochage doit être appliquée. Sa nature doit apporter la compatibilité avec le support et avec le produit rapporté. Le plus souvent, les notices techniques conseillent la mise en œuvre d'une couche d'accrochage sur le support. L'application de certains produits sur un support ruisselant est déconseillée.

La mise en œuvre des mortiers et bétons à base de résines synthétiques fait appel à un personnel d'exécution spécialement formé et qualifié pour l'emploi des résines.

La fiche technique du fabricant doit donner les valeurs de la durée pratique d'utilisation (DPU) des produits en fonction de la température initiale des composants et de la température du support. Il faut savoir que les réactions de polymérisation sont exothermiques (elles dégagent de la chaleur) et sont d'autant plus rapides que la température est plus grande (la chaleur est, en général, facteur d'accélération et le froid facteur de ralentissement).

Si le produit doit être mis en place dans un coffrage, il faut s'assurer que la résine (composant du mélange) ne risque pas d'adhérer au coffrage et prendre, si nécessaire, les mesures adéquates, par exemple en plaquant sur le coffrage un film isolant (en polyéthylène, par exemple).

Il faut aussi s'assurer que ce coffrage est suffisamment raide et bien fixé pour qu'aucun mouvement ne puisse provoquer de fissuration interne ou de décohésion du mortier ou béton de reprise.

Lorsque le produit est mis en place en plusieurs couches successives, il faut attendre le durcissement de la couche précédente et procéder à un nouveau traitement de surface pour obtenir l'adhérence nécessaire entre les couches.

2.2.2 - Application manuelle ou mécanisée des produits et systèmes de réparation des bétons en faibles épaisseurs

La faible épaisseur correspond normalement à la réalisation d'une seule couche, sauf si la mise en place se fait par projection avec une finition talochée.

2.2.2.1 - Cas des applications manuelles

Un traitement des armatures ayant subi une corrosion est le plus souvent nécessaire avant la mise en œuvre des produits et systèmes [2].

La mise en place des produits et systèmes à base de résines de synthèse se fait manuellement.

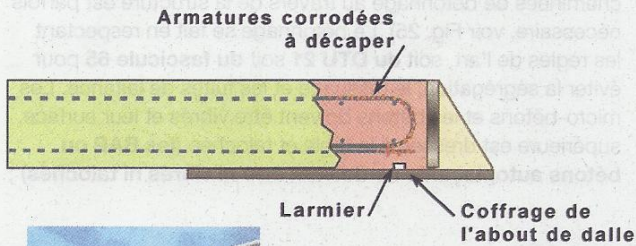
La mise en place des produits et systèmes sous forme de mortiers est réalisée classiquement à la truelle en serrant fortement pour éviter les bulles d'air et obtenir ainsi une bonne adhérence (Fig. 22). Pour le dressage des arêtes, une règle peut être utilisée.



Figure 22. Mise en place de mortier de réparation à la truelle (crédit photo : société Parexlanko).

La mise en place d'un coffrage peut faciliter la mise en place et le serrage du produit comme le montre la figure 23 sur la réfection de l'about d'une dalle.

About de dalle à réparer



Exemple de désorganisation d'une dalle en encorbellement

Figure 23. Principe de coffrage pour la réparation de l'about d'une dalle en encorbellement (crédit photo : société Parexlanko).

La finition des produits et systèmes à base de liants hydrauliques modifiés ou non est effectuée suivant l'aspect recherché à l'aide d'une taloche en plastique rigide, d'une taloche éponge, d'une taloche métallique, d'un bloc de polystyrène ou d'une lisseuse en acier inoxydable [5]...

La finition des produits et systèmes à base de liants organiques, est effectuée avec une lisseuse en acier inoxydable.



Balai débulleur

Figure 24. Mise en œuvre d'un mortier autonivelant (crédit photo : société SIKA).

Sur les surfaces horizontales, lorsqu'un produit autonivelant est utilisé, le réglage de l'épaisseur est obtenu par des plots matérialisant l'épaisseur de la couche à réaliser (les plots

doivent être enlevés avant la prise du mortier) et le passage d'une raclette d'égalisation ou une truelle (dans les angles). Pour l'évacuation des bulles on utilise un rouleau débulleur et égalisateur (Fig. 24).

Dans le cas d'utilisation d'un mortier de consistance normale, celui-ci est tiré à la règle et la finition se fait à la taloche.

RAPPEL

Après la mise en place des produits et systèmes à base de liants hydrauliques, une cure est indispensable.

2.2.2.2 - Cas des applications mécanisées

Les produits et systèmes à mettre en place sur des surfaces importantes sont, en général, à base de liants hydrauliques modifiés ou non. Le mortier ou micro-béton (le plus souvent prêt à l'emploi) à mettre en œuvre a pour but de reconstituer l'enrobage des armatures de la structure. La mise en place des produits se fait par projection [5, 10] :

- par voie mouillée, suivant les quantités à mettre en place, au moyen d'un pistolet à pot de projection ou d'une pompe à mortier ;
- par voie sèche, au moyen d'une machine à projeter et d'une lance de projection.

Si la surface totale de l'élément est traitée et si l'épaisseur de la couche de mortier ou béton mise en place est homogène et suffisante pour reconstituer l'enrobage, il n'est pas nécessaire de traiter les armatures avant la projection par voie humide, mais c'est souhaitable s'il y a eu corrosion.

ATTENTION !

La projection par voie sèche est incompatible avec la mise en place d'un revêtement sur les armatures ou d'un gobetis d'accrochage sur le béton.

Le réglage de l'épaisseur de la couche mise en place peut être obtenu au moyen :

- de coffrages matérialisant le coffrage de la pièce à restaurer ;
- d'une règle s'appuyant sur des guides.

Le mortier ou le micro-béton ainsi mis en œuvre peut être laissé brut de projection ou dressé à la règle avec précaution pour ne pas rompre la cohésion du matériau. Une finition talochée nécessite en voie sèche comme en voie humide la projection d'une couche de finition de faible épaisseur (< 2 cm) après durcissement de la couche précédente (cf. Fig. 6).

Pour obtenir une réparation durable, il faut procéder à une projection dans les règles de l'art [10].

RAPPEL

Après la mise en place des produits et systèmes à base de liants hydrauliques, une cure est indispensable.

2.2.3 - Application manuelle ou mécanisée des produits et systèmes de réparation ou de renforcement des bétons en fortes épaisseurs

Compte tenu du coefficient de dilatation thermique élevé des produits et systèmes à base de résines synthétiques, il est préférable d'utiliser des produits à base de liants hydrauliques.

Lorsque les réparations sont localisées et de **faible importance en surface et volume**, les produits et systèmes sont mis en œuvre **manuellement et il est fait appel à des produits prêts à l'emploi**.

Dans le cas contraire, **la mise en œuvre est plus ou moins mécanisée** et il est possible d'utiliser des produits et systèmes prêts à l'emploi ou fabriqués sur le chantier.

2.2.3.1 - Cas des applications manuelles

Un traitement des armatures est le plus souvent nécessaire avant la mise en œuvre des produits et systèmes [2].

La mise en place des produits et systèmes, sous forme de mortiers ou de micro-bétons, est réalisée classiquement à la **truelle** en serrant fortement pour éviter les bulles d'air et obtenir ainsi une bonne adhérence [2]. La mise en place s'effectue ici en plusieurs passes et en respectant l'épaisseur des couches en fonction de la position du support, ainsi que le délai entre les couches. Pour le dressage des arêtes, **une règle** peut être utilisée.

RAPPEL

En cas d'utilisation de produits et systèmes à base de résines synthétiques, une préparation de surface est à effectuer entre les couches successives avec mise en œuvre d'une couche d'accrochage.

Comme dans le cas précédent, **des coffrages** peuvent être utilisés, **la finition** est réalisée avec les mêmes outils et, sur les surfaces horizontales, il est également possible d'utiliser des produits autolissants.

RAPPEL

Après la mise en place des produits et systèmes à base de liants hydrauliques, une cure est indispensable.

Après durcissement du produit ou du système, **l'injection de l'interface** entre le support et ce produit peut être nécessaire [2].

2.2.3.2 - Cas des applications mécanisées

Une telle opération, le plus souvent, a lieu dans le cadre d'un renforcement structural. Il est donc nécessaire, avant de procéder à la mise en place du produit ou systèmes, de réaliser des opérations connexes [2].

Un traitement des armatures ayant été soumises à la corrosion est le plus souvent nécessaire avant la mise en œuvre des produits et systèmes, sauf dans le cas de la mise en place d'un mortier ou béton par projection par voie sèche.

La mise en place des produits et systèmes sous formes de micro-bétons ou de bétons peut être réalisée au moyen de plusieurs techniques :

- **par bétonnage classique** dans des coffrages, sous réserve que le coulage gravitaire soit possible (la création de cheminées de bétonnage au travers de la structure est parfois nécessaire, voir Fig. 25). Le bétonnage se fait en respectant les règles de l'art, soit **du DTU 21** soit **du fascicule 65** pour éviter la ségrégation, le ressuage et les fuites de laitance. Les micro-bétons et les bétons doivent être vibrés et leur surface supérieure est dressée à la règle et talochée (**les BAP ou bétons autoplaçants ne doivent être ni vibrés ni talochés**).

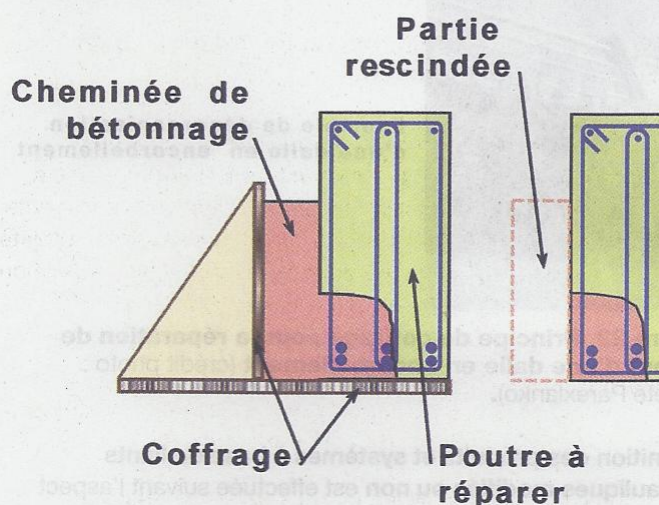


Figure 25. Principe de la cheminée de bétonnage pour la réparation d'une poutre.

- **par injection** (coulis, mortiers ou micro-bétons) **dans des coffrages étanches** mais munis d'évents pour l'évacuation de l'air (Fig. 26). Les coffrages peuvent être remplis de granulats pour obtenir un véritable béton. L'injection peut se faire :
 - soit par simple gravité au moyen d'une pompe à mortier béton,
 - soit sous pression au moyen d'une presse d'injection adaptée à la granulométrie du produit ;
- **par projection en voie mouillée** à l'aide d'une machine de projection adaptée aux volumes à mettre en place ;
- **par projection en voie sèche** au moyen d'une machine à projeter et d'une lance de projection.

Les techniques d'injection et de projection sont bien adaptées pour la mise en œuvre d'un béton en sous-face d'une structure. Le mortier ou le micro-béton mis en œuvre par projection peut être laissé **brut de projection ou dressé à la règle** avec précaution pour ne pas rompre la cohésion du matériau. **La couche qui vient d'être projetée peut être dressée à la règle avec précaution puis, après durcissement, subir un nettoyage avant la projection de la couche suivante.**

Réparations en sous-face Par injection de béton

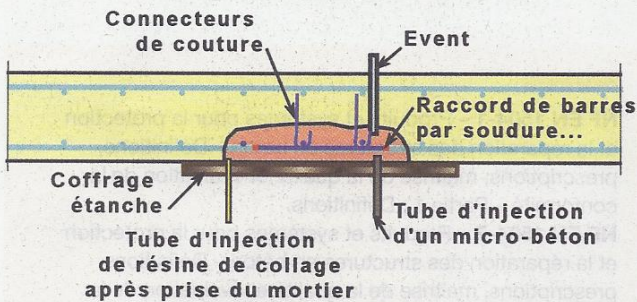


Figure 26. Principe de réparation par injection d'un mortier ou d'un micro-béton.

Une finition talochée nécessite en voie sèche comme en voie humide la projection d'une couche de finition de faible épaisseur (< 2 cm) après durcissement de la couche précédente. La norme NF EN 14487-2 relative à l'exécution du béton projeté détaille les règles de l'art à mettre en œuvre lors d'une projection pour obtenir une réparation ou un renforcement durable [10].

RAPPEL

Après la mise en place des produits et systèmes à base de liants hydrauliques, une cure est indispensable.

Après durcissement du produit ou du système, l'injection de l'interface entre le support et ce produit est très souvent nécessaire, une fissure se formant à cet endroit sous les effets des retraits [2].

CONCLUSION

« Réparer » et « ragréer » ont finalement, étymologiquement des origines assez proches. Il s'agit en effet de remettre en état un parement, de le rendre à nouveau « agréable ». Purger, repiquer, réarmer éventuellement et enfin reconstituer le parement défectueux représentent les phases élémentaires du ragréage.

Sous réserve que la cause qui a été à l'origine de ce désordre ait été traitée, le ragréage ainsi réalisé permettra d'interrompre ou tout au moins de ralentir le processus de dégradation de l'ouvrage ou d'une partie d'ouvrage.

Le ragréage fait appel à plusieurs techniques. Chacune d'elles doit être exécutée dans les meilleures conditions. Elles nécessitent, de la rigueur et de la compétence.

Un ragréage mal exécuté, que ce soit au niveau de la préparation du support ou de la phase de reconstitution, se révélera avoir été rapidement inutile.

L'acte de réparer est un acte chirurgical, réfléchi et précis. Comme lui, il doit être assuré par du personnel compétent et expérimenté, et comme lui, ses conséquences sont très importantes pour la survie de l'ouvrage.

Les structures de génie civil vieillissent, leurs pathologies sont de plus en plus nombreuses. Les métiers de la réparation ont dès lors une vraie légitimité. Ils doivent être reconnus comme tels. Chaque acteur doit faire preuve de compétence, le maître d'œuvre comme l'entrepreneur, mais également le maître d'ouvrage qui doit accepter d'en payer le juste prix.

Quel processus, mieux que la réparation, peut mettre en évidence l'intérêt même du concept de « développement durable » ?

Désordres affectant les balcons



Le constat

La pathologie des [balcons](#) regroupe deux familles de désordres :

- Les désordres structurels ont des conséquences importantes pouvant aller jusqu'à l'effondrement ;
- La seconde famille regroupe de nombreux désordres aux conséquences moins graves :
 - les fissurations secondaires,
 - les éclatements des nez de balcons,
 - la présence d'[efflorescence](#) et de stalactites en sous-face,
 - les infiltrations au travers de la dalle au droit de la façade ou au travers des seuils de portes-fenêtres.

Le diagnostic

Les risques d'effondrement

- **Dans la vie de l'ouvrage**

La cause la plus fréquente des effondrements provient de défauts de ferrailage. Il s'agit rarement d'une erreur de conception des plans de béton armé mais plutôt de lecture de ces plans.

On notera notamment les fissures en partie supérieure de la dalle et parallèles à l'appui : ces fissures concernent les dalles en [console](#) et sont l'indice, soit d'une insuffisance de section d'acier, soit d'un mauvais positionnement en hauteur des aciers. Elles favorisent la corrosion des aciers, aggravant ainsi le risque d'effondrement.

- **En cours de chantier**

Quelques effondrements en cours de chantier ont eu pour cause une incompatibilité entre l'étaieement (qui fait travailler le balcon en plancher), nécessitant des armatures en partie basse, et la phase finale (dans laquelle le balcon travaille en console) où les armatures doivent être en partie haute. Une fissuration, en sous-face, parallèle à la façade, en est généralement le signe précurseur.

Les autres pathologies

- **Les principaux types de fissures**

- Les fissures en partie supérieure de la dalle et perpendiculaires à l'appui (la façade), observées sur les balcons continus, dépourvus de joints de fractionnement ;
- Les fissures horizontales entre les garde-corps en béton et le balcon sont provoquées par le [retrait](#) du béton et la dilatation différentielle entre éléments diversement exposés à l'ensoleillement ;
- Les fissures verticales des garde-corps assez régulièrement réparties ont pour cause une insuffisance d'armatures horizontales et/ou un espacement trop important des joints de fractionnement. Les fissures verticales entre retours des garde-corps et façades peuvent être évitées en réalisant un espace (inférieur à 11 cm) entre ces deux éléments. Elles témoignent de phénomènes de dilatation/retrait différents entre ces éléments ;

- Les fissures horizontales à la jonction entre dalles et garde-corps ont pour cause une insuffisance d'armatures de couture dans le plan de reprise de coulage du béton.
- **L'éclatement des nez de balcons** provient d'une armature souvent de trop fort diamètre, mal enrobée par le béton.
- **Les efflorescences et stalactites** en sous-face de balcon sont provoquées par la percolation d'eau de pluie à travers la dalle du balcon.
- **Les infiltrations par seuils de portes-fenêtres** : ces défauts se produisent lorsqu'il n'y a pas de décrochement altimétrique entre le balcon et le plancher intérieur (cf. fiche pathologie D.3)

Les bonnes façons de faire

- Dimensionner les armatures conformément aux règles BAEL en fonction des charges prévues par la norme NF P06-001 ou les documents particuliers du marché (jardinière...). Chaque fois que possible, des joints de fractionnement devront être prévus. À défaut, des renforts d'armatures doivent être calculés et mis en œuvre.

Le positionnement des armatures côté tendu du béton et des joints de fractionnement est un élément primordial à vérifier afin d'éviter les pathologies les plus fréquentes.

- En cas d'utilisation de rupteurs thermiques, vérifier la conformité de leur domaine d'application (portée, sismique...) et de leur pose au regard de la préconisation dans l'Avis Technique concerné.
- Apporter un soin particulier à la réalisation des pentes des balcons pour permettre l'évacuation rapide des eaux, afin d'éviter leur percolation à travers le béton. En cas de balcons avec pente vers les façades, bien veiller à l'étanchéité (SÉL, DTU 43.1). Lorsque le sol du balcon est recouvert par un revêtement en carrelage scellé, prévoir une couche de désolidarisation drainante sous le mortier de pose.
- Étancher la surface pour limiter les infiltrations.
- Étudier particulièrement la géométrie des seuils, pour éviter les pénétrations d'eau. Dans le cas d'obligations en relation avec les conditions d'accessibilité se rapprocher du document de la DHUP « Carnet de détail balcons - terrasses - loggias ».
- Concevoir l'accès pour les personnes à mobilité réduite (hauteur maximum du seuil extérieur de 2 cm, traitement du rejet d'eau par caillebotis et dalles sur plot ou caniveau).
- Apporter une attention particulière, en l'absence de décrochement de dalle entre logement et balcon, aux reprises de bétonnage situées au niveau des seuils et voiles de façade.
- Respecter les enrobages et sections maximales d'acier en nez de dalle afin d'éviter les éclatements.
- Respecter les précautions propres aux zones sismiques.
- Veiller à limiter les effets des ponts thermiques.

LES FONDAMENTAUX

- **Veiller aux bons dimensionnement et positionnement des armatures.**
- **Prévoir les joints de fractionnement quand c'est nécessaire.**
- **Apporter une attention particulière à la pente, au traitement des seuils et des nez de balcons.**

Fissures "structurelles" des maçonneries de maisons individuelles



Le constat

Les murs extérieurs de structure des maisons individuelles sont souvent constitués de blocs de béton assemblés par des joints de mortier. Leur face extérieure est parfois recouverte d'un [enduit](#) hydraulique à base de ciment, confectionné sur place, ou d'un enduit monocouche, prêt à l'emploi (fabriqué industriellement).

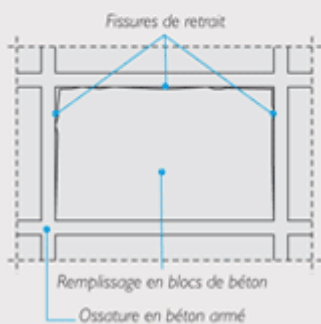
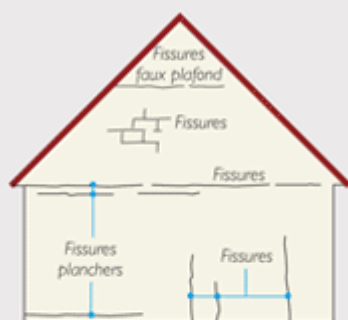
L'apparition de fissures structurelles de la maçonnerie liées au fonctionnement de la paroi, sous l'effet de certaines sollicitations, est une des formes des désordres qui peuvent affecter ce type de murs.

Ces fissures peuvent être traversantes et à l'origine d'infiltrations d'eau.

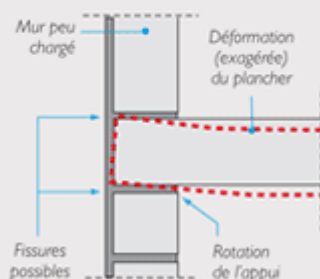
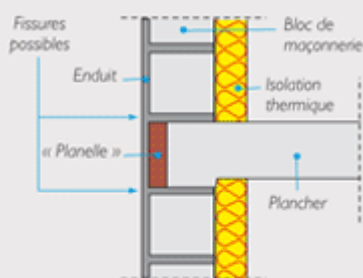
Le diagnostic

Les fissurations structurelles des murs extérieurs des maisons peuvent avoir plusieurs causes :

Schémas de fissures « structurelles »



Fissures de décollement dues à l'utilisation de blocs de béton trop frais



Schémas extraits de l'Étanchéité des façades de Louis Logeais - AQC

Le retrait « différentiel » des matériaux de la paroi

Juste après la mise en œuvre, le mortier de pose se rétracte en perdant peu à peu son eau, alors que les blocs de béton préfabriqués en usine, qui ont terminé leur [retrait](#), conservent leurs dimensions, d'où fissuration.

Le phénomène apparaît très rapidement après le montage, et son intensité est proportionnelle à l'excès d'eau de gâchage par rapport au dosage nécessaire pour une parfaite prise du mortier de pose.

Un temps très sec et l'utilisation de blocs non humidifiés au préalable aggravent le phénomène.

L'hétérogénéité des matériaux

Les variations de température ou d'humidité ont des effets différents selon les matériaux : lorsque la paroi est constituée de plusieurs matériaux (blocs de béton et planelles ou linteaux en béton coulé, par exemple), leur comportement différent face à la chaleur et/ou l'humidité peut créer des fissures à leurs jonctions.

La flexion et le retrait des planchers

Le plancher haut de la maison est généralement du type poutrelles-hourdis, réalisé à l'aide de poutrelles préfabriquées en béton armé, portant dans un seul sens, sur des longueurs pouvant dépasser 5 m. Un tel plancher peut subir une légère déformation de [flexion](#) dans sa partie centrale. Si la déformation ne nuit pas à la solidité du plancher, elle peut toutefois s'accompagner d'une rotation sur l'appui au niveau du mur de façade et d'un soulèvement de la rive du plancher. Ces mouvements peuvent engendrer une fissure horizontale sous l'arête de la base d'appui du plancher.

Le retrait du plancher en béton peut aussi causer un cisaillement en façade au niveau de l'appui.

L'absence ou la mauvaise mise en œuvre de chaînages horizontaux et verticaux

On les observe au niveau des planchers, des couronnements des murs, des angles saillants ou rentrants des maçonneries.

Une mauvaise réalisation des appuis, des allèges et des linteaux

On la constate au niveau des fenêtres.

Les bonnes façons de faire

- Utiliser des blocs de maçonnerie conformes aux normes.
- Prévoir des chaînages horizontaux au droit de chaque plancher et des arases de pignon.
- Prévoir des chaînages verticaux et des raidisseurs intermédiaires avec des blocs spéciaux.
- Limiter les flèches des planchers et prévoir une prolongation des durées d'étalement des planchers.
- Mettre une planelle ou un U au droit des abouts de planchers, de même nature que la maçonnerie.
- Réaliser les liaisons en forme de harpe entre murs perpendiculaires.
- Pour les maçonneries enduites, prévoir un enduit renforcé par des armatures débordant de 0,15 m au-dessus des planchers et de 0,15 m au-dessous du premier joint de la maçonnerie sous-jacente (voir article 6.3.1.1 du DTU 20.1 P1, articles 4.7 et 10.3.1 du DTU 26.1 P1-1).

LES FONDAMENTAUX

- **Veiller à la bonne exécution des appuis de planchers sur les murs porteurs.**
- **Bien mettre en œuvre les armatures de chaînage.**
- **Soigner les jonctions entre la maçonnerie et les éléments en béton armé et associés.**

Défauts d'étanchéité des façades en briques apparentes



Le constat

Bien que de technique typiquement traditionnelle, les façades en briques apparentes, notamment les plus anciennes, sont à l'origine de nombreux sinistres liés aux infiltrations d'eau.

Le diagnostic

Le type de mur est inadapté aux mauvaises conditions climatiques

Dans les constructions anciennes, l'étanchéité était réputée acquise par la seule épaisseur du mur de brique. En réalité, en raison de la relative porosité de la brique, les murs réalisés à partir de ce matériau sont sensibles à la durée d'exposition aux eaux de pluie. Le NF DTU 20.1, partie 3, définit 4 types de murs (type I à IV, par ordre de sensibilité décroissante à la pluie).

Cette classification se fonde pour l'essentiel sur les principes suivants :

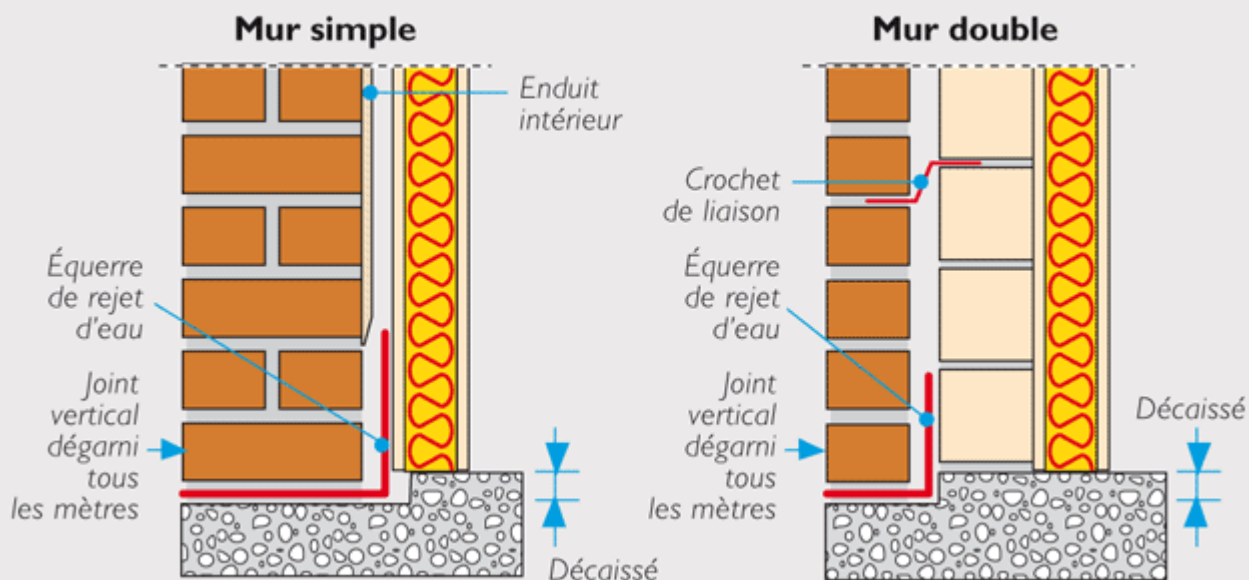
- **Mur sans coupure de capillarité dans son épaisseur (type I)** : ce mur ne comporte qu'une paroi de maçonnerie. Étanche dans sa masse, ce mur ne reçoit pas de revêtement extérieur d'imperméabilité. Sa conception est basée sur le principe qu'une certaine quantité d'eau, selon les conditions d'exposition, peut traverser la maçonnerie au bout d'un certain temps ;
- **Mur avec coupure de capillarité dans son épaisseur (type IIa, IIb, III)** : de conception plus récente, il comporte deux parois distinctes séparées par une lame d'air (mur double), ou une seule paroi avec en intérieur un isolant non hydrophile (type IIa) et/ou une lame d'air continue. Le principe de ce mur est de rejeter l'eau qui pénètre éventuellement au travers de la première paroi : l'isolant non hydrophile ou la lame d'air joue alors le rôle de barrière à la pénétration de l'eau.

L'exigence du type de mur en fonction de l'exposition à la pluie de la façade se trouve dans la partie 3 du NF DTU 20.1.

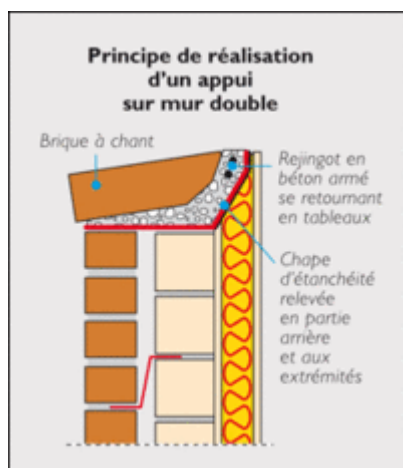
Des erreurs de conception au niveau des points singuliers

- **En pied de mur**
Mur type I ou IIa : hormis la coupure anticapillaire horizontale habituelle pour toutes les maçonneries, aucune disposition particulière n'est exigée réglementairement. Mais, compte tenu du principe de fonctionnement de ce mur, l'eau s'accumule en partie basse du mur par simple effet de la gravité. Il est donc vivement recommandé de prévoir des dispositifs l'empêchant de pénétrer à l'intérieur des bâtiments : décaissé de dalle (3 cm minimum) ou profilé en équerre.
Mur type IIb, III : les eaux d'infiltration se retrouvent en partie basse de la lame d'air. Les dispositifs avec décaissés et profilés rigides de rejet d'eau, associés à la création de joints verticaux dégarnis en partie basse de la paroi extérieure, sont trop souvent oubliés.

Exemples de dispositions en pied de mur



- **Ouvertures dans les murs**



Cas des appuis en briques : réalisés à partir de briques à chant posées avec une faible pente, ils sont forcément le siège privilégié d'infiltrations. Une étanchéité complémentaire en partie

inférieure est indispensable. Dans le cas particulier du mur double, l'absence d'étanchéité conduira inévitablement à des infiltrations puisque ces briques à chant chevauchent la lame d'air.

Cas des appuis en béton : le point faible de ces ouvrages se situe aux extrémités. En raison des épaisseurs d'isolant intérieurement employées, le [rejingot](#) se trouve souvent en retrait de la face intérieure du mur. Il est impératif qu'il dépasse d'au moins 4 cm les tableaux de part et d'autre de l'ouverture en se retournant sur le mur.

Une qualité d'exécution défectueuse

- La composition du mortier de [hourdage](#) doit respecter le bon dosage en liant.
- Les joints doivent être pleins et serrés. Le respect des règles de l'art est particulièrement déterminant sur la qualité finale de l'étanchéité des murs.

Les bonnes façons de faire

- **Au niveau de la conception**
 - Bien choisir le type de mur en fonction des conditions climatiques et des expositions ;
 - Veiller à la qualité des briques : le marquage CE, obligatoire, n'est pas à lui seul un critère de qualité ;
 - Définir les points de détails.
- **Au niveau de l'exécution**
 - Veiller au remplissage correct des joints ;
 - Veiller à la réalisation d'un dispositif efficace de rejet des eaux en pied de mur, ce dispositif devant se retrouver au niveau de chaque plancher d'étage ;
 - Traiter les points singuliers tels que les appuis de baie ou les tableaux ;
 - Respecter la lame d'air (murs de type IIb et III).

LES FONDAMENTAUX

- **Bien choisir le type de mur.**
- **Remplir correctement les joints.**
- **Veiller à la réalisation d'un dispositif efficace de rejet des eaux éventuelles.**

Termites



Le constat

Les [termites](#), insectes [xylophages](#), s'attaquent au bois et à tous les matériaux cellulosiques. Ils étendent leur colonisation (16 départements concernés en 1953, plus de 50 actuellement). Des règles et des techniques existent pour les combattre.

Le diagnostic

Les termites se nourrissent de la [cellulose](#) contenue dans le bois, le carton, le papier, les textiles. En nombre, ils construisent des cordonnets et ils creusent des galeries. Cette dernière action peut fragiliser, voire plus rarement détruire complètement, un élément d'une bâtisse comme par exemple le plancher bas du RDC sur cave.

Ces insectes sociaux aiment la chaleur, l'humidité et l'obscurité.

Le climat artificiel des villes leur convient bien : chauffage, isolation des bâtiments, réseaux souterrains...

Les termites ne s'attaquent pas qu'au bâti ancien.

Si les bois de structure sont obligatoirement traités avant leur pose contre les ILX (insectes à larves xylophages) et, dans les départements concernés, également contre les termites, ce n'est pas le cas des autres matériaux (isolant...).

Les bonnes façons de faire

Respecter l'article L133-6 du code de la Construction et de l'habitation et le décret 2006-1114 du 05-09-2006 relatif aux diagnostics techniques immobiliers .

Dans les zones classées par arrêté préfectoral en tant que zones infestées par les termites

- S'il y a démolition totale ou partielle d'un bâtiment, les bois et matériaux contaminés doivent être incinérés ou traités ;
- En cas de vente d'un immeuble, la clause d'exonération de garantie pour vice caché n'est valable qu'à condition d'annexer un état relatif à la présence de termites (moins de 6 mois CCH R.271-5) à l'acte de vente. Le rapport de constat doit être conforme au modèle de rapport défini par l'arrêté du 29.03.2007 ;
- L'état relatif à la présence de termites doit être établi par un diagnostiqueur certifié dans les conditions prévues par l'arrêté du 30-10-2006 ;

- Le maire peut enjoindre les propriétaires d'immeubles de procéder, dans les six mois, à la recherche de termites ainsi qu'aux travaux préventifs et d'éradication nécessaires.

Bien traiter les bâtiments neufs à titre préventif

Pour les bâtiments neufs, le décret 2006-591 du 23-05-2006 impose des règles dans la totalité des départements termités.

- **Traitement des bois**

L'utilisation de bois de structure résistants aux termites, naturellement durables ou à durabilité conférée par un traitement (cf. fiches bois du CIRAD).



- **Interface sol et bâtiment**

La mise en place d'une barrière de protection entre le sol et le bâtiment à l'aide de l'une des solutions suivantes, (de préférence certifiées ou sous Avis Technique) :

- barrière physique ;
- barrière physico-chimique ;
- ou un dispositif de construction contrôlable (sauf pour les départements d'outre-mer, où ce dispositif n'est envisageable qu'en complément de l'une des deux techniques précédentes).

NB : Dans le cas de barrières physiques ou physico-chimiques, la certification «valide » l'aspect barrière physique ou physico-chimique du produit ou système, et l'Avis Technique « valide » sa mise en œuvre et son intégration dans l'ouvrage.

L'arrêté du 16 février 2010 rend obligatoire à compter du 01/06/2010 la fourniture d'une notice technique (annexée à l'arrêté) précisant les dispositifs retenus, au plus tard à la réception des travaux.

Le fascicule de documentation NF X40-501 « Protection des constructions contre les termites en France » rappelle que le propriétaire ou l'usager doit respecter quelques conditions minimales d'hygiène et de salubrité dans le bâtiment et ses alentours :

- **Empêcher la formation de trous d'eau stagnante ;**
- **Faire attention aux dépôts de bois, de vieux cartons... à même le sol.**

Dans les départements infestés par les termites, une vigilance périodique est recommandée pour localiser les signes tangibles d'une attaque.

Le traitement curatif selon les référentiels des certifications CTB-A+ et QUALIBAT 1523

- **Le traitement chimique**

Le traitement des murs s'effectue par injection de produits biocides dans des trous forés préalablement dans la maçonnerie.

Le traitement des bois repose sur des opérations mécaniques suivies de la mise en place de chevilles spéciales, d'injections de produits insecticides dans le bois et d'un traitement de pulvérisation en surface.

- **Les pièges**

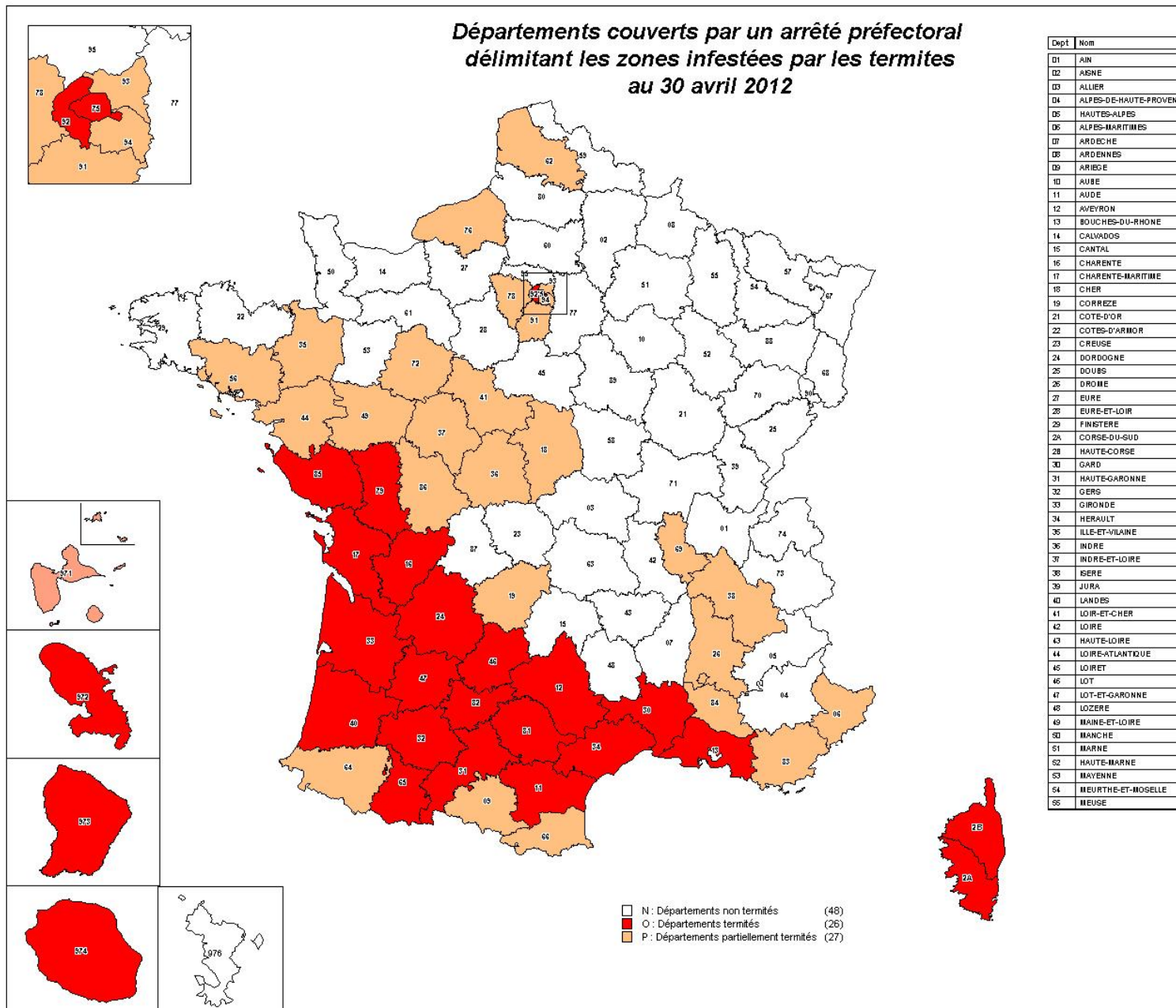
Positionnés à l'intérieur des habitations sur les points de passages/attaques de termites diagnostiqués, et autour de la construction à intervalles réguliers, les pièges vont intoxiquer progressivement l'ensemble de la colonie.

La marque CTB-A+ garantit le suivi des prescriptions techniques pour le traitement préventif et curatif des ouvrages bâtis (bois en œuvre et autres matériaux) et de leur environnement immédiat.

La qualification Qualibat 1523 est spécifique au traitement curatif contre les termites.

LES FONDAMENTAUX

- **Bien traiter les bois.**
- **Mettre en place une barrière de protection entre le sol et le bâtiment à l'aide d'une solution de préférence certifiée ou sous Avis Technique.**



STRUCTURES ET GROS OEUVRE

Les défauts de traitement des bois



Le constat

En plus des termites deux groupes principaux d'agents biologiques causent des dégradations observées sur les bois en œuvre.

Il s'agit des insectes à larves [xylophages](#) (ILX), des champignons.

- L'attaque des ILX se caractérise généralement par les trous d'envol de l'adulte en surface du bois et des vermoulures (déjections) accumulées dans les galeries creusées par la larve
- Le développement des champignons sera mis en évidence par :
 - une dégradation de l'aspect du revêtement du bois ;
 - une zone attaquée de moindre résistance que l'on peut tester avec un instrument comme un tournevis ou un couteau.
- L'attaque des termites est sournoise car les insectes sont capables de circuler dans d'autres matériaux de construction (isolant, gaines électriques) pour se rendre vers les pièces de bois.

Le diagnostic

Insectes à larves xylophages

L'essence de bois attaquée, le diamètre et la forme du trou d'envol et des galeries, la forme et la granulométrie des vermoulures, donnent des indications quant à l'identité de l'insecte à l'origine des dégâts.

Les insectes les plus fréquemment rencontrés sont les capricornes, les vrillettes et les lyctus.

Champignons de pourriture

Le développement de champignons dans le bois est la conséquence du maintien d'une humidité relative supérieure à 20 % dans tout ou partie d'éléments de construction en bois ou à base de cellulose (carton). Les filaments mycéliens se développent alors en surface puis à l'intérieur du bois afin de trouver leur nourriture, pour ne laisser derrière eux que de la pourriture.

La pourriture prend plusieurs formes selon son aspect visuel :

- pourriture cubique (bois clivé en cubes, aspect sombre, « brûlé » du bois) ;
- pourriture fibreuse (bois très clair, défibrillé) ;
- pourriture molle (bois d'aspect ramolli ou clivé en petits cubes peu profonds).

Les bonnes façons de faire

Concevoir l'ouvrage

De façon à éviter l'exposition prolongée à l'eau

- Par les rejaillissements : arase sanitaire de 20 cm minimum entre une pièce de bois (poteau ou bardage) avec le sol.
- Par un rejet des eaux : bavettes, couvertines.

En choisissant des matériaux adaptés

- Bien évaluer la classe d'emploi des bois (en fonction des 4 paramètres suivants : la salubrité de la conception, les conditions climatiques d'humidification, l'orientation du ou des vents de pluie dominants, la massivité des pièces de bois).
- Bien choisir l'essence (durabilité naturelle, ou [imprégnabilité](#) suffisante pour la durabilité conférée).
- Bien choisir le traitement préventif (produit et procédé de traitement) contre les agents pathogènes (termites, champignons/moisissures, ILX).
- Adapter les finitions à l'usage.

La durabilité et l'imprégnabilité

Les classes de risques d'après la norme NF EN 335-2 :

Classes	Situation en service	Exemples d'emplois	Zone sensible	Risques biologiques
1	Bois sec, humidité toujours inférieure à 20 %	Menuiseries intérieures à l'abri de l'humidité : parquets, escaliers intérieurs, portes, lambris...	2 mm	<ul style="list-style-type: none">• insectes• termites, dans les régions infestées
2	Bois sec mais dont l'humidité peut occasionnellement dépasser 20 %	Charpente, ossatures correctement ventilées en service	2 mm	<ul style="list-style-type: none">• insectes• champignons de surface• termites, dans les régions infestées
3	Bois à une humidité fréquemment supérieure à 20 %	Toutes pièces de construction ou menuiseries extérieures verticales soumises à la pluie : bardages, fenêtres ... Pièces abritées mais en atmosphère condensante	Toute la partie humidifiable de la zone non durable naturellement	<ul style="list-style-type: none">• pourriture• insectes• termites, dans les régions infestées
4	Bois à une humidité toujours supérieure à 20 %	Bois horizontaux en extérieur (balcons, coursives ...) et bois en contact avec le sol ou une source d'humidification prolongée ou permanente	Zone non durable naturellement	<ul style="list-style-type: none">• pourriture• insectes y compris termites
5	Bois en contact permanent	Piliers, pontons, bois immergés	Zone non durable naturellement	<ul style="list-style-type: none">• pourriture• insectes• térébrants

	avec l'eau de mer			marins
--	-------------------	--	--	--------

La durabilité et l'imprégnabilité (EN 350-2)

Classification de la durabilité naturelle vis-à-vis des champignons lignivores

La durabilité donnée dans les tableaux ne concerne que le bois parfait ; il convient de considérer l'aubier de toutes les essences de bois comme appartenant à la classe de durabilité 5 (non durable).

Classes de durabilité	Description
1	très durable
2	durable
3	moyennement durable
4	faiblement durable
5	non durable

Classification de la durabilité naturelle vis-à-vis des capricornes et des vrillettes

Pour le capricorne, seuls les résineux sont concernés.

Classes de durabilité	Description
D	durable
S	sensible

Classification de la durabilité naturelle vis-à-vis des termites

La durabilité ne concerne que le bois parfait ; l'aubier de toutes les essences de bois est sensible. "Durable" n'implique pas une résistance totale (voir EN 350-1).

Classes de durabilité	Description
D	durable
M	moyennement durable
S	sensible

Classification de la durabilité naturelle

Classe d'imprégnabilité	Description	Explication
1	Imprégnable	Facile à traiter, le bois scié peut être pénétré complètement avec un traitement sous pression, sans difficulté
2	Moyennement imprégnable	Assez facile à traiter ; habituellement une pénétration complète n'est pas possible, mais après 2 ou 3 h de traitement sous pression, une pénétration latérale de plus de 6 mm peut être atteinte dans les résineux et une large proportion des vaisseaux peut être pénétrée dans les feuillus
3	Peu imprégnable	Difficile à traiter, 3 à 4 h de traitement sous pression ne peuvent donner plus de 3 à 6 mm de pénétration latérale
4	Non imprégnable	Virtuellement impossible à traiter ; peu de produit de préservation absorbé même après 4 h de traitement sous pression. Pénétrations latérale et longitudinale minimales

Durabilité et imprégnabilité des bois résineux (EN 350-2)

	Champignons lignivores	Capricorne	Vrillette	Termite	Imprégnabilité	
	Durabilité naturelle du bois parfait	Durabilité naturelle de l'aubier	Durabilité naturelle de l'aubier	Durabilité naturelle du bois parfait	du bois parfait	de l'aubier
Douglas	moyennement à faiblement durable	sensible	sensible	sensible	non imprégnable	moyennement à peu imprégnable
Epicéa	faiblement durable	sensible (1)	sensible (1)	sensible	peu à non imprégnable	peu imprégnable
Mélèze	moyennement à faiblement durable	sensible	sensible	sensible	non imprégnable	moyennement imprégnable
Pin maritime	moyennement à faiblement durable	sensible	sensible	sensible	non imprégnable	imprégnable
Pin sylvestre	moyennement à faiblement durable	sensible	sensible	sensible	peu à non imprégnable	imprégnable
Pin noir et laricio	faiblement durable	sensible	sensible	sensible	peu à non imprégnable	imprégnable
Sapin	faiblement durable	sensible (1)	sensible (1)	sensible	moyennement à peu imprégnable	moyennement imprégnable
Western red cedar	durable	sensible	sensible	sensible	peu à non imprégnable	peu imprégnable

Le bois parfait n'est, en général, pas sensible au capricorne et à la vrillette.

(1) Pour ces essences, le bois parfait est sensible, comme l'aubier.

Durabilité et imprégnabilité des feuillus européens (EN 350-2)

	Champignons lignivores	Capricorne	Vrillette	Termite	Imprégnabilité	
	Durabilité naturelle du bois parfait	Durabilité naturelle de l'aubier	Durabilité naturelle de l'aubier	Durabilité naturelle du bois parfait	du bois parfait	de l'aubier
Charme	non durable	Le capricorne n'attaque pas les feuillus	sensible	sensible	imprégnable	imprégnable
Châtaigner	durable		sensible	sensible	non imprégnable	moyennement imprégnable
Chêne	durable		sensible	sensible	non imprégnable	imprégnable
Erable	non durable		sensible	sensible	imprégnable	imprégnable
Frêne	non durable		sensible	sensible	moyennement imprégnable	moyennement imprégnable
Hêtre	non durable		sensible	sensible	imprégnable	imprégnable
Orme	non durable		sensible	sensible	peu imprégnable	imprégnable
Peuplier	faiblement		sensible	sensible	moyennement à peu	peu imprégnable

durable

imprégnable

Durabilité et imprégnabilité des feuillus tropicaux les plus courants (EN 350-2)

	Durabilité naturelle du bois parfait				Imprégnabilité du bois parfait
	Champignons lignivores	Capricorne	Vrillette	Termite	
Acajou d'Afrique	moyennement durable	Les feuillus ne sont pas attaqués pas le capricorne	Faute de connaissances suffisantes, la norme ne fournit pas d'indications sur la durabilité des essences tropicales vis-à-vis des vrillettes. En règle générale, on peut toutefois considérer que le bois parfait de ces essences n'est pas sensible à ces insectes	sensible	non imprégnable
Azobé	durable			durable	non imprégnable
Doussie	très durable			durable	non imprégnable
Framiré	durable à moyennement durable			sensible	non imprégnable
Iroko	très durable à durable			durable	non imprégnable
Moabi	très durable			durable	peu à non imprégnable
Movingui	moyennement durable			moyennement durable	non imprégnable
Niangon	moyennement durable			moyennement durable	non imprégnable
Okoumé	faiblement durable			sensible	peu imprégnable
Ramin	non durable			sensible	imprégnable
Samba	non durable			sensible	peu imprégnable
Sapelli	moyennement durable à durable			moyennement durable	peu imprégnable
Sipo	moyennement durable			moyennement durable	non imprégnable
Teck	très durable			moyennement durable	non imprégnable

Réaliser l'ouvrage

- Le drainage des assemblages, qui ne doivent pas constituer des pièges à eau, est indispensable.
- Supprimer les pièges à eau éventuels.
- Choisir le produit de finition adapté (lasure, peinture microporeuse, ...).

Tous les bois de structure doivent être traités contre les ILX, après coupe et taille.

Les DTU apportent les préconisations minimales pour définir les ouvrages en bois et pour supprimer tout risque d'exposition prolongée à l'eau : ne pas enfermer le bois et s'assurer que l'eau pourra s'évacuer rapidement sans s'accumuler.

Les dispositions constructives sont à adapter en fonction du lieu du projet (bord de mer, montagne...).

Dans les départements soumis à l'obligation préfectorale pour la lutte contre les termites, l'arrêté du 27.06.2006 préconise :

- un traitement préventif des bois de structure contre les termites et les ILX ;
 - une barrière à l'interface sol/bâti réalisée soit par une barrière physique, soit par une barrière physico-chimique, soit par des dispositions constructives contrôlables (hors DOM- TOM pour cette dernière). Cf. plaquette de la DHUP.
- Demander les attestations de traitement des bois.
 - Stocker les bois hors sol, en phase chantier, et les protéger si l'exposition aux intempéries dépasse 15 jours.
 - Attirer l'attention des particuliers sur le caractère potentiellement pathogène des travaux qu'ils se réservent. Exemple : le carrelage scellé sur chape d'une terrasse réduit l'arase sanitaire des poteaux sur platine métallique.

L'essentiel

- Supprimer tout risque d'exposition prolongée à l'eau.
- Bien évaluer la classe d'emploi et l'essence de bois correctes.
- Bien choisir les traitements préventifs.

STRUCTURES ET GROS OEUVRE

Désordres dans les constructions bois



Le constat

Quelle que soit la technique retenue pour la construction bois, l'humidité excessive est la cause la plus fréquente de désordres : elle conduit à l'attaque de l'ouvrage par des champignons, à des variations dimensionnelles, voire à un affaiblissement des performances mécaniques.

D'autres désordres peuvent survenir :

- l'attaque par des ILX (insectes à larves xylophages) et des termites ;
- l'inconfort de la construction bois, par suite d'un défaut d'étanchéité à l'air ;

- une stabilité de l'ouvrage mise en cause, à cause de défauts de reports de descentes des charges ou de contreventements ;
- une sécurité incendie négligée, ce qui constitue une impropriété à destination.

La présente fiche ne concerne que le bois en structure, et non les panneaux composites isolants.

Le diagnostic

L'humidité

Elle peut avoir pour origine :

- L'insalubrité de conception : stagnation des eaux, absence de rejet d'eau, défaut de ventilation ;
- L'infiltration d'eau liquide au niveau des points singuliers ;
- Des discontinuités ou une [perméabilité](#) à la vapeur d'eau trop forte des parois, qui conduisent à des [condensations](#), préjudiciables à l'efficacité des isolants et à la durabilité des ouvrages bois ;
- Des [remontées capillaires](#) ;
- Le contact du bois avec le sol (arase sanitaire) ;
- Un stockage non protégé des pièces de bois sur le chantier ;
- La proximité de locaux humides ;
- Un entretien périodique insuffisant.

Les défauts de structure

- L'absence de prise en compte des tassements des constructions en bois massifs autour : menuiseries extérieures, éléments verticaux, charpente, cheminées...
- Les sous-dimensionnements et les défauts de reports de descentes de charges et des contreventements (panneaux et pièces supplémentaires à prévoir).

Sécurité incendie

Le non-respect du degré coupe-feu (épaisseur) et/ou le défaut de continuité de la protection, le plus souvent assuré par le parement intérieur.

Les produits

La non-conformité des produits aux normes françaises et européennes en vigueur : isolants, assembleurs, panneaux, pare-vapeur...

Les bonnes façons de faire

- S'assurer que la structure bois s'élève sur des fondations et un plancher bois dont la planéité est adaptée à la réalisation de la structure bois.
- Prévoir la conception de l'ouvrage dans ses détails, pour que l'eau soit rejetée vers l'extérieur (pour les éléments constitutifs de l'enveloppe) ou ne puisse pas pénétrer à l'intérieur des panneaux ou des pièces de bois.

Il en va de la pérennité de l'ouvrage :

- déviation : dépassée de toiture, rejets d'eau, pare-vapeur ;
 - évacuation : précadres de menuiseries, drainages des assemblages, pare-pluie ;
 - séchage : ventilation de toutes les faces des pièces de bois .
- Établir des check-lists de conception calcul et des autocontrôles de montage en usine ou sur chantier (constructeurs).
- Choisir des essences dont la durabilité naturelle ou conférée par un traitement est adaptée à la classe d'emploi des bois et à la durée de vie attendue de l'ouvrage.

- Veiller, pour le maître d'œuvre :
 - à la mise en œuvre continue de matériaux incombustibles satisfaisant les exigences réglementaires de la sécurité incendie ;
 - aux bons calfeutrements entre le gros œuvre bois et les corps d'états secondaires pour obtenir une bonne imperméabilité à l'air (0,6 m³/h/m² en logement).

LES FONDAMENTAUX

- **Tout penser dès la conception avant d'arriver sur le chantier.**
- **Maîtriser la classe d'emploi des bois et le choix de l'essence, en durabilité naturelle ou conférée.**

STRUCTURES ET GROS OEUVRE

Désordres des piscines privées



Le constat

Les piscines privées traditionnelles à structure en béton armé sont des ouvrages composites complexes qui peuvent être le siège de désordres variés affectant tant la structure que les revêtements associés et les équipements.

Fissuration, mouvements d'ensemble (tassement ou soulèvement), mauvaise tenue des revêtements, rupture des canalisations sont à l'origine de désordres susceptibles d'affecter la structure ou l'étanchéité de l'ouvrage.

Le diagnostic

Au niveau du bassin

- **La fissuration** qui peut affecter aussi bien le [radier](#) que les parois verticales résulte d'insuffisances dans la conception, le calcul (défaut d'armatures) ou la réalisation (disposition du ferrailage, reprises de bétonnage). Les fissures infiltrantes sont les plus préjudiciables car elles peuvent entraîner l'oxydation des armatures, et des éclats de béton.
- **Le tassement d'ensemble** résulte d'une mauvaise prise en compte des caractéristiques géotechniques du sol. La présence d'argile compressible, de remblais disparates, de [points durs](#), de terrains remaniés est souvent à l'origine de tassements différentiels. Les piscines construites sur des terrains en pente avec apports de remblais mal compactés sont particulièrement sujettes à une fissuration dommageable.

À l'inverse lorsque le bassin, qu'il s'agisse d'ouvrages maçonnés ou en coques thermoformées, est exposé aux fluctuations de la nappe phréatique, il peut subir des poussées du bas vers le haut (principe d'Archimède) provoquant des soulèvements parfois spectaculaires de plusieurs dizaines de centimètres. D'où la nécessité, dans ces cas, de dimensionner l'ouvrage en conséquence et de prévoir la réalisation de puits de décompression et parfois d'un drainage permanent. Le vidage ou l'évaporation de l'eau du bassin ont un effet aggravant vis-à-vis de ce type de phénomène.

- **Le décollement des enduits hydrauliques intérieurs** est constaté en cas de mauvaise préparation du support, de l'épaisseur insuffisante ou du mauvais dosage de l'enduit.

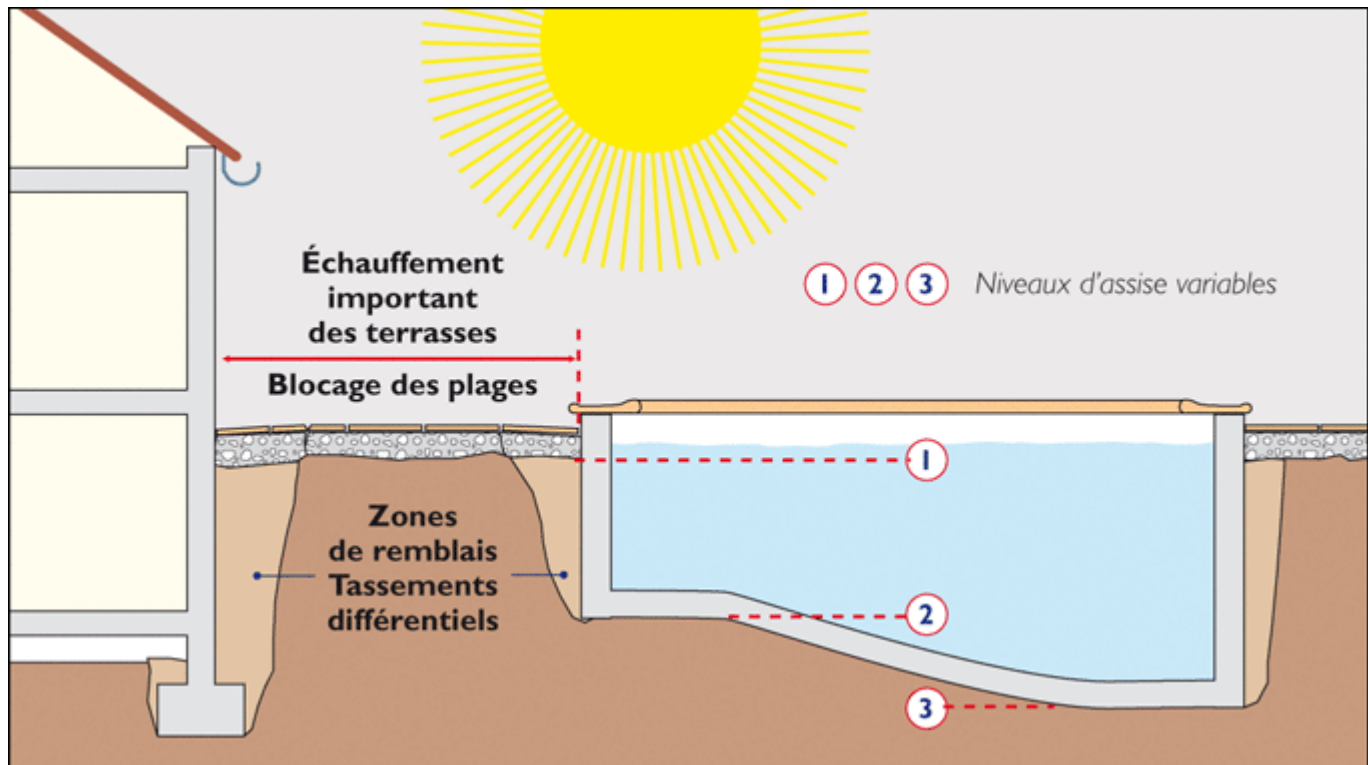
- **Les défauts des revêtements élastoplastiques ([liners](#))** se manifestent par des déformations ou des problèmes de bonne tenue (plis, taches) et résultent principalement de la qualité et du traitement de l'eau de contact. Une acidité excessive de l'eau peut dissoudre les charges minérales contenues dans la membrane qui perd ses propriétés de résistance et de rigidité, faisant apparaître plis ou ridules.

Au niveau des revêtements de finition

- Les décollements de peinture proviennent de l'inadaptation du procédé utilisé ou de la mauvaise préparation du support. La migration de l'eau entre le support et le [feuil](#) de peinture provoque le décollement.
- Les décollements de carrelage ont souvent pour origine la mauvaise réalisation des joints séparant les carreaux ou le non-respect des [joints de fractionnement](#).

Au niveau des équipements

- La rupture des canalisations enterrées provient essentiellement des tassements du radier (en fonction du sol support) ou du remblai périphérique.
- L'affaissement des plages et margelles est dû à la mauvaise mise en œuvre des couches de remblai sous-jacent.



Les bonnes façons de faire

- **Prévoir une étude préalable, réfléchir à la conception d'ensemble.**

La cause essentielle des désordres de nature structurelle est l'inadaptation de l'ouvrage au sol, due à l'absence d'étude géotechnique spécifique à l'ouvrage.

S'agissant de la conception générale, le Cahier des charges applicable à la construction des bassins de piscines à structure béton, publié en mai 1977 dans les annales ITBP, fixe les règles de conception, les conditions de mise en œuvre et d'utilisation.

- **Soigner les travaux préparatoires et de remblaiement.**
Le DTU 12 fixe les conditions de l'exécution des fouilles (chapitre I), et celles des remblaiements (chapitre V).
- **Se conformer aux règles de réalisation des fondations et du gros œuvre.**
Elles sont fixées par le DTU 13.11 (conditions de mises en œuvre des fondations superficielles) et par les

Directives Techniques Piscines n° 4 (stabilité des bassins et des fondations) et n° 1 (règles de tolérance de cotes et d'aspect).

- **Prévoir les revêtements adéquats.**

Le DTU 52.1 relatif aux revêtements de sols scellés, traite (article 9 et annexe A) des plages de piscines. Le NF DTU 52.2 s'applique aux carrelages collés.

- **Attirer l'attention de l'utilisateur sur les risques de poussée des terres en cas de vidange de la piscine.**
- **Notamment concernant la sécurité des piscines privées.**
Les piscines privées doivent être équipées d'un dispositif de sécurité contre le risque de noyade (cf. décrets du 07/06/2004 et du 16/07/2009).

LES FONDAMENTAUX

- **Faire réaliser impérativement une étude géotechnique et tenir compte des caractéristiques du sol.**
- **Porter un soin particulier aux opérations de fouilles et de remblaiements.**
- **Veiller à l'adaptation des revêtements de finition à cet usage.**
- **Contrôler lors de la mise en eau le tassement et l'étanchéité de l'ouvrage.**

ENVELOPPES ET REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS

Désordres des enduits monocouches



Le constat

Les maçonneries extérieures sont très souvent recouvertes d'un enduit monocouche à base de liants hydrauliques. Ces enduits, qui relèvent du DTU 26.1, sont exécutés avec des [mortiers performanciels](#) prêts à l'emploi. Ils sont appliqués généralement en une ou deux passes « frais sur frais » avec le même mortier.

Leur fonction première est l'imperméabilisation ; ils ont accessoirement vocation à parer les parois.

La plupart des dommages rencontrés sont liés à l'aspect et n'ont pas d'incidence sur la qualité et la durabilité de l'enduit. D'autres, par contre, affectent l'imperméabilité de la paroi.

Le diagnostic

Les désordres affectant l'aspect

- **Le nuancement** désigne des variations de couleur ou d'aspect de l'enduit. Il résulte de l'irrégularité de la préparation de l'enduit (dosage et malaxage) ou de l'application (reprises, épaisseur, uniformité du talochage...).
- **Les spectres** peuvent être permanents ou visibles seulement lorsque l'enduit est mouillé. Ils résultent du différentiel existant dans la prise ou la vitesse de prise de l'enduit entre les joints des maçonneries et la surface

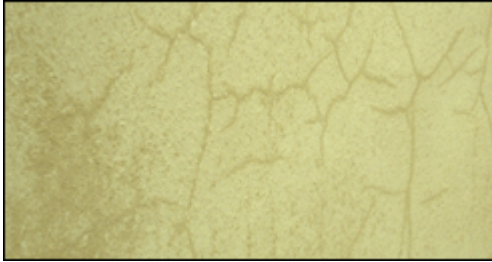
courante. Ce phénomène, lié à la nature des joints (porosité, largeur, arasement...), est réduit par l'application de l'enduit en deux passes et le respect des épaisseurs.

- **Le faïençage** est particulièrement inesthétique :

c'est une microfissuration en forme de résille qui affecte la surface de l'enduit.

Les finitions talochées et talochées éponge sont particulièrement sensibles à ce désordre.

Sauf composition particulière de quelques enduits monocouches sous Avis Techniques spécifiques à ces finitions, le DTU et les certificats réservent ces aspects talochés aux petites surfaces (bandeaux, entourage de

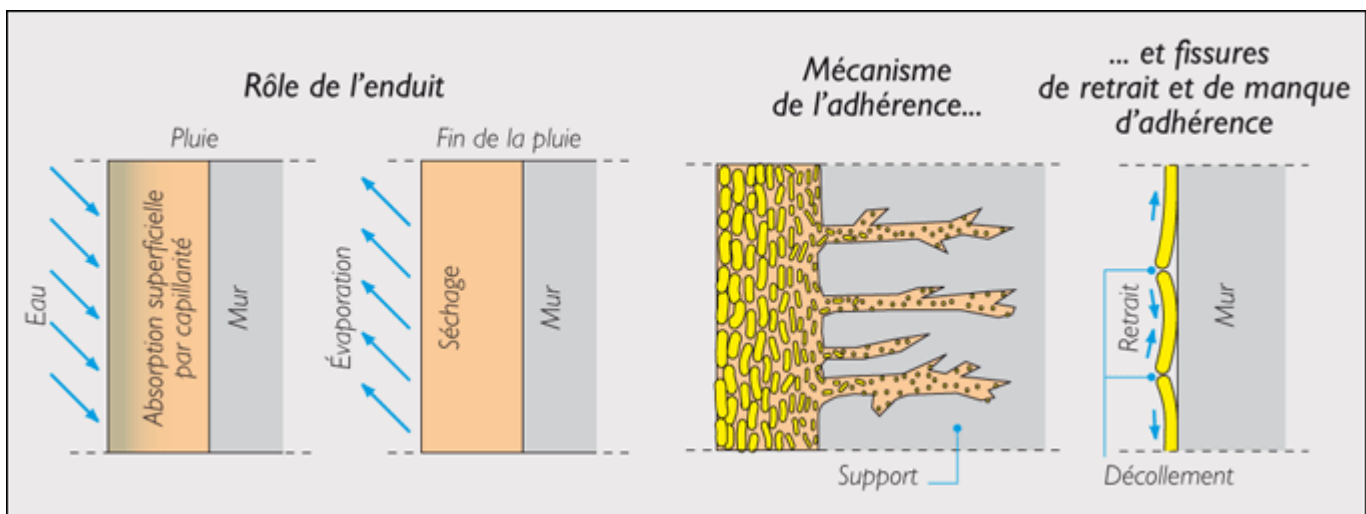


baies...).

- **Les mousses et salissures** sont dues au développement de micro-organismes sur des zones humides ou à des dépôts de salissures urbaines.

Les désordres affectant la durabilité

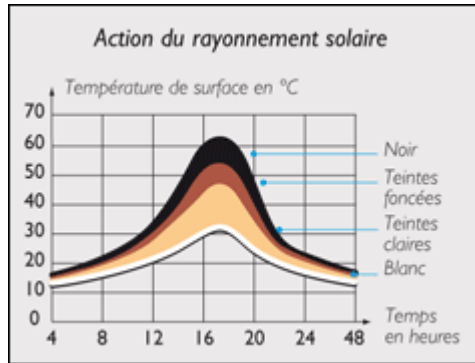
- **La fissuration** est due au comportement du support (angles de baies, au droit des planchers, joints mal bourrés ou trop épais...) mais également au retrait de l'enduit lié aux conditions d'application (excès d'eau, humidification insuffisante du support, temps sec, venté, chaud, variations d'épaisseur...).



- **Les pénétrations** d'eau par porosité sont rares en l'absence de fissures. Elles sont dues à des épaisseurs insuffisantes d'enduit.

- **Le décollement** est consécutif à une mauvaise préparation du support (support farineux ou trop lisse, présence de poussières, humidification insuffisante, support gorgé d'eau, absence de couche d'accrochage...).
- **Le brûlage (ou grillage)** est dû à une dessiccation prématurée de l'enduit par absorption d'eau par le support ou du fait des conditions atmosphériques (temps chaud, vent sec).
- **Le cisaillement du support** se rencontre sur les supports à faibles caractéristiques mécaniques (béton cellulaire). Il est dû à l'application d'un enduit inadapté à ce type de support.

Les bonnes pratiques



Respecter les conditions de préparation du support et d'application du produit

- Attention aux enduits de couleur foncée, sensibles aux chocs thermiques.
- Choisir un produit adapté au support.
- Bien préparer le support.
- Utiliser une couche d'[accrochage](#) (gobetis).

Respecter les conditions d'application

- Respecter la quantité d'eau de gâchage.
- Respecter le temps de malaxage.
- Toujours gâcher le produit dans les mêmes conditions sur une même façade.
- Respecter les épaisseurs recommandées par le fabricant (minimum 10 mm).
- Protéger les têtes de murs et appuis d'ouvertures par un débord, muni d'une goutte d'eau.
- Incorporer des renforts d'armatures dans l'enduit à la jonction de deux matériaux support différents et au niveau des planelles de planchers.
- Privilégier l'application en deux passes.
- Ne pas entreprendre les travaux d'enduits en période de gel, sur des supports chauds ou desséchés, par vent sec, et pour les enduits colorés de parement, par temps de pluie, brouillard ou forte humidité, afin d'éviter la formation d'[efflorescences](#). On admet habituellement une température extérieure comprise entre + 5 °C et + 30 °C.
- Protéger l'enduit par bâchage après application en cas de temps chaud, de vent sec ou de pluie.

LES FONDAMENTAUX

- **Choisir l'enduit adapté au support.**
- **Respecter les conditions d'application (NF DTU 26.1).**
- **N'entreprendre les travaux que dans les conditions climatiques appropriées.**

ENVELOPPES ET REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS

Dégradations des revêtements d'imperméabilité de façade



Le constat

Les dommages relatifs aux dégradations des revêtements organiques d'imperméabilité de façades, relevant de la norme NF DTU 42.1, peuvent se classer en trois groupes principaux :

- Les dommages à caractère esthétique : encrassement, salissures. Ils concernent souvent les anciennes résines de type [thermoplastique](#) ;
- Les dommages d'origine mécanique : fissuration, cloquage ou décollement du revêtement ;
- Les dommages liés à une prescription erronée : le revêtement d'imperméabilité inadapté peut générer des désordres de type condensation à l'intérieur d'un logement mal ventilé, s'il recouvre un film préexistant peu microporeux.

Le diagnostic

Les dommages à caractère esthétique

Les premières générations de résine, (thermoplastique), ont donné lieu à des désordres. Le film s'encrassait et fixait la pollution atmosphérique. Des traces noires étaient alors visibles sur la façade, le long des lignes de ruissellement préférentielles. Les coulures apparaissaient à la jonction entre deux couvertines coiffant un acrotère ou une tête de mur, en extrémité d'appuis de fenêtre. Ces désordres ont pratiquement disparus avec l'arrivée des nouvelles résines de type photo-réticulable.

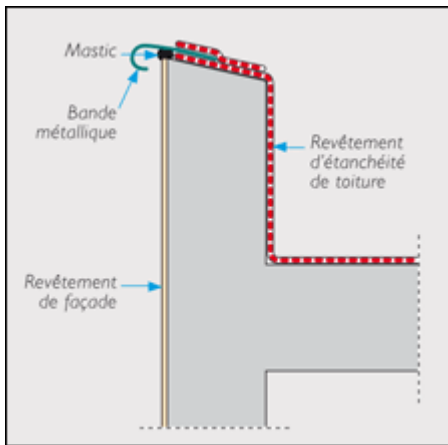
En revanche, il n'est pas rare d'apercevoir les bandes [marouflées](#) dans la résine le long des fissures coupant la façade. Ce phénomène apparaît à la longue, avec l'usure du film. Il peut aussi résulter de la migration du plastifiant du produit de rebouchage des fissures à la surface de la façade. La pollution se fixe alors sur cette zone.

De même, si le film manque d'épaisseur, les irrégularités du gros œuvre apparaissent en « lumière rasante ». Il ne faut pas hésiter à mettre en œuvre un revêtement structuré, plus épais.

Les désordres d'origine mécanique

- **Les fissures de la maçonnerie**
Les fissures de la maçonnerie ancienne réapparaissent lorsque le système d'imperméabilité a été mal choisi ou appliqué en épaisseur insuffisante. Ainsi, la résistance du revêtement est inadaptée aux fissurations rencontrées.

Un revêtement d'imperméabilité peut se fissurer, cloquer ou se décoller s'il est appliqué sur un support qui vient à se fissurer. Il faut traiter les fissures avant application d'un revêtement d'imperméabilité.



- **Cloquages et décollement**

Les cloquages apparaissent sur des supports trop humides à l'origine ou humidifiés après réalisation des revêtements, à la suite d'arrivées d'eau intempestives :

- fuite en terrasse (défaut d'étanchéité);
- absence de protection en tête de mur ou d'acrotère ;
- traitement partiel, le film est « contourné » ;
- fuite de canalisation encastrée dans les murs.

Les revêtements sombres qui emmagasinent la chaleur du soleil sont un facteur aggravant. En effet, l'élévation de la température génère des phénomènes d'évaporation de l'eau dans la paroi et des pressions hydrostatiques sous le revêtement.

Les cloquages peuvent également se manifester au droit des points singuliers de l'ouvrage.

Les dommages consécutifs à une prescription erronée

Appliquer un revêtement d'imperméabilité sur les façades d'une maison mal isolée et mal ventilée peut conduire à des désordres. L'air intérieur va se condenser sur les ponts thermiques et engendrer des moisissures. Le revêtement réduit la diffusion de la vapeur d'eau à travers les parois, et cela peut entraîner des phénomènes de condensation côté intérieur, mais aussi un déplacement du point de rosée à l'intérieur des murs.

Il ne faut pas appliquer un revêtement d'imperméabilité sur une façade en mauvais état (avec des fissures évolutives).

Les bonnes façons de faire

Porter une attention particulière à :

- **la reconnaissance du support et d'anciens revêtements**, étape essentielle : le NF DTU 42.1 impose dans certaines situations de décaper tout revêtement organique préexistant, ou à défaut de procéder à une étude préalable. Supports humides : le traitement est proscrit, par exemple sur des murs de soutènement soumis à la pression de l'eau, en pied de murs ;
- **la préparation du support et le choix du système adapté** : systèmes I1 - I2 - I3 - I4 (choisis notamment en fonction de la largeur des fissures). Il doit garantir l'application du nombre de couches et des quantités de produit nécessaires au bon fonctionnement du revêtement ;
- **la mise en œuvre du revêtement** : le support doit être suffisamment sec, avec des conditions atmosphériques favorables ;
- **la protection des « arrêts de revêtements »** afin d'éviter les passages d'eau intempestifs à l'arrière du film (protection en tête...).

Bien entretenir le revêtement, notamment :

- enlever les mousses ;
- réparer les parties accidentellement détériorées ;
- veiller au bon état des dispositifs de protection.

LES FONDAMENTAUX

- Examiner la nature du support et estimer son évolution dans le temps.
- Tenir compte de la siccité du support.
- Bien dimensionner le film (couches, épaisseur).

ENVELOPPES ET REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS

Désordres après reprise sur des ravalements de façades en plâtre



Le constat

Si la reprise complète des façades au mortier de plâtre ne donne lieu qu'à peu de désordres, en revanche les finitions de type peinture sont souvent affectées de cloquages, décollements et fissurations.

Le diagnostic

Les ravalements de façades en [plâtre «type parisien»](#) se font classiquement :

- Par piochage complet de la façade et reprise à l'aide d'un mortier de plâtre, sable et chaux.

Les façades qui ont été entièrement reprises ne connaissent de dégradation que lorsque la composition du mortier de plâtre n'a pas été respectée (cf. DTU 26.1). La chaux joue un rôle capital dans la tenue au ruissellement. Une analyse de la composition du mortier, sur un échantillon confié à un laboratoire, permettra de confirmer le diagnostic ;

- Par piochage partiel de la façade, reprise des plâtres endommagés et application d'une finition à vocation purement décorative ou d'un revêtement d'imperméabilité.

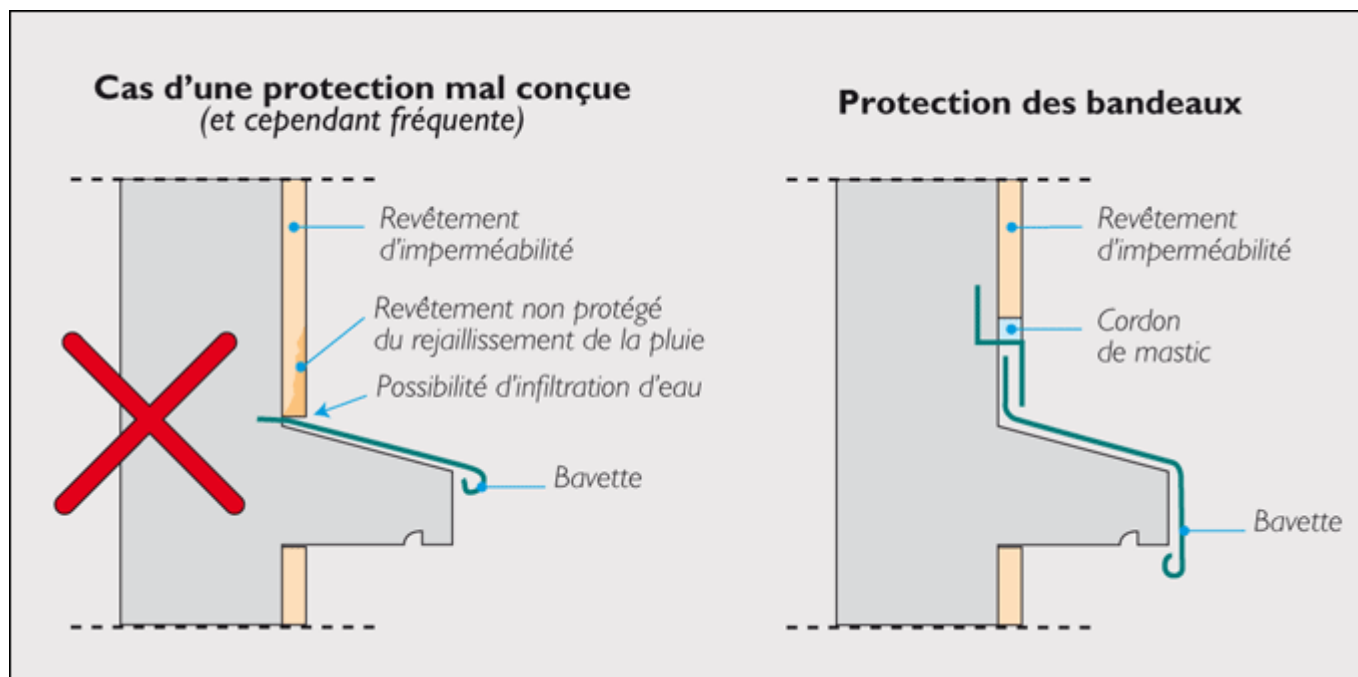
Ce type de finition permet d'uniformiser visuellement les surfaces. Dans le cas de films minces, sans souplesse, qu'il s'agisse de peinture à la chaux, à base de [pliolite](#) ou à base de résines acryliques, les différences de propriétés physiques et mécaniques entre les matériaux supports conduisent inévitablement à des fissurations en périphérie des réparations.

De plus, les réparations sont souvent faites en plâtre pur, sous prétexte qu'elles seront recouvertes et donc protégées. Or le plâtre se charge d'eau par transfert de vapeur. Le résultat rappelle rapidement l'aspect des vieux murs de salles de bains, entièrement écaillés.

Pour pallier les problèmes de retrait à la limite de deux mortiers différents, dans le cadre de reprises partielles de plâtre, il est possible d'appliquer des revêtements d'imperméabilité. Leur souplesse permet d'absorber les inévitables fissurations. Certaines pathologies leur sont toutefois propres : ces produits imperméables à l'eau liquide et assez peu perméables à la vapeur d'eau peuvent être le siège de cloquages (eau enfermée à l'arrière du film ou transferts de vapeur d'eau trop importants).

Les bonnes façons de faire

- Bien réfléchir en amont, le ravalement d'une façade en plâtre suppose de gérer les protections à l'encontre des ruissellements d'eau.



- Bien connaître le phénomène de [perméance](#) de la façade :
 - si, dans le cadre d'une réhabilitation, on applique un revêtement d'imperméabilité et on change aussi les fenêtres du bâtiment, les possibilités de transfert de vapeur d'eau (par les façades et par les encadrements de fenêtre) sont réduites : il est impératif d'ajouter un système de ventilation, s'il n'existe déjà. Sinon, les transferts de vapeur excessifs au travers des parois aboutiront à des condensations à l'arrière du film imperméable et à son décollement. De plus, les éventuels pans de bois encastrés pourront en souffrir gravement ;
 - mesurer le risque lié au renforcement thermique de la façade.
- Se prémunir, même en milieu urbain, contre les remontées capillaires.
- Revoir, à l'occasion du ravalement, l'étanchéité horizontale des balcons, source de nombreux désordres.
- Pour éviter les ruissellements d'eau de pluie, recouper les façades à chaque niveau de plancher par un bandeau saillant recouvert de zinc et muni d'une goutte d'eau.

LES FONDAMENTAUX

- **Protéger les enduits dans les conditions prévues par le DTU 26.1, et le DTU 42.1 (chapitre 7-2-2) pour ce qui est des revêtements d'imperméabilisation à base de polymère.**
- **Faire appel à un professionnel averti des phénomènes de perméance.**

ENVELOPPES ET REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS

Systèmes d'isolation thermique des façades par l'extérieur (ETICS)



Le constat

Les systèmes d'isolation thermique par l'extérieur (anciennement appelés SITE, et rebaptisés ETICS (External Thermal Insulation Composite System) pour être en cohérence avec la pratique européenne) concernés par cette fiche sont constitués de panneaux isolants en polystyrène recouverts d'un sous-enduit mince armé revêtu d'un RPE (revêtement plastique épais). Ce complexe est collé ou calé/chevillé sur la paroi et assure l'isolation thermique, l'étanchéité et l'esthétique d'ensemble.

Les travaux neufs réalisés suivant cette technique ne donnent plus lieu à une pathologie importante, elle sera néanmoins rappelée dans la présente fiche.

Des désordres plus nombreux se produisent en revanche lors de la rénovation des ETICS réalisés dans les années 80. Lorsque les maîtres d'ouvrage engagent des travaux de rénovation (désordres anciens non réparés, voire encrassement dans le temps du RPE), des désordres dits de « 2e génération » peuvent apparaître :

- Condensation et développement de moisissures ;
- Décollement soudain de l'isolant du mur ;
- Arrachage du RPE d'origine ;
- Apparition de fissures nouvelles coupant le film réalisé dans le cadre de l'entretien ou des réparations.

Le diagnostic

Désordres sur systèmes en pose initiale

Fissurations rectilignes (au droit de la jonction entre panneaux d'isolants), pelages, écaillages, cloquages du revêtement, bombements ou [tuilages](#) des plaques en constituent les signes visibles de dégradation. Dans un premier temps limités à des problèmes d'aspect, ces désordres peuvent évoluer dans le temps en allant jusqu'à mettre en cause les capacités caractéristiques d'isolation et d'étanchéité des façades.

Les désordres résultent le plus souvent de facteurs concomitants. Ils sont plus significatifs sur les façades exposées aux chocs thermiques ou aux vents.

Fissurations, bombements, tuilages

Ils résultent principalement des variations dimensionnelles des panneaux, en relation avec l'insuffisance d'épaisseur du sous-enduit, un défaut de positionnement de l'armature, ou une mauvaise utilisation de la colle.

Pelages, écaillages, cloquages du RPE

Ces désordres sont souvent révélateurs de l'absence de la couche d'impression assurant la parfaite adhérence du RPE sur le sous-enduit armé. Ils peuvent aussi être la résultante des désordres évoqués ci-dessus, par le biais d'infiltrations d'eau à l'arrière du RPE dû au mauvais entretien des couvertines.

Décollements ou arrachements massifs des plaques

Ces désordres révèlent la non-prise en compte des pressions/dépressions exercées par les vents sur les façades.

Problèmes d'aspect

- Fantômes de joints de panneaux : bien que rares, ces désordres sont liés à la migration préférentielle de la vapeur d'eau intérieure au droit des joints de panneaux non encollés sur chants.
- Salissures d'origine biologique (développement de micro-organismes favorisé par les facteurs climatiques) et/ou chimiques (dépôt de particules en suspension dans l'air).

Désordres lors de la rénovation (dits «de 2e génération»)

Moisissures et condensation

Les RPE appliqués en finition sur l'ETICS en place conservent dans le temps une porosité à la vapeur d'eau suffisante au point que les risques de condensation, soit dans la masse de l'isolant, soit à la surface intérieure des parois de la façade, restent faibles. À l'occasion d'opérations de rénovation, le RPE va être recouvert. La perméabilité à la vapeur d'eau de la façade va s'en trouver modifiée.

Si le film de peinture ou le revêtement venant recouvrir la façade n'est pas suffisamment microporeux, condensation et moisissures sont susceptibles de se développer.

La vigilance s'impose, notamment si le bâtiment est mal ventilé et situé en zone de montagne. Le différentiel de teneur en eau entre l'extérieur du bâtiment et l'intérieur y est plus important.

Fissures nouvelles

En rénovation, l'application sur support fissuré d'un film mince en entretien peut conduire à des déboires. Ce film peut en effet ne pas résister aux mouvements discrets de son support. Cette pathologie va apparaître lorsque l'ETICS à rénover sera affecté de fissures franches, par exemple des fissures coupant le sous-enduit au droit des jonctions entre les panneaux isolants.

Le film appliqué en rénovation va se fissurer s'il n'a pas été formulé pour résister à la dilatation et au retrait thermique de l'isolant.

Les fissures correspondantes peuvent avoir une certaine ampleur, notamment si les panneaux posés à l'origine sont de grande surface ou « instables ».

Arrachage du RPE d'origine

En rénovation la mise en œuvre d'un film susceptible d'exercer des tractions sur les couches d'origine, peut engendrer des décollements de l'ensemble (anciennes et nouvelles couches).

Décollement de l'isolant

Les panneaux isolants d'origine peuvent avoir été simplement collés au support ou fixés mécaniquement.

Dans la première situation, un décollement peut se produire à tout moment, y compris hors le délai de garantie décennale.

En effet, la façade est sollicitée lors des intempéries. Le vent exerce des efforts de pression-dépression qui, à la longue, peuvent altérer le collage des panneaux.

Il convient donc de vérifier et d'apprécier :

- la tenue de l'isolant sur le mur ;
- l'état de dégradation du système (fissuration, adhérence du RPE et du sous-enduit, etc.) ;
- la compatibilité du film mis en œuvre dans le cadre des travaux avec l'état de la façade.

Désordres en partie basse

Qu'il s'agisse de travaux neufs ou de rénovation, les ETICS sont soumis occasionnellement à des chocs en partie basse de nature à les détériorer.

Les bonnes pratiques

ETICS en pose initiale

Se conformer aux règles de conception et d'exécution.

Les ETICS sont justifiables d'un agrément technique européen dont la vocation est uniquement d'évaluer les caractéristiques du produit vis-à-vis des exigences essentielles. Les règles de mise en œuvre et le domaine d'application sont décrits séparément, par exemple dans un DTA (document technique d'application) qu'il convient de suivre scrupuleusement.

Il convient également de respecter :

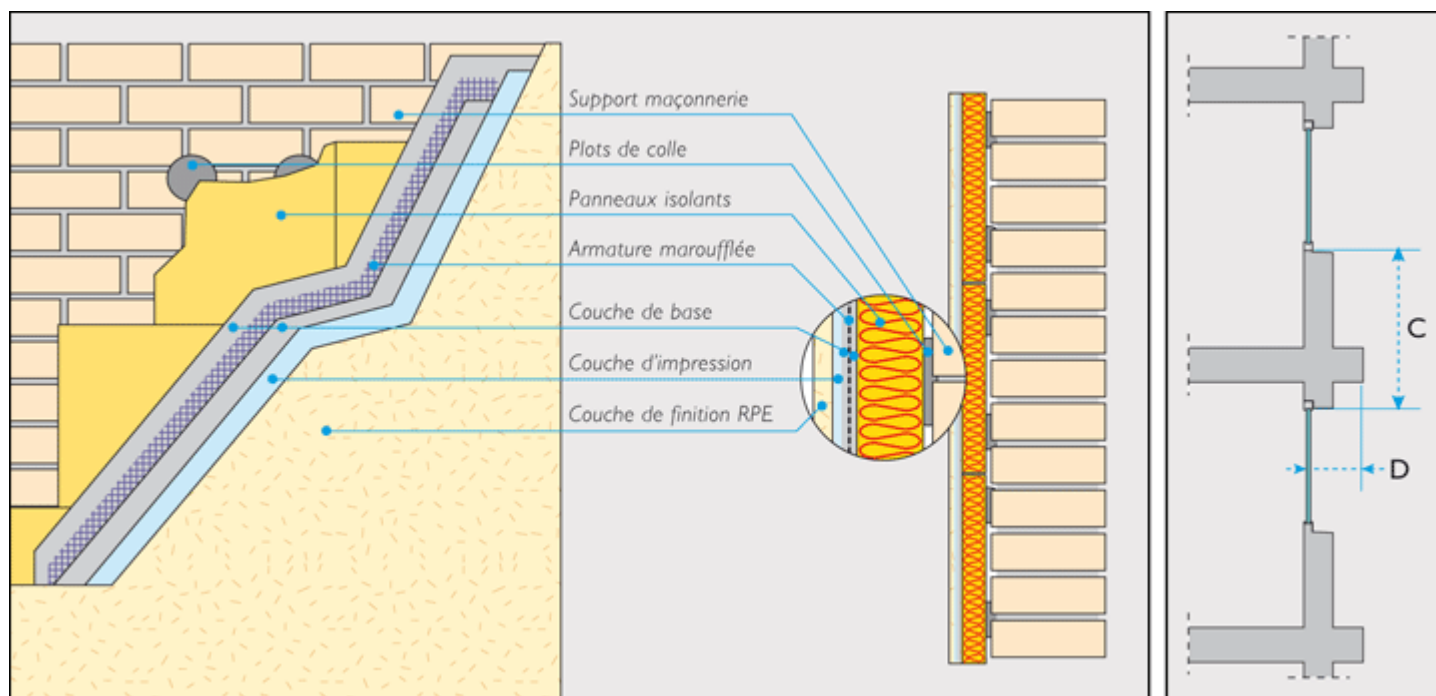
Au stade conception

- Conditions générales d'emploi des SITE faisant l'objet d'un Avis Technique - Enduits minces sur polystyrène expansé - Cahier CSTB n° 1833 ;
- Isolation thermique des façades par l'extérieur - définition des caractéristiques des treillis textiles utilisés dans les enduits sur isolant - Cahier CSTB n° 3204.

Au stade exécution

- Cahier des prescriptions techniques d'emploi et de mise en œuvre des ITE - Cahier CSTB n° 3035 et son modificatif 3399.

Respecter les contraintes climatiques imposées par le site et les températures extérieures minimales et maximales de mise en œuvre.



Rénovation d'ETICS

L'absence de référentiel à caractère général et la survenance de pathologie ont conduit la rédaction des règles professionnelles pour l'entretien et la rénovation des systèmes d'isolation thermique extérieure. Il s'agit des règles professionnelles ETICS, révisées en 2010 et acceptées par la C2P.

Ces règles permettent d'apprécier l'état de dégradation de l'ETICS. Le diagnostic est constitué d'une reconnaissance préalable, effectuée pour chaque pan de façade à traiter, qui comprend plusieurs étapes :

- le contrôle de l'humidité de l'isolant ;
- la vérification de la liaison isolant/ support ;
- la mesure de l'adhérence de l'enduit à l'isolant ;
- l'appréciation de l'ouverture des fissures.

Elle passe par un examen visuel et des essais en laboratoire.

La procédure, décrite avec précision dans les règles, est allégée pour les constructions de type R+0 et R+1 dont la surface reste inférieure à 250 m².

Suivant l'état de l'ETICS, l'entrepreneur sera conduit à réaliser un entretien simple ou une rénovation plus élaborée. Dans les situations les plus défavorables des techniques lourdes sont retenues :

- pelage, soit la mise à nu de l'isolant ;
- bardage/vêtage, sur l'ITE en place.

Nota : la technique consistant à peler le sous-enduit reste assez délicate et imprévisible si des essais préalables ne sont pas effectués.

En effet, le pelage, soit l'arrachage du sous-enduit, altère la peau de l'isolant. Sa surface devra être poncée avant l'application du nouveau sous-enduit. Si la peau de l'isolant manque de cohésion, ce support va souffrir du pelage. Ce sera d'autant plus le cas avec les polystyrènes tranchés à la fabrication.

Dans les cas extrêmes, la réfection de l'ETICS pourra être retenue.

D'autres techniques existent, elles conduisent à surisoler la façade ou à appliquer sur le RPE un support pouvant recevoir un nouveau sous-enduit et un RPE. Ces solutions sont visées par des Avis Techniques du CSTB.

ETICS et risque incendie

Choisir les matériaux en fonction de leur réaction au feu, des exigences C+D de la façade, voire des risques de démarrage de feu par malveillance (en partie basse notamment).

LES FONDAMENTAUX

- **En neuf : se conformer strictement aux règles de conception et d'exécution.**
- **En rénovation : réaliser un diagnostic préalable approfondi si les surfaces et/ou les désordres sont importants, pour un diagnostic préalable aux travaux. Retenir la technique appropriée.**

ENVELOPPES ET REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS

Désordres des revêtements de façades posés au mortier-colle



Le constat

Souvent employées en revêtement de façade, à vocation esthétique et sans fonction d'étanchéité, la céramique et la pierre naturelle souffrent parfois du décollement de certains éléments, d'où un risque pour la sécurité des personnes (chute de carreaux).

Mais les altérations d'aspect (couleurs, salissures) sont également à considérer sérieusement, car potentiellement révélatrices d'un défaut de traitement des points singuliers.

Le diagnostic

Les décollements sont souvent la résultante de plusieurs facteurs

- Mauvais choix du [mortier-colle](#).
- Encollage non conforme (double encollage non respecté, quantité insuffisante de colle).
- Défaut de marouflage ou de battage des éléments de façade lors du collage.
- Dépassement du « [temps ouvert](#) » du mortier colle.
- Mortiers « grillés » au soleil ou appliqués par temps trop froid.
- Absence de protection en tête créant des circulations d'eau à l'interface support/carreau ou support/ pierre.
- Joints de fractionnement non respectés, partiellement obturés par du mortier-colle.

- Mouvements du support (fluage...) provoquant des contraintes de cisaillement.
- Éléments de façade trop foncés entraînant des dilatations excessives qui favorisent les cisaillements dans les plans de collage. De même, le voisinage de zones claires et foncées entraîne des dilatations différentielles, à l'origine de fissurations puis de passages d'eau.
- Absence d'« ouverture » du béton.

Toutes précautions doivent être prises dès les premiers signes de décollements (carreaux « sonnant creux » ou décollés). Un sondage exhaustif est indispensable, accompagné d'une purge systématique. Un relevé précis des pertes d'adhérence et des décollements doit indiquer :

- L'exposition des façades, le voisinage de baies ou de points singuliers ;
- La présence ou l'absence de protection en tête de mur ;
- Un éventuel [ragréage](#) du béton ;
- La zone du décollement (interface béton/mortier-colle, mortier-colle/ revêtement) ;
- Les épaisseurs respectives des différents produits ;
- La présence, la position et le remplissage des joints de fractionnement ;
- Le respect des joints de dilatation du gros œuvre ;
- Le dessin de l'encollage et son épaisseur.

L'analyse du mortier-colle et du ragréage apporte des éléments sur leur mise en œuvre :

- Taux d'hydratation du ciment ;
- Présence de produit réduisant l'adhérence.

Les défauts d'aspect

- Traces de calcite sur les revêtements (lixiviation) : l'eau s'infiltré dans le plan de collage, et se charge en chaux libre présente dans le mortier-colle. Lorsque cette eau ressort par les joints, elle s'évapore et il demeure des traces blanchâtres de calcite en surface de revêtement. Les joints de fractionnement doivent être remplis d'un mastic, d'un profilé PVC ou métallique protégé contre la corrosion, et les arêtes supérieures des revêtements protégées.
- Des micro-organismes se développent dans les zones humides. Des dispositifs appropriés, tels que corniches, bandeaux ou bavettes, doivent protéger les parties horizontales de l'infiltration de l'eau de pluie.

Le revêtement doit être choisi en adéquation avec la destination et l'exposition de l'ouvrage carrelé (résistance aux chocs, au gel, aux produits d'entretien, et le coefficient d'absorption solaire...).

L'impact de la nature pétrographique de la pierre

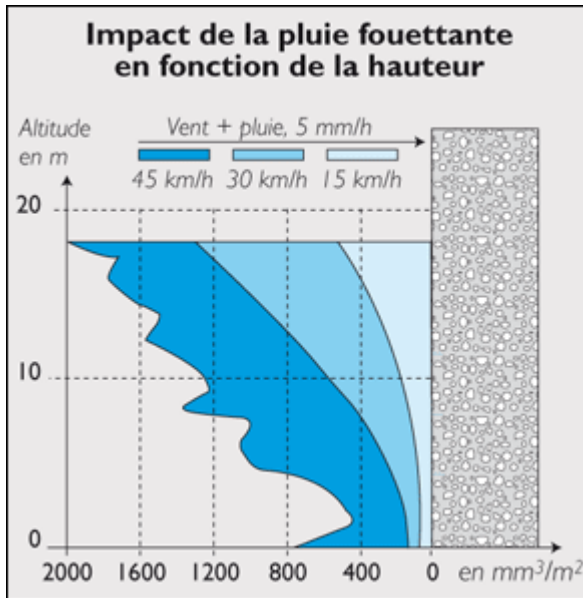
Selon leur nature, certaines pierres (comme les marbres cristallins) sont sujettes au gonflement et à la décohésion granulaire, par reprise d'eau et dilatation thermique. Il s'ensuit une déformation et une diminution de la résistance.

Les bonnes façons de faire

Veiller

- À la nature du support et à son état de surface, qui doit être cohésif, résistant et suffisamment « ouvert ». Le support doit être préparé par une opération de brossage mécanique suivi d'un lavage à haute pression afin d'éliminer toute trace susceptible de réduire l'adhérence du mortier-colle.
- À l'emploi d'un produit de collage adapté (C2 S1/S2 Façade) en fonction de la hauteur des ouvrages.
- À l'utilisation d'un revêtement clair, de coefficient d'absorption solaire $a < 0,7$ selon l'exposition.
- À la dimension maximale des dalles de pierres, quand c'est le cas, en fonction de leur nature et de leur porosité .
- Aux conditions atmosphériques lors de la mise en œuvre (généralement $5\text{ °C} < T < 30\text{ °C}$, sans vent sec ni pluie).

- Au respect des prescriptions du fabricant concernant la préparation du mortier (temps de repos ; durée pratique d'utilisation, quantité d'eau ajoutée, malaxage...).
- Au respect des prescriptions d'encollage en fonction de la dimension des carreaux et des dalles de pierre (NB: pour la pierre, le double encollage est requis).
- Au bon transfert du mortier sur le revêtement (écrasement des sillons).
- À la réalisation des joints de fractionnement et de désolidarisation requis.
- Au respect de la largeur et de la nature des joints entre revêtement.



Soigner les protections des parties horizontales (têtes de mur, appuis de fenêtre) et les angles sortants

- En l'absence de protection en tête de mur, l'eau de pluie pénètre peu à peu par les joints, puis dans le mortier-colle, et dissout progressivement la chaux du liant hydraulique.
- Le même phénomène se produit souvent dans les angles sortants entre deux façades.
- Il arrive que des barbacanes arrosent abondamment certaines zones de façade, ce qui peut être un facteur aggravant.

LES FONDAMENTAUX

- **S'assurer que le support est sain, avant le collage des revêtements.**
- **Respecter les conditions de mise en œuvre du NF DTU 52-2 et la prescription du fabricant du mortier-colle.**

ENVELOPPES ET REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS

Infiltrations par les liaisons menuiserie extérieure/gros oeuvre



Le constat

Les infiltrations d'eau provoquent un gonflement des enduits, plaques de plâtre, isolant et plinthes, l'éclatement des peintures, la dégradation des papiers peints et l'apparition des moisissures.

Des désordres peuvent aussi apparaître sur tous les ouvrages sensibles à l'eau proches des fenêtres, comme les prises électriques, isolant acoustique sous parquet, etc.

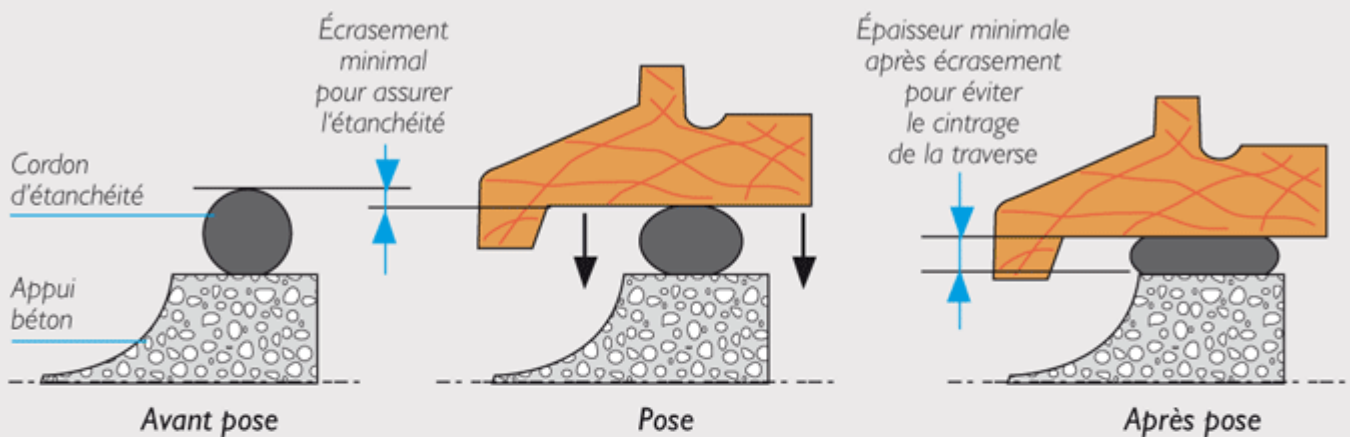
La pathologie peut toucher tous les types de menuiseries en bois, en métal ou en PVC.

Elle est largement influencée par les conditions climatiques du site et l'exposition du bâtiment (la façade reçoit plus ou moins d'eau accompagnée de vent), ainsi que par la hauteur de la baie au-dessus du sol (le vent soufflant plus fort quand on s'élève).

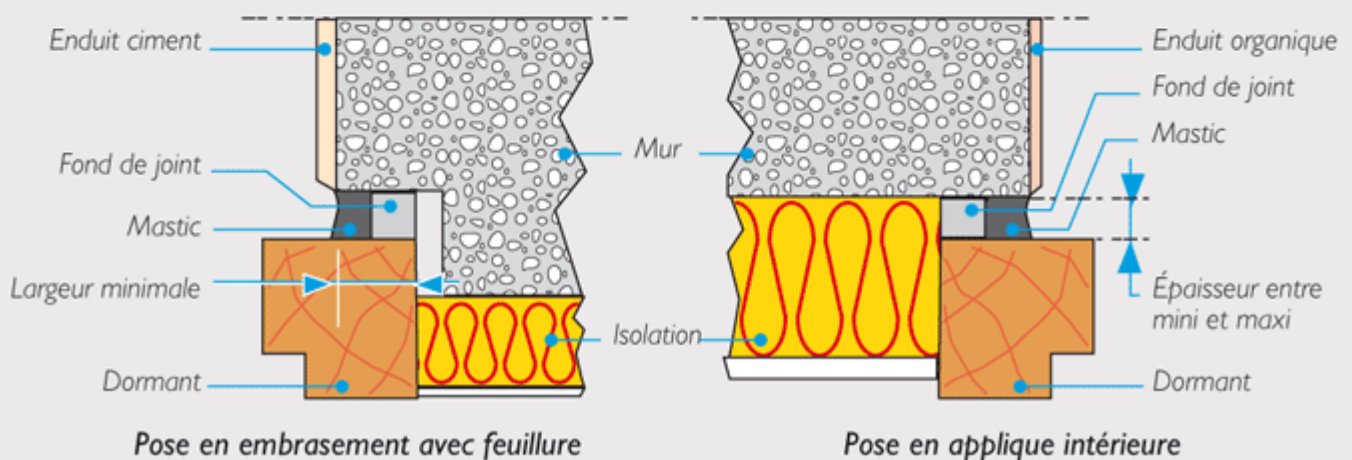
Le diagnostic

La méthode traditionnelle de bourrage au mortier, bien souvent accompagnée de fissures de retrait ou de défauts localisés, a laissé place à des techniques de calfeutrement par [mastics](#) organiques. Un cordon en mousse imprégnée et comprimé à la mise en œuvre reçoit, côté extérieur, un joint en mastic élastomère. Le premier assure l'étanchéité à l'air, le second l'étanchéité à l'eau.

Exemple de calfeutrement à « sec » de traverse basse par cordon préformé



Exemple de calfeutrement à « sec » de montants par cordons extrudés



Deux causes principales

Montage irrégulier de la maçonnerie de baie

- Les dimensions de la baie ne respectent pas les tolérances usuelles vis-à-vis des cotes de plans.
- Le tableau se présente avec du « faux aplomb » ou un défaut de parallélisme.
- L'appui de fenêtre et son rejingot ne sont pas bien plans et horizontaux, ou sont discontinus en raccordement aux tableaux.
- L'appui de fenêtre en maçonnerie est réalisé postérieurement à la pose de la menuiserie extérieure.

La réalisation du joint est imparfaite si le recouvrement de la menuiserie en vis-à-vis de la maçonnerie est insuffisant, si ce joint est d'épaisseur trop variable (la maçonnerie comporte des [épaufures](#) ou des joints en creux). En effet, le cordon en mousse imprégnée est inefficace s'il n'est pas comprimé uniformément sur toute sa longueur.

Malfaçons lors de la pose

- La section du cordon est inadaptée à la taille de l'interstice à calfeutrer.
- Le mastic sélectionné n'est pas adapté à la taille de l'interstice à calfeutrer (l'épaisseur du mastic doit se tenir entre un minimum et un maximum).
- Le cordon en mousse imprégnée présente des discontinuités, notamment entre le rejingot et les tableaux.
- Le cordon en mousse imprégnée est trop ou insuffisamment comprimé entre menuiserie et maçonnerie.
- Le nettoyage soigné des parois de contact n'a pas été réalisé.

Autres causes de sinistres

Fixation de la menuiserie

Un défaut de fixation des éléments de menuiserie, notamment dans les parpaings creux, peut être à l'origine de pénétration d'eau et d'air. En effet, l'instabilité de la menuiserie entraîne la rupture ou le décollement des joints en mastic élastomère, la décompression, voire le déplacement des cordons en mousse imprégnée.

Autres désordres présentant les mêmes symptômes

Un défaut d'étanchéité de la menuiserie à la jonction traverse basse/montant vertical, l'obturation des dispositifs de récupération des eaux ou un défaut dans le joint entre le bâti et l'ouvrant peuvent entraîner les mêmes dommages, mais ces points relèvent de vices de la menuiserie elle-même et non de la jonction menuiserie/maçonnerie.

À noter : les infiltrations d'eau se manifestent souvent en partie basse de la fenêtre, mais les parties supérieures ne sont pas exemptes de désordres.

L'apparition d'humidité en partie basse de la fenêtre peut provenir d'une malfaçon du calfeutrement en partie haute. En cas d'infiltration, l'examen complet du calfeutrement de la fenêtre doit être effectué.

Les bonnes façons de faire

- Vérifier la compatibilité et la qualité des mastics : dimensions de l'interstice à calfeutrer, élongation et contraction minimales, compatibilité, adhésivité, durée de vie et stockage.
- Soigner la pose des fonds de joints.
- Porter un soin particulier au raccordement entre le cordon sous la traverse basse et les cordons verticaux.
- Rester dans les tolérances d'exécution : épaisseur et profondeur minimales de l'interstice, parallélisme des parois recevant le calfeutrement, et planéité de ces parois.
- Privilégier dans les ouvrages en béton armé la pose sur précadre inséré au coulage.

LES FONDAMENTAUX

- **Porter un soin particulier à la réalisation des points sensibles : parallélisme et planéité des parois, fonds de joint, qualité des mastics, respect des cotes de pose.**
- **Définir les interfaces entre corps d'état, et organiser l'acceptation des ouvrages en maçonnerie avant intervention du menuisier.**

Infiltrations d'eau par seuil de porte-fenêtre



Le constat

Les seuils de portes-fenêtres sont des ouvrages où les risques d'infiltrations sont importants, affectant aussi bien la pièce d'habitation attenante que l'étage inférieur.

Ces désordres représentent 3 % de la sinistralité totale. Les dommages vont de la simple flaque d'eau épisodique sur le carrelage à la dégradation des embellissements ou des cloisons en plâtre.

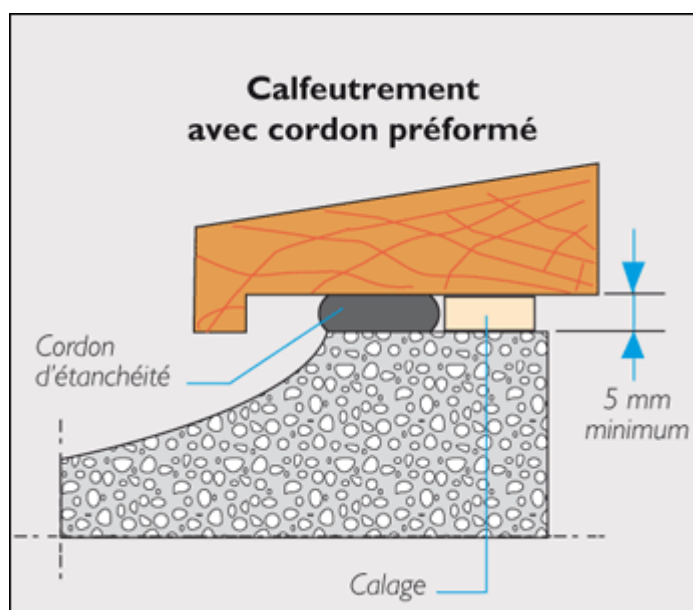
Ces infiltrations surviennent généralement par fort vent, car il rabat l'eau vers la menuiserie avec souvent un effet ascendant.

Une évacuation insuffisamment rapide des eaux collectées par le balcon ou la terrasse peut aussi contribuer au désordre.

Le diagnostic

Le défaut d'étanchéité entre rejingot et pièce d'appui est la cause la plus fréquente

Les dispositions constructives prévoient normalement :



- Une hauteur de rejingot suffisante (40 mm mini) avec une pente de l'appui maçonné de 10 %. Les faces en contact doivent être régulières et horizontales afin de réduire l'interstice existant. Le rejingot doit se retourner en tableau d'une seule pièce (évitant ainsi la fissure fréquente de reprise de coulage), afin d'évacuer l'eau à l'extérieur du mur. Voir schéma du DTU ;
- La mise en place d'un cordon d'étanchéité entre le rejingot et la menuiserie. La continuité de ce cordon doit être parfaite et son épaisseur suffisante. Sa mise en place, avant pose de la menuiserie, permet de mieux en contrôler l'application. Mais, trop souvent, ce calfeutrement est réalisé par extrusion rapide et sans fond de joint après la pose de la porte-fenêtre. Des vides, en particulier dans les angles, sont alors possibles, laissant l'eau passer.

Les défauts propres à la menuiserie

On peut relever :

- Le plus fréquent est le colmatage des drains du seuil ou de la pièce d'appui;
- La déformation ou le retrait des ouvrants non compensés par les joints ;
- Le manque de résistance de la pièce d'appui à la circulation ;
- Le défaut ou l'absence de larmier (goutte d'eau).

Les défauts de la maçonnerie

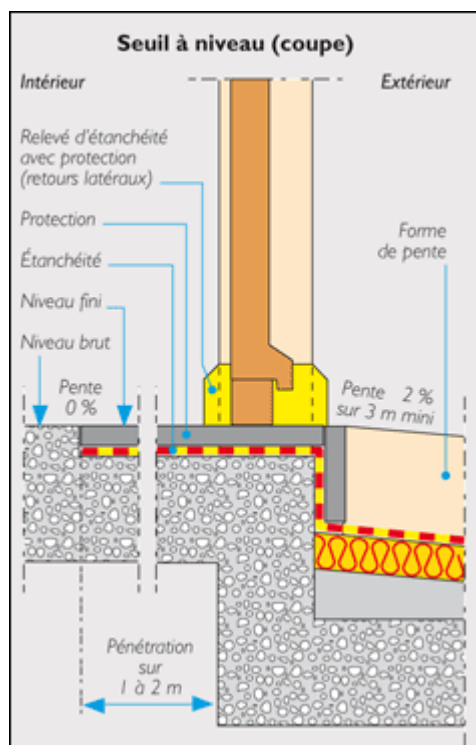
- Liaison incorrecte entre l'huissierie et le tableau verticalement. L'infiltration se manifeste, alors, au niveau du seuil;
- Absence de rejingot ou insuffisance de pente du seuil en béton.

Les défauts conceptuels

Trois cas se présentent fréquemment sur les balcons ou terrasses

- Continuité du plancher avec pose directe de la menuiserie.
- Cette configuration est souvent aggravée par la mise en œuvre de carrelage ou chape en intérieur et en extérieur ;
- Absence ou insuffisance de garde à l'eau. Constatée souvent en réhabilitation de terrasse après mise en œuvre d'un isolant et d'une protection ;
- Pente d'écoulement vers les descentes EP réduite ou rallongée (jusqu'à 2 %, le risque de rétention d'eau subsiste).

Les bonnes façons de faire



Adapter le type et la classe des menuiseries

Bois, aluminium ou PVC blanc, les menuiseries sont soumises à un NF DTU 36.5 unique et sont classées en fonction de leur étanchéité à l'eau battante.

Réduire les risques d'infiltration

- Par une bonne conception prévoyant tous les détails d'étanchéité, d'écoulement des eaux et éclaboussures. Dans tous les cas, il faut veiller à éloigner les eaux de ruissellement et réduire le nombre d'ouvertures exposées aux vents ;
- Par une réalisation soignée et bien supervisée ;
- Par une coordination entre les corps d'état prenant en charge ce risque spécifique ;
- Par un entretien régulier des drains et calfeutrements (inspection, nettoyage et réparation).

Attention ! Prendre en compte l'accessibilité des espaces privés extérieurs aux personnes handicapées ou à mobilité réduite

- Cela implique une adaptation de plusieurs ouvrages dont les balcons, loggias et terrasses privés. La hauteur du ressaut des seuils de menuiseries permettant l'accès à ces ouvrages doit être inférieure à 2 cm.
- Dès la conception générale de l'ouvrage, les solutions constructives permettant d'assurer l'accessibilité requise, mais aussi l'étanchéité des menuiseries, doivent être élaborées.
- Des solutions entraînent des modifications touchant plusieurs corps d'état. Une coordination accrue des équipes en charge des différents lots est de ce fait nécessaire.

LES FONDAMENTAUX

- **Bien concevoir et réaliser la liaison entre menuiserie et maçonnerie pour assurer l'étanchéité de l'ouvrage.**
- **Adapter les solutions constructives au regard de la réglementation sur l'accessibilité.**
- **Prendre en compte et gérer en amont les interfaces très sensibles entre corps d'état.**

Structures à risques multiples : les vérandas



Le constat

Les vérandas sont des structures complexes qui associent plusieurs matériaux. La pathologie rencontrée sur ces ouvrages peut revêtir plusieurs aspects :

- mouvements structurels dus à une instabilité du dallage et/ou des fondations ;
- mauvaise étanchéité à l'air et à l'eau, phénomènes de [condensation](#), dus à la déformation ou aux caractéristiques intrinsèques des matériaux constituant la structure ;
- déformation et casse des éléments de remplissage dues à un mauvais traitement des joints entre les différents matériaux ;
- infiltrations dues à un mauvais traitement de la liaison entre la véranda et le bâtiment existant.

Le diagnostic

Instabilité du support de la véranda

Si la véranda est réalisée sur une terrasse existante, l'instabilité peut provenir :

- d'une absence ou d'une insuffisance de fondations ;
- d'une épaisseur et d'un ferrailage aléatoire.

Si la véranda est réalisée sur de nouvelles fondations, l'instabilité peut provenir :

- de la réalisation de fondations et du dallage non conforme aux règles de l'art (remblai de mauvaise qualité, par exemple) ;
- de l'absence de désolidarisation avec le bâtiment existant.

Non-prise en compte des caractéristiques des matériaux de la structure

S'agissant de l'aluminium, ne pas oublier :

- que sa forte [conductivité thermique](#) peut provoquer des pertes de chaleur par conduction et des condensations en sous-face ;
- que les assemblages imparfaits de profilés entre eux, et spécialement les assemblages à coupes complexes, sont souvent à l'origine d'infiltrations.

S'agissant du bois, ne pas oublier :

- que sa déformation par retrait, associée à une mise en œuvre imparfaite, peuvent conduire à des problèmes d'étanchéité à l'air et à l'eau à la jonction avec les éléments de remplissage, et à des pourrissements en pied de poteaux, par exemple ;
- que l'utilisation du bois impliquera un entretien régulier.

Choix des matériaux de remplissage

Les jonctions de matériaux différents doivent tenir compte des caractéristiques intrinsèques de chacun d'eux (coefficient de dilatation, par exemple).

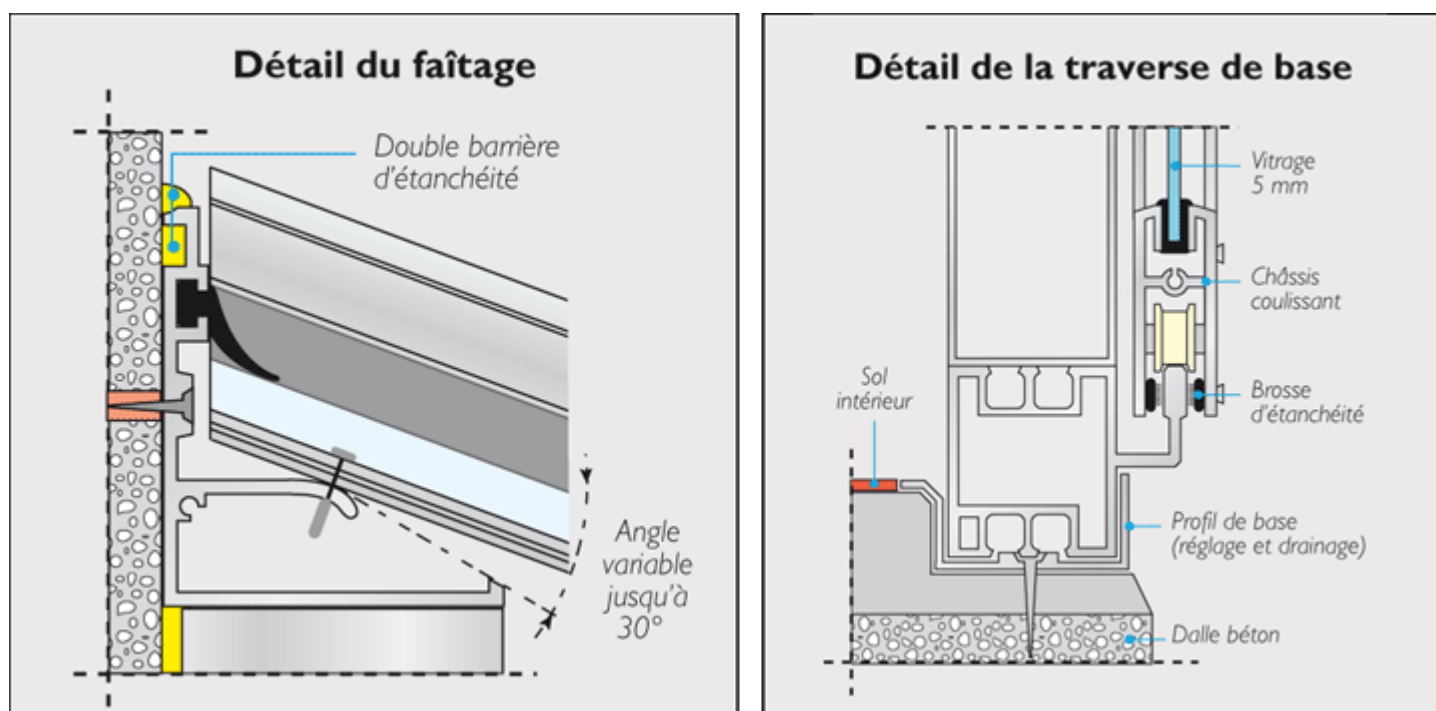
Sinon, les risques sont :

- un embuage du double vitrage dû à un mauvais drainage des [feuillures](#) ;
- des déformations, glissements, casses des éléments de remplissage en matériaux de synthèse utilisés en couverture ;
- des infiltrations aux jonctions entre allèges et éléments de remplissage ;
- des déformations et fissurations des allèges maçonnées.

Liaison avec le bâtiment existant

Qu'elles soient horizontales ou verticales, ces liaisons sont souvent à l'origine d'infiltrations dues à :

- un recouvrement insuffisant de la couverture par le profilé de liaison avec le mur existant ;
- une mauvaise réalisation des solins en rive de couverture ;
- l'absence de joints d'étanchéité entre les éléments de structure et le bâtiment existant ;
- la pose des profilés aluminium directement sur le carrelage de la véranda avec un simple joint mastic.



Les bonnes façons de faire

- Veiller au bon respect du NF DTU 13-3 partie 3 (dallages des maisons individuelles) et du DTU 13.11 Fondations superficielles.
- Pour ce qui concerne la mise en œuvre des menuiseries métalliques, appliquer les dispositions du NF DTU 36.5.
- En ce qui concerne les travaux de vitrerie, suivre les prescriptions du NF DTU 39.
- Utiliser des profilés aluminium à rupture de pont thermique.
- Tenir compte des coefficients de dilatation thermique élevés des éléments de remplissage en matériaux de synthèse.
- Tenir compte du retrait des éléments de structure en bois (et assurer leur protection).
- Consulter les communiqués de la C2P de l'AQC.

LES FONDAMENTAUX

- **Réaliser des fondations identiques à celles d'une maison individuelle.**
- **Soigner particulièrement toutes les jonctions entre matériaux différents.**
- **Assurer une bonne ventilation pour limiter les phénomènes de condensation.**

ENVELOPPES ET REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS

Micro-organismes en façades



Le constat

Qu'elles soient de couleur verte, rouge, bleue, jaune orangé, grise ou noire, les salissures des revêtements de façade sont la manifestation de la présence de certains micro-organismes.

Comme ils ont besoin d'eau pour germer et proliférer, il appartient aux constructeurs de limiter la création de zones propices à l'arrivée et au développement de ces micro-organismes.

Le diagnostic

Les principaux micro-organismes responsables des salissures en façade

- **Les bactéries** vivent avec ou sans air, ont besoin d'eau liquide et peuvent avoir une action corrosive sur les revêtements (bactéries sulfo-oxydantes). Elles sont présentes dans les salissures de couleur verte ou noire.
- **Les algues** ne vivent pas aux dépens du substrat, mais secrètent des acides organiques qui agissent chimiquement sur le support. L'insertion des cellules dans les pores a une action mécanique sur le revêtement. Elles ont besoin d'une forte humidité pour leur croissance. Elles sont présentes dans les salissures de couleur verte, rouge, bleue ou noire.
- **Les champignons** secrètent des acides organiques qui peuvent attaquer le support. Ils sont présents dans les salissures de couleur brune à noire.
- **Les lichens** vivent collés à la surface, mais les thalles peuvent s'enfoncer de plusieurs millimètres dans le support. Ils secrètent de l'anhydrite carbonique et des produits acides qui ont une action chimique sur le carbonate de calcium. Ils sont présents dans les salissures de couleur jaune orangé à gris.
- **Les mousses** affectionnent les milieux humides. Elles produisent des acides organiques. Les champignons, les mousses et les lichens appartiennent à la famille des végétaux [cryptogamiques](#).

Les facteurs influant sur le développement des micro-organismes

- **L'eau** est indispensable pour la vie des micro-organismes. Elle joue un rôle dans les échanges gazeux et dans le transport des substances nutritives. C'est le vecteur de contamination par excellence.
- **La température** : à chaque espèce de micro-organismes correspond une température optimale de croissance. Seul le gel peut provoquer la disparition des micro-organismes.
- **Le pH** a un rôle important dans le développement des micro-organismes. Chaque espèce possède une zone optimale.

- **Les conditions nutritives** : le développement des micro-organismes est lié à la présence d'éléments chimiques dans le milieu.
- **L'exposition** : il faut souligner l'importance de l'orientation d'un bâtiment vis-à-vis de la pluie battante et des vents dominants.

Les bonnes façons de faire

- Prendre en compte la gestion du cheminement du ruissellement de l'eau sur les façades : c'est le vecteur de propagation le plus important des micro-organismes. Ce ruissellement est d'autant plus important à certains endroits spécifiques : principalement les arêtes ([chevronnières](#), haut d'un mur, ...) et au niveau des points singuliers.
- Éviter la stagnation de l'eau sur les façades : faire un bon choix architectural et assurer un bon traitement des points singuliers pour éviter de créer des zones propices à l'implantation des micro-organismes : choix d'une pente ou d'une saillie, traitement des arêtes horizontales.

LES FONDAMENTAUX

- **Adopter dans la mesure du possible des choix architecturaux qui limitent les zones sensibles.**
- **Porter attention aux points singuliers de la façade.**

ENVELOPPES ET REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS

Dégradation des lasures et peintures sur menuiseries extérieures en bois



Le constat

Les désordres affectant les peintures et [lasures](#) peuvent se manifester sous plusieurs formes : cloquage, écaillage, tachage et sensibilité à l'eau (ramollissement et déformation du film).

L'observation des interfaces de décollement (côté peinture ou lasure et côté subjectile) permet souvent d'en identifier les causes.

Le diagnostic

Cloquage

Pour qu'il y ait formation d'une cloque, il faut qu'un liquide se vaporise sous le film de peinture. Il peut s'agir de produit solvant ou d'eau.

Si le cloquage se produit dans les heures ou les jours qui suivent des travaux effectués par temps chaud et sec, il peut s'agir d'une application trop généreuse. Le film sèche en surface et bloque l'évaporation du solvant à cœur. Sous l'effet de la chaleur, les vapeurs de solvant exercent une pression qui déforme le film encore souple.

Si le cloquage est un peu différé, il peut s'agir d'une application sur un support trop humide ou sur un bois exposé grisaille et insuffisamment poncé avant peinture. On voit alors, à l'arrière de la cloque, quelques microns de lignine

dégradée incapable de résister aux tensions engendrées à l'interface bois-peinture, et/ou aux variations dimensionnelles du bois.

Le même phénomène existe pour les lasures satinées dès lors qu'elles sont filmogènes.

Écaillage

Ce phénomène se rencontre généralement lors d'une rénovation avec conservation des anciennes peintures. Le décollement se produit à l'interface bois/ancienne peinture, car celle-ci n'a plus suffisamment de souplesse pour résister aux tensions engendrées par l'application de la nouvelle peinture (lavage donc gonflement, séchage donc retrait, mise en tension permanente).

Le même phénomène peut se produire avec des bois exotiques neufs ou du chêne. La bonne adhérence de la peinture est conditionnée par un minimum de pénétration de la première couche : or, elle n'est pas toujours suffisamment diluée, afin de faire le chantier en deux couches et non en trois, comme le demande pourtant le DTU 59.1.

Tachage avec ramollissement et cloquage par temps de pluie

Un décapage d'anciennes peintures par bain alcalin (soude ou potasse) est à l'origine de taches brunâtres au droit des gerces et des assemblages. Malgré les rinçages, des bois de qualité médiocre, avec des assemblages trop lâches, ont absorbé tellement d'alcalis qu'il en réapparaîtra toujours.

La plupart des peintures pour bois sont à base de liants [glycérophthaliques](#), ou plus généralement alkydes sensibles à la [saponification](#) ou à l'hydrolyse (en présence d'un subjectile humide), ce qui peut conduire à la dégradation du liant.

Rebouchages

En extérieur, les rebouchages ne sont pas recommandés, compte tenu des variations constantes dimensionnelles des pièces de bois. Dans le cadre d'une rénovation, le maître d'ouvrage doit donc accepter de voir les gerces ou faire procéder au remplacement de pièces trop abîmées.

Les bonnes façons de faire

Nature des bois

Prendre en compte la spécificité des subjectiles pour les travaux de préparation et le choix du système de peinture :

- les lasures sont déconseillées sur les bois feuillus durs (frêne, orme) et sur supports alcalins (panneaux à liant phénolique) ;
- les bois à sécrétion antiseccative, tels que l'iroko, le frêne et l'orme, nécessitent une impression spéciale ;
- les bois à pH acide peuvent présenter des défauts de finition et provoquer des coulures dues à l'oxydation des fixations (Western Red Cedar).

Humidité

Réaliser les travaux sur bois secs. Lors de la mise en œuvre, l'humidité doit être inférieure à 18 % pour les bois massifs exposés aux intempéries, à 12 % pour les panneaux et lambris.

Assemblages

Le menuisier doit concevoir des assemblages qui ne se transforment pas en pièges à eau.

État de surface

Préparer correctement les bois restés plusieurs mois à l'extérieur sans protection. Il faut soigneusement les poncer, et pas seulement les brosser, pour éliminer la lignine dégradée en surface par le rayonnement U.V. solaire (cette dégradation se traduit par le grisaillement du bois). Certains bois exotiques doivent être dégraissés.

Couleurs

Privilégier les teintes claires, qui ont une meilleure longévité. Et si elles farinent autant que les teintes foncées, le phénomène est moins visible.

Choix des revêtements

S'assurer impérativement auprès du fabricant que les primaires et finitions sont bien adaptées aux travaux prévus : neuf ou rénovation, essences de bois...

Mise en œuvre

Se conformer au DTU 59.1. Il impose une couche d'impression, une couche intermédiaire et une couche de finition, appliquées à la brosse en « tirant » la peinture avec une dilution correcte pour les deux premières, et un léger ponçage entre chaque. Cette méthode est un gage de longévité et de qualité d'aspect.

LES FONDAMENTAUX

- **Adapter le choix du produit à l'essence de bois.**
- **Appliquer la peinture dans le respect du DTU, et selon les prescriptions du fabricant, pour ce qui concerne le nombre de couches, les dilutions et l'épaisseur (pas de surépaisseur).**
- **Réaliser les travaux dans des conditions météorologiques adaptées, entre 5 et 30 °C, sans pluie ni vent sec, avec un taux d'humidité relative de l'air ambiant inférieur à 18 %.**

Condensations dans les logements



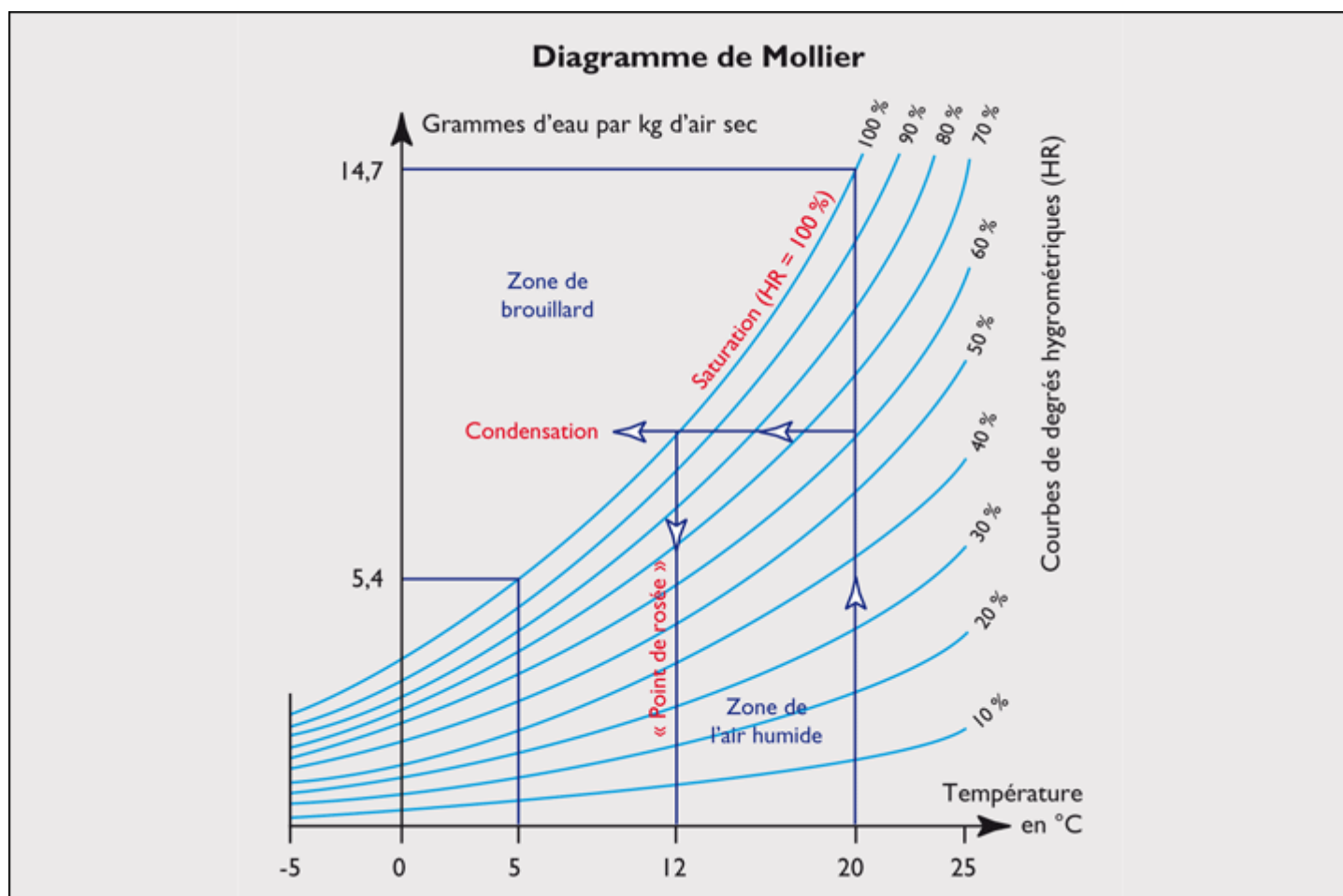
Le constat

Auréoles et taches de moisissures sont les principaux signes de condensation dans les logements, visibles dans les endroits faiblement ventilés : [cueillies](#) de plafonds, encoignures des cloisons, parois des penderies, ...

Passé un certain stade de gravité, ces dommages sont souvent confondus par les occupants avec des fuites ou des infiltrations. Ils sont susceptibles d'avoir de sérieuses répercussions sur le plan de la santé et du confort des occupants, mais aussi au niveau de la conservation du bâti.

Le diagnostic

L'air ambiant contient de la vapeur d'eau en quantité variable. Elle provient de l'évaporation des eaux terrestres, de la respiration animale et végétale, ainsi que des activités humaines (cuisson, douche...). À tout moment, l'air extérieur ou l'air d'un local contient une certaine quantité de vapeur d'eau, appelé humidité relative (HR). À une température et une pression donnée l'air ne peut contenir qu'une quantité limitée d'eau sous forme de vapeur. Cette quantité maximale croît avec la température. L'ensemble de ces valeurs limites peut être obtenu par simple lecture sur le diagramme de Mollier.



La condensation est la transformation en eau liquide de la quantité excédentaire de vapeur d'eau contenue dans un air saturé (HR = 100 %).

Les condensations superficielles

Elles peuvent s'observer sur les zones froides tels que sur les simples vitrages des menuiseries, sur les parois opaques (murs), les sols (carrelages, par exemple) ou les dallages sur terre-plein. Essentiellement hivernal, ce phénomène est lié à la tendance de la paroi à laisser passer vers l'extérieur les calories d'un local chauffé. On l'évalue sous la forme d'un coefficient de transmission thermique (K) qui dépend de l'épaisseur de la paroi et des matériaux qui la constituent.

Lorsqu'une paroi a une mauvaise résistance thermique (coefficient K élevé), c'est le cas des simples vitrages, la température surfacique peut être très inférieure à celle de l'air ambiant. L'air au contact de cette surface se refroidit, et une partie de la vapeur d'eau qu'il contient se condense en eau liquide. Cette surface deviendra donc rapidement le siège de condensations, voire de ruissellements dès que la température extérieure sera très inférieure.

En revanche, lorsqu'une paroi a une bonne résistance thermique (coefficient K faible), la température surfacique du mur est voisine de celle de l'air ambiant. Il y a peu de risques que l'air ne se condense à proximité de cette surface.

Les condensations à l'intérieur d'une paroi

La pression de vapeur d'eau étant généralement plus importante à l'intérieur qu'à l'extérieur, celle-ci migre au travers des parois depuis l'intérieur vers l'extérieur. De plus les matériaux de construction (béton, terre cuite, plâtre...) présentent un certain degré de résistance à la diffusion de vapeur d'eau, ils permettent à une quantité plus ou moins importante de vapeur d'eau de passer.

En l'absence de frein-vapeur côté intérieur, la vapeur d'eau se diffuse au travers de la paroi. Sous l'effet de l'abaissement de la température, elle va se condenser au droit du [point de rosée](#). L'eau ainsi formée peut provoquer des dommages (humidification des isolants...).

Dans le cadre de la construction de bâtiments performants type BBC, l'étanchéité à l'air est un critère fondamental.

- La ventilation des pièces doit être parfaitement dimensionnée et adaptée au logement afin d'éviter un blocage de la vapeur d'eau à l'intérieur du logement.
- Le mauvais positionnement du [pare-vapeur](#) entraîne également un blocage de vapeur d'eau.

Les facteurs aggravants traditionnels

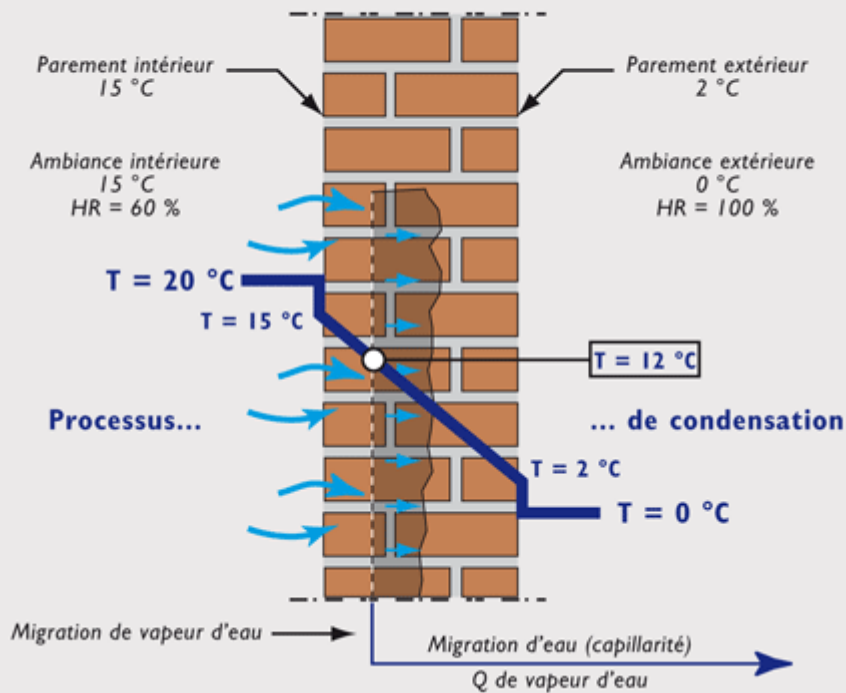
- Une surproduction de vapeur d'eau (suroccupation du logement, vapeur de cuisson, lessives et séchages...).
- Un chauffage insuffisant dans les pièces principales ou ponctuellement interrompu.
- L'obstruction volontaire ou non (encrassement) des orifices d'entrée ou d'extraction d'air.
- L'arrêt volontaire ou non (panne) de la VMC.
- Le branchement d'une hotte aspirante sur une extraction.
- La mise en œuvre, dans le cadre d'une rénovation, d'un revêtement étanche à la vapeur d'eau en façade.
- Le remplacement de menuiseries extérieures sans mise en place d'un système de ventilation.

Les bonnes façons de faire

- **Veiller à la continuité de l'isolation thermique**, ou traiter les points singuliers (jonctions plafonds/murs, abouts de planchers, prises de courant, passages de câbles, percements en façade, coffres de volets coulants, etc.), **afin d'éviter l'apparition de ponts thermiques et l'apparition éventuelle de condensations superficielles.**

Condensations internes dans un mur

dont les parements sont soumis à des conditions différentes



- **Bien prendre en compte la nature des matériaux du mur existant** lors de travaux d'amélioration ou de rénovation énergétique. Selon le cas, la mise en place d'un pare-vapeur ou d'un frein-vapeur se révélera nécessaire pour prévenir la condensation interne.
- **Assurer un renouvellement de l'air suffisant**
Ce point est particulièrement sensible pour les bâtiments étanches à l'air (BBC).
L'efficacité d'une installation de renouvellement d'air doit faire l'objet d'une étude et d'un calcul préalable :
 - nature de l'installation (simple ou double flux) ;
 - puissance du groupe VMC suivant le nombre de pièces du logement ;
 - type, dimension et position des bouches d'extraction d'air vicié ;

- adaptation du système de ventilation au mode de chauffage (appareils à combustion).
- **Prévoir un revêtement de façade ayant une bonne perméabilité à la vapeur d'eau** : vérifier la compatibilité du revêtement d'imperméabilisation de la façade avec le complexe isolation/ventilation.
- **Informé l'occupant des bonnes conditions d'usage** :
 - maintenir en permanence une température suffisante dans toutes les pièces, y compris dans les pièces inoccupées ;
 - veiller au bon entretien des installations de ventilation.
- **En neuf, apporter un soin particulier concernant** :
 - le dimensionnement du système de ventilation ;
 - les complexes d'isolation à mettre en œuvre (les conditions climatiques, l'orientation des façades entrent en jeu, par exemple) ;
 - les points de vigilance et de contrôle à opérer lors des différentes étapes de la construction.

LES FONDAMENTAUX

- **Maîtriser les ponts thermiques.**
- **Mettre en place un complexe d'isolation tenant compte de la nature des matériaux existants, en réhabilitation.**
- **Dans tous les cas, assurer une ventilation permanente et contrôlée.**

ÉQUIPEMENTS

Fuites de canalisations en cuivre incorporées dans les dalles



Le constat

Les canalisations en cuivre sont largement utilisées en distribution d'eau. À ce titre, on les retrouve fréquemment incorporés dans les dalles.

Les tubes de cuivre peuvent être le siège de corrosion internes (corrosion uniforme - eau bleue -, par piqûres (« pitting » 1 et 2), corrosion - érosion) ou bien externes (principalement sur les tubes encastrés sous gaine).

Le diagnostic

Les percements sont la conséquence d'une corrosion (phénomène chimique), d'une [abrasion](#) (phénomène mécanique) et parfois des deux.

- **La corrosion** apparaît sous forme de piqûres, phénomène autrement appelé « [pitting](#) ».

La corrosion externe est relativement fréquente. Elle provient du passage de l'eau par les arases de gaines au niveau du sol ou par les raccords de gaine de protection non étanches. L'eau provient des lavages de sol et contient donc des produits de nettoyage (présence de chlorures et de sulfates). La concentration de ces sels agressifs dans les points bas entraîne une attaque rapide et caractéristique.

La corrosion interne peut être due à plusieurs facteurs qui rendent complexe le phénomène. Les principaux sont :

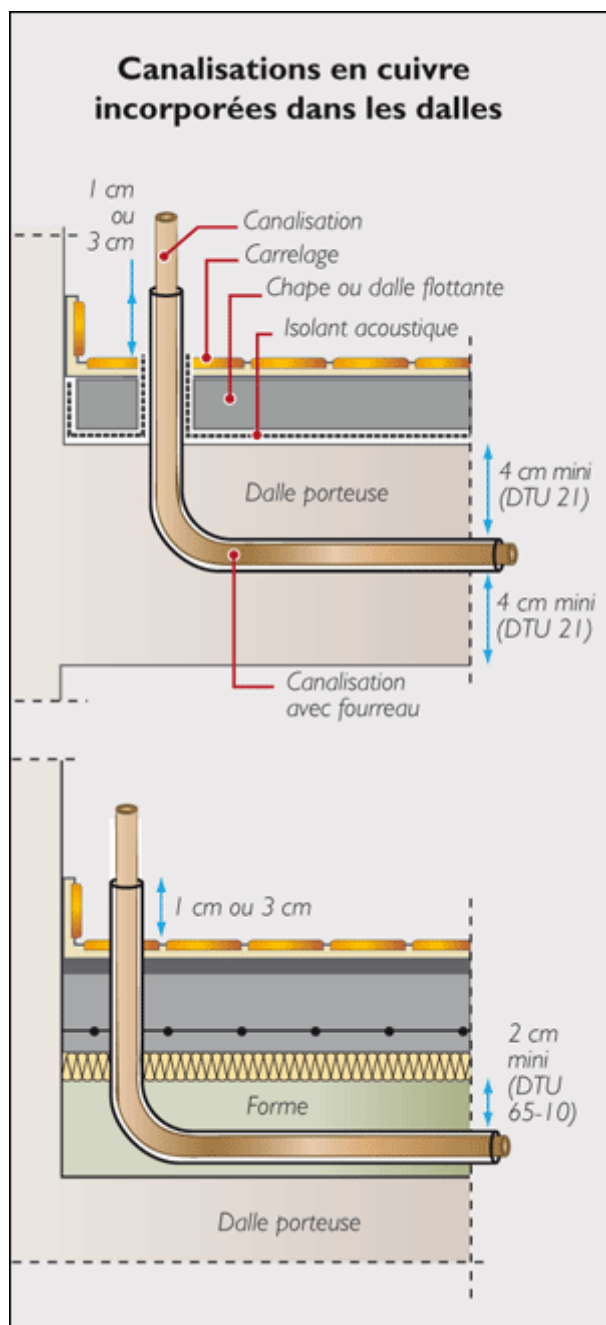
- la nature de l'eau (minéralisation, température, aération, pollution) ;
- la nature et l'état métallurgique du métal ;
- des dépôts superficiels exagérés ;
- les couples galvaniques (« effet de pile » par différence locale de potentiel électrique) ;
- une contrainte dans le tube (déformation excessive, par exemple) ;
- la vitesse du fluide.

Le « pitting I » apparaît principalement sur les réseaux d'eau froide assez fortement minéralisée, sur du cuivre [recuit](#) et [écroui](#) traité thermiquement lors des assemblages par [brasure](#). Ceci est lié à la présence d'un film de résidus carbonés à la surface du tube (craquage des huiles d'étirage lors de la pyrolyse) ou à la formation de certains oxydes apparaissant à haute température (opération de façonnage en cours de chantier). La plupart des industriels ont pratiquement supprimé ces résidus carbonés.

Le « pitting II » apparaît sur les réseaux d'eau chaude peu minéralisée avec un rapport bicarbonate/sulfates inférieur à 1. Ce phénomène est accessoire en France car localisé dans quelques régions à risque.

- **La corrosion - érosion** n'apparaît que dans les circuits bouclés. En général, ce phénomène est lié à la vitesse de circulation de l'eau et à la géométrie de l'installation. La présence de particules solides ou gazeuses dans l'eau peut accélérer la corrosion.

Les bonnes façons de faire



- Le fourreau doit être continu et étanche, et doit dépasser de l'arase supérieure du sol fini de 3 cm minimum dans une pièce humide, et de 1 cm dans les autres pièces. Il ne faut jamais raser la gaine.
- Utiliser des tubes conformes à la norme NF A 51-120, et choisis dans une fabrication de la marque NF. Ils conviennent à la distribution des eaux conformes aux exigences de qualité réglementaires, notamment relatives au pH sans que celui-ci ne puisse descendre en dessous de 6,5.
- Éviter la surchauffe des tubes lors de l'exécution des assemblages.
- Dans certaines régions possédant des eaux douces généralement traitées (floculation au sulfate d'aluminium), il convient d'obtenir sur place des renseignements sur la qualité de l'eau liée à ce type de sinistres.
- Pour la corrosion - érosion :
 - limiter dans un premier temps la vitesse de circulation de l'eau à moins de 0,5 m/s (5 m/s en régime intermittent, ou 2 m/s dans le cas de période plus longue - plus de 15 minutes) ;
 - concevoir un schéma de circulation en évitant les changements de direction brutaux ;
 - éviter la présence de particules solides ou gazeuses.
- La conception et la réalisation des circuits d'eau sanitaire et de chauffage sont très techniques. Elles demandent une formation adaptée des intervenants.

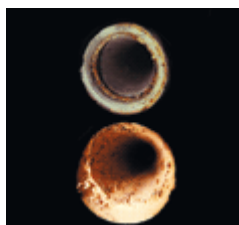
NB : L'emploi de brasures contenant des additions de plomb dans les installations fixes de productions, de traitement et de distribution destinées à la consommation humaine est interdite (arrêté du 10 juin 1996).

LES FONDAMENTAUX

- **Bien analyser la nature de l'eau.**
- **Veiller à la bonne conception et réalisation du circuit d'eau sanitaire et de chauffage.**
- **Privilégier les tubes à la traçabilité vérifiable.**

ÉQUIPEMENTS

Corrosion des circuits d'eau sanitaire en acier



Le constat

L'acier [galvanisé](#) est un matériau traditionnel, utilisé depuis de nombreuses années pour les distributions d'eau sanitaire.

Toutefois, dans certaines circonstances, les phénomènes de [corrosion](#) peuvent s'amorcer et peuvent conduire à des désordres tels que la pollution de l'eau (dissolution de zinc et de fer dissous, effet de sable, eau rouge...) et de perforations, dans des délais parfois courts.

Le diagnostic

L'emploi des tubes en acier galvanisé est soumis à des règles strictes de conception, mise en œuvre et entretien. Ne pas les respecter expose aux désordres suivants, par ordre d'apparition :

- Coloration de l'eau (jaune à rouge) aux points de puisage à utilisation irrégulière ;
- Pustules à l'intérieur des manchettes témoins ;
- Colmatage des préfiltres des robinetteries ;
- Fuites au droit des raccords vissés ;
- Perforation de conduite, en dernier lieu.

Plusieurs phénomènes sont à l'origine de ces désordres

- **La corrosion par oxygène dissous.**
Elle donne lieu à des piqûres plus ou moins profondes avec un dépôt d'hydroxyde ferreux - $\text{Fe}(\text{OH})_2$ - lui-même recouvert d'hydroxyde ferrique - $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (pustules de corrosion).
- **La corrosion galvanique.**
Deux métaux différents, mis en présence dans un même milieu aqueux, deviennent respectivement anode et cathode suivant leur facilité respective à s'ioniser. Plus leur différence de potentiel est importante, plus grande va être la dissolution de l'anode.

- **La corrosion par aération différentielle.**
Un élément métallique, immergé dans une solution aqueuse et soumis à une oxygénation plus importante qu'un autre élément du même métal, va réagir en anode vis-à-vis du second, qui va donc se corroder.
- **La corrosion par développement de micro-organismes.**
Ce phénomène ne peut intervenir qu'en cas de stagnation prolongée de l'eau dans le réseau. L'action de bactéries sulfato-réductrices peut provoquer des corrosions spectaculaires.

Les bonnes façons de faire

- **Attacher une importance particulière à la qualité des tubes.**
Le respect des critères minimum de fabrications imposées par les normes est essentiel pour la pérennité de l'installation. En effet, la qualité de l'acier et celle de l'élaboration du tube sont aussi importantes que l'épaisseur et la régularité de la galvanisation dans la pathologie relevée sur ce type d'installation. Vérifier l'affichage à intervalles réguliers (tous les 1,5 m) de la norme NF de fabrication.
- **Vérifier la qualité des eaux.**
Il faut rappeler que toutes les eaux distribuées ne sont pas aptes à être véhiculées dans des tubes en acier galvanisé, même après traitement des eaux. D'autant que ce traitement est parfois interdit (cf. article R1321-55 du code de la Santé publique et la norme NF P 40.201 (DTU 60.1)).
- **Soigner la qualité de l'installation.**
 - Le concepteur et le réalisateur doivent veiller à assurer une parfaite compatibilité des métaux entrant dans la composition de l'installation pour éviter la création de couples galvaniques. En particulier, la présence de cuivre en amont du réseau en acier galvanisé est interdite.
 - Ne pas dépasser 60 °C de température, et limiter à 53 °C, voire moins, lors des premiers mois d'utilisation, car les hautes températures favorisent le dégazage de l'oxygène et la dissolution du zinc.
 - Réfléchir à la géométrie du réseau et au positionnement judicieux des purgeurs, pour faciliter la purge des gaz dissous, point clé pour la longévité de l'installation.
 - Soigner la réalisation des assemblages, en particulier celle du filetage et de l'étanchéité au droit des raccords vissés, pour réduire les risques de corrosions localisées ou aéro-différentielles
- **Appliquer un traitement à l'eau.**
Les traitements de l'eau sont un moyen de lutter contre la corrosion et l'entartrage dans les installations. Ils consistent à injecter en permanence un produit spécifique (traitement filmogène). Ils doivent faire l'objet d'un Avis Technique. Un contrat d'entretien est vivement recommandé pour vérifier la bonne marche du système, ainsi que les doses de produit injecté.
- **Entretien l'installation.**
L'ensemble des critères de compatibilité avec une installation en acier galvanisé doit être vérifié non seulement lors de la conception, mais tout au long de l'exploitation du réseau.

Le cahier d'entretien devra attester :

- d'analyses régulières des caractéristiques physico-chimiques de l'eau brute ;
- des contrôles de réglages et d'alimentation en produits de traitement d'eau ;
- de la surveillance de la température de l'eau distribuée ;
- de l'inspection des manchettes témoin.

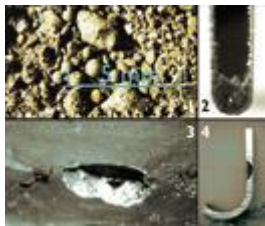
Des précautions particulières doivent être prises pour éviter la stagnation prolongée de l'eau et le développement de micro-organismes.

LES FONDAMENTAUX

- **Veiller à la qualité des tubes.**
- **Vérifier la qualité de l'eau.**
- **Soigner particulièrement les assemblages.**
- **Entretien régulièrement l'installation et éviter les périodes de stagnation de l'eau.**

ÉQUIPEMENTS

Embouage et corrosion des circuits de chauffage



Le constat

La qualité de l'eau circulant dans le système de chauffage est essentielle pour son bon fonctionnement et son rendement énergétique.

Au fil du temps, l'[embouage](#) et l'entartrage d'un circuit entraînent l'obstruction partielle ou complète du réseau, et également la corrosion de certains composants, notamment des émetteurs en tôle d'acier.

Le diagnostic

Les origines de ces phénomènes sont nombreuses

- La qualité physico-chimique de l'eau utilisée, mesurée par de nombreux paramètres : le pH, la dureté (teneur en calcaire dissout), la conductivité (approximation de sa minéralisation totale), les taux de fer/chlorures/sulfates, la présence de particules abrasives en suspension.
- La [calamine](#) couvrant à l'origine les faces internes des tubes et tôles d'acier assemblés pour former le circuit de chauffage.
- Les résidus de construction. Les liaisons des tubes par des raccords mécaniques ou à souder sont à l'origine de déchets (morceaux de filasse, métal d'apport de soudure autogène ou de soudo-brasure, particules métalliques...).
- La corrosion : cette réaction d'oxydation, qui a lieu entre l'oxygène de l'eau et les parties métalliques de l'installation, ramène l'acier à son état d'origine en oxydes ferreux et ferriques, insolubles et se déposant sous forme de boue dans l'installation.
- Les interactions entre les différents métaux employés dans l'installation peuvent aggraver la corrosion en provoquant un phénomène de pile électrochimique.

- La typologie et la température des installations, qui peuvent entraîner la prolifération de bactéries (ferrobactéries thermorésistantes) qui aggravent le processus de corrosion.

Lorsqu'il atteint un niveau conséquent, l'embouage se traduit par :

- Des surchauffes locales de la chaudière. Elles conduisent à des vaporisations locales de l'eau et, à terme, à l'éclatement des parties qui atteignent les limites d'élasticité du métal.

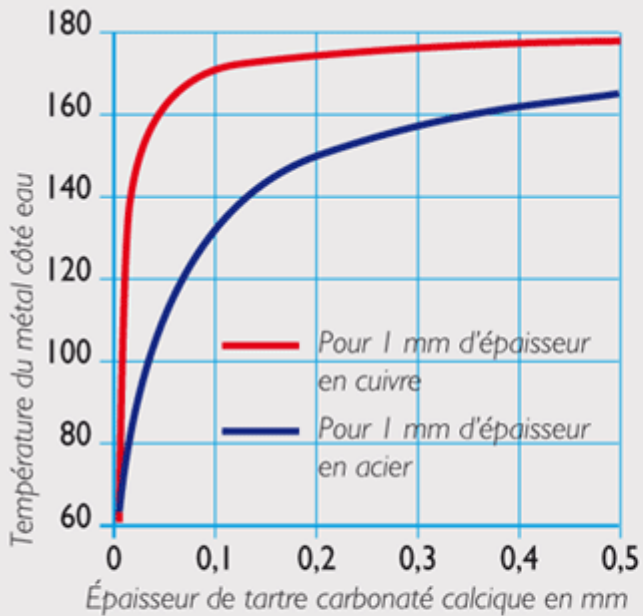


Schéma 1. La température croît très rapidement quand l'épaisseur de tartre augmente au niveau de la chaudière.

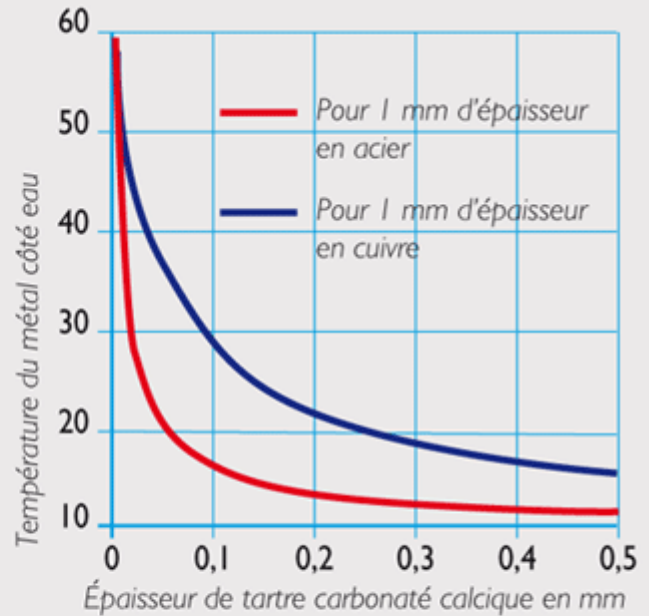


Schéma 2. La température décroît très rapidement quand l'épaisseur de tartre augmente au niveau des radiateurs.

- Une baisse d'efficacité des échangeurs de chaleur (impossibilité d'atteindre une température de confort dans les locaux concernés). Les radiateurs sont froids dans les parties basses. Pour arrêter les gargouillements dans les radiateurs, les utilisateurs doivent les purger pour évacuer les gaz qui s'accumulent en partie haute.
- Des fuites d'eau apparaissent sur les faces externes de radiateurs en acier.
- De fréquents appoints d'eau au niveau d'un chauffage individuel. Des écoulements d'eau se produisent parfois au niveau du groupe de sécurité de la chaudière.

Au niveau de la chaudière, les dépôts qui se forment sur les faces internes de l'installation peuvent conduire à la déformation, voire l'éclatement des surfaces de chauffe. En effet, la température de la paroi chauffée (côté eau) est de plus en plus élevée quand l'épaisseur de tartre carbonaté calcique augmente (voir schéma 1).

Au niveau des radiateurs, les dépôts (côté eau) réduisent la température de surface (côté air). La perte de température est proportionnelle à l'épaisseur du dépôt (voir schéma 2).

Sous les dépôts, la corrosion naît de la formation d'une pile galvanique, que des apports d'eau fréquents, qui enrichissent l'eau du circuit en minéraux et en oxygène dissout, favorisent. Ces corrosions peuvent conduire, à terme, à une perforation du métal sous-jacent.

Les bonnes façons de faire

Traitement préventif

- Nettoyer et rincer impérativement l'installation lors des essais de mise en pression afin d'éliminer la calamine et les résidus de mise en œuvre générateurs de boue.
- S'assurer que l'eau de remplissage et d'appoint est adoucie, voire désionisée, afin de réduire sa conductivité et d'exclure la précipitation de composés minéraux.
- Dans les circuits « tout acier », ajouter des produits à base de soude, d'orthophosphates de sodium et de carbonates de sodium pour rester dans le domaine de passivité du métal. Prévoir aussi des [inhibiteurs de corrosion](#), des séquestrants d'ions alcalino-terreux, des réducteurs d'oxygène et des produits de suspension-dispersion des boues.
- Mettre en place un compteur volumétrique sur l'eau d'appoint, ce qui permet d'évaluer la quantité d'eau ajoutée et de produit de traitement nécessaire.

LES FONDAMENTAUX

- **Nettoyer et rincer le circuit avant mise en service.**
- **Vérifier la bonne qualité de l'eau de circulation et d'appoint, et si nécessaire la traiter, dans le respect de la réglementation.**

ÉQUIPEMENTS

Chauffage par le sol à eau chaude



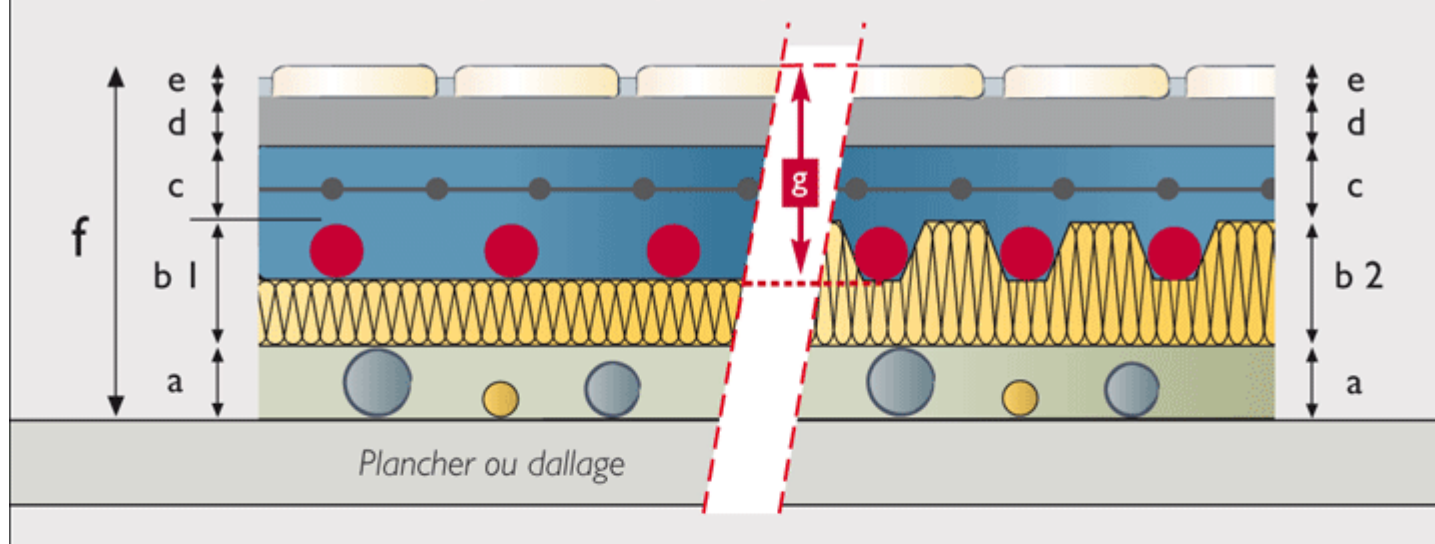
Le constat

Afin d'éviter des désordres sur les revêtements durs liés aux effets thermiques et à la juxtaposition de différents ouvrages, la mise en œuvre d'un chauffage par le sol à eau chaude doit être prise en compte dès la conception par l'ensemble des corps d'état concernés, afin d'éviter des fuites sur le réseau ou diverses fissurations liées aux effets thermiques. Elle doit aussi faire l'objet d'une exécution soignée et coordonnée.

Le diagnostic

Un plancher chauffant à eau chaude est habituellement réalisé par plusieurs corps d'état : maçon (chape de [ravoilage](#) éventuelle sur le dallage pour le passage des canalisations ou réseaux autres que les canalisations de chauffage), chauffagiste (isolant + canalisations de chauffage en cuivre ou matériaux de synthèse (PE, polybutène), maçon ou le plus souvent carreleur (chape d'enrobage des canalisations et pose du revêtement de sol).

Exemple de coupe de plancher chauffant



Élément	Hauteur	Réservation
a Ravaillage	a = plus grand diamètre incorporé ou mise à niveau cm
b Sous-couche isolante	b1 = épaisseur de la sous-couche + tube b2 = épaisseur de la sous-couche, y compris plot cm
c Couche d'enrobage	Au-dessus du point le plus haut tube b1 ou plot b2 c ≥ 3,5 cm sur isolant SC1 cm c ≥ 4 cm sur isolant SC2a cm
Mortier de pose	d ≥ 4 cm (8 cm maximum) en pose adhérente d ou en pose désolidarisée cm
Mortier-colle	d = 0,5 cm (forfaitaire en pose collée) cm
e Carreaux céramiques ou analogues	e = épaisseur du revêtement cm
f Hauteur totale de la réservation	f = a + b + c + d + e cm

Attention : l'épaisseur totale **g** est limitée à 7 cm dans le cas de plancher réversible.

Exemple pose scellée sur isolant SC1a de 5 cm d'épaisseur :
a = 4 cm + **b1** = 5+2 cm + **c** = 3,5 cm + **d** = 5 cm + **e** = 1 cm,
la réservation totale est de 20,5 cm.

Les désordres les plus fréquents concernent les revêtements de sols, principalement les carrelages collés ou scellés :

- microfissuration, fissuration du carrelage, portant sur tout ou partie de l'ensemble du complexe chape du revêtement/chape d'enrobage ;
- tassement ou écrasement en partie courante ou en rive de dallage.

Leur origine est principalement liée à :

- l'isolant : trop compressible ou mal mis en œuvre (discontinuité, défaut de planéité du support dallage) ;
- la réalisation de l'installation de chauffage : délai de mise en chauffe par rapport à la réalisation du carrelage non respecté, température du fluide caloporteur ou à la surface du revêtement trop élevée, non-respect de la pression de ville pendant le bétonnage ;
- l'enrobage des canalisations : canalisations insuffisamment enrobées, retrait excessif du mortier avec treillis soudé ou fibres (métalliques ou synthétiques), mortier sous-dosé (résistance mécanique insuffisante) ou surdosé (retrait plus important) ;

- l'incompatibilité des différents constituants entre eux (primaires, mortiers- colles, joints) ;
- la réalisation du revêtement : absence ou insuffisance de joints de fractionnement et de joints périphériques.

Certains phénomènes d'embouage, de corrosion (en cas de canalisations métalliques), voire des percements accidentels, peuvent aussi être constatés, comme dans des réseaux de chauffage traditionnel (cf. fiches E6 et E7).

Les bonnes façons de faire

- Utiliser des isolants conformes au DTU 65.15 P1 ou certifiés ACERMI ISOLE I3/I4 ou I5 ;
- Avoir une température du fluide inférieure à 50 °C et de surface inférieure à 28 °C. Prévoir les dispositifs nécessaires à la maintenance ;
- Respecter la mise en chauffe progressive avant la réalisation du carrelage ;
- Respecter les délais de séchage des chapes et contrôler leur humidité résiduelle ;
- Respecter les épaisseurs minimales d'enrobage des canalisations ;
- Respecter pour l'ensemble chape d'enrobage et revêtement les [joints de fractionnement](#) et/ou périphériques. Attention, la pose de carreaux de grand format en diagonale peut conduire, pour des raisons esthétiques, à la réduction de ces joints, ce qui risque d'être néfaste ;
- La pose scellée directement sur les canalisations n'est pas autorisée ;
- Le béton d'enrobage des canalisations peut être remplacé par une chape fluide à base de sulfate de calcium ([chape anhydrite](#)) ou de ciment. Dans ces cas, il faudra se conformer aux Avis Techniques des procédés pour les produits associés à utiliser (enduits de lissage, mortier- colle).

LES FONDAMENTAUX

- **Intégrer dès la conception la réalisation d'un plancher chauffant.**
- **Utiliser des isolants conformes.**
- **Respecter les épaisseurs minimales d'enrobage.**
- **Respecter les contraintes thermiques inhérentes au plancher chauffant (mise en chauffe, température de service).**
- **Prévoir les joints de fractionnement et périphériques nécessaires et vérifier leur épaisseur.**
- **Informé le maître d'ouvrage des conseils d'utilisation (ne pas percer le plancher...).**

ÉQUIPEMENTS

Cheminées à foyer fermé et inserts



Le constat

Les [cheminées à foyer fermé et les inserts](#), dont l'aspect extérieur est très proche des cheminées à feu ouvert, sont en fait des poêles dont la conception et le design permettent de voir les flammes au travers de la vitre équipant la porte.

Regroupés selon les définitions de normes européennes sous le vocable unique « inserts », ils ont été à l'origine de nombreux sinistres d'incendie, principalement liés à leur comportement thermique et aux températures très élevées pouvant être atteintes par les gaz de combustion. Le coût des réparations est souvent, par nature, important.

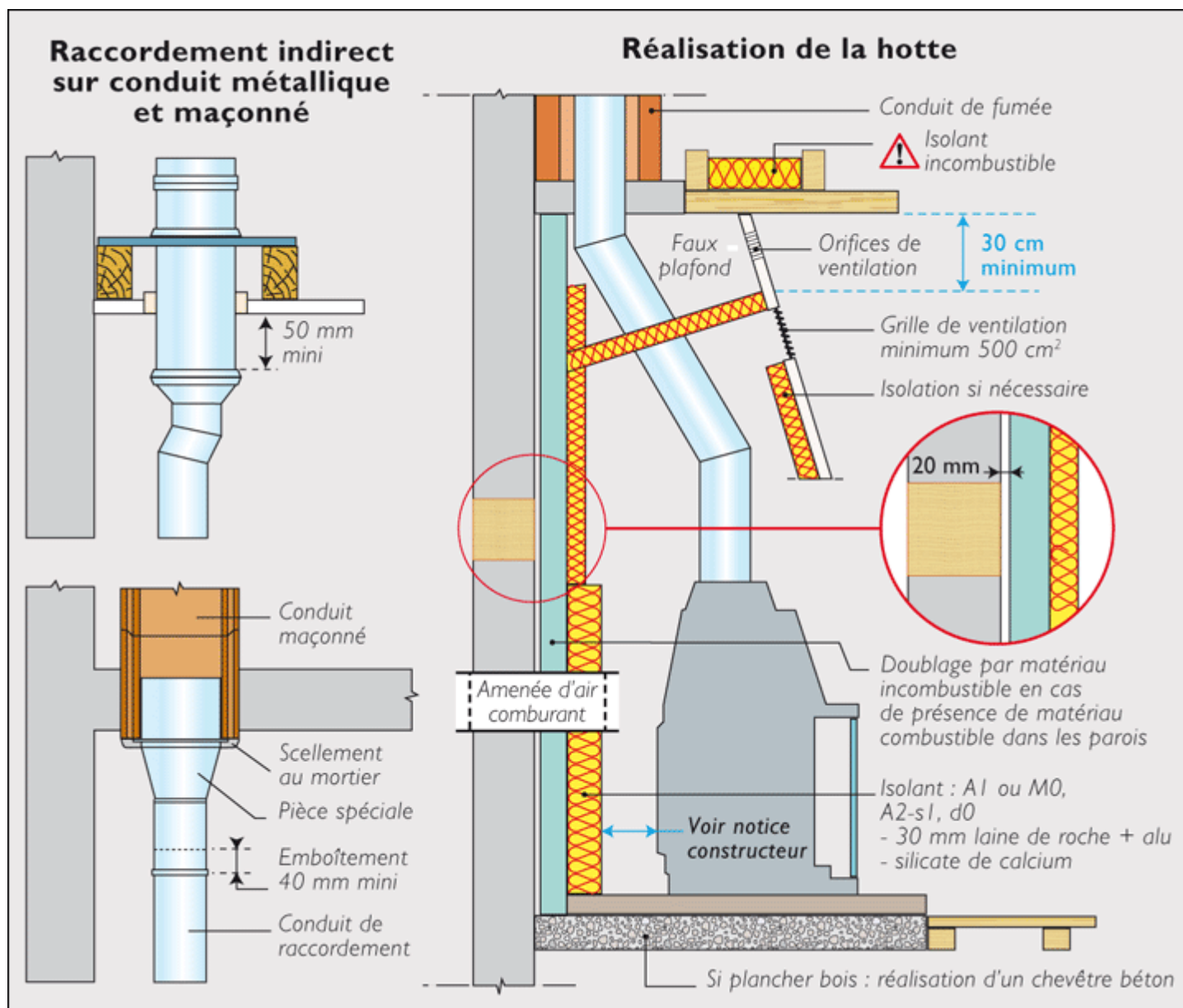
Le diagnostic

La combustion de bois nécessite un apport de [comburant](#) (oxygène contenu dans l'air). Dans le cas d'une cheminée à foyer ouvert, celui-ci est toujours largement excédentaire, ce qui a pour effet de refroidir les fumées et le foyer. Dans le cas des inserts, une régulation du débit d'air est possible (ce qui améliore le rendement), et seule la quantité d'air nécessaire à la combustion est introduite dans le foyer. Il en résulte des températures de gaz brûlés et du foyer beaucoup plus élevées, pouvant provoquer d'importants échauffements des ouvrages proches du foyer avec, dans les cas extrêmes, des risques d'incendie.

Les causes des désordres sont de trois ordres

- **Présence de matériaux inflammables à proximité des conduits** (traversée de plancher bois, parements décoratifs, habillage du conduit...).
- **Création de pièges à calories** (mauvaise conception de la hotte, du conduit de raccordement ou du conduit de fumée).
La hotte surplombant le foyer est l'ouvrage le plus sensible. Il faut donc éviter tout piège à calories permettant de dépasser une température de 105/110 °C, qui engendrerait un début de carbonisation des pièces en bois, voire d'auto-inflammation à partir de 250/275 °C.
- **Étanchéité défectueuse entre le conduit de raccordement et le conduit de fumée en attente au plafond.**

Les bonnes pratiques



- **Veiller à la qualité des produits.**

L'étiquetage et la vente des inserts sont réglementés par :

- l'arrêté du 14 novembre 1991 en ce qui concerne les conditions de vente ;
- le décret n° 93-1185 du 22 octobre 1993 pour les inserts antérieurs au 1er septembre 2008 et non marqués CE ;
- la directive européenne « produits de construction » pour les inserts commercialisés après le 1er septembre 2008 (cf. arrêté du 22 août 2008). Le respect de la norme européenne EN-13229 apporte présomption de conformité.

- **Concevoir la hotte de manière à éviter les pièges à calories**, en apportant une importance particulière à sa ventilation (voir NF DTU 24.2) afin d'éviter toute surchauffe (voir schéma).
- **Protéger les ouvrages situés à proximité du foyer**, soumis à échauffement par rayonnement et convection. Éviter la présence dans cette zone de tous matériaux combustibles ou dégradables sous l'action de la chaleur. La mise en place d'isolants incombustibles et/ou d'une lame d'air ventilée est souvent nécessaire.

L'habillage du foyer doit être réalisé en matériaux incombustibles. Le bois est néanmoins autorisé, notamment pour réaliser des linteaux décoratifs. Dans la plupart des cas, une isolation thermique des parois soumises au rayonnement direct doit alors être mise en place pour éviter toute élévation de température supérieure à 80 °C.

- **Vérifier le bon dimensionnement du conduit de fumée métallique, en cas de raccordement direct.**
- **Vérifier avant raccordement la compatibilité du conduit avec son utilisation** : il faut choisir des composants dont la classe de température est supérieure ou égale à la température des fumées de l'appareil en fonctionnement à puissance nominale.
- **Procéder au diagnostic d'un conduit de fumée existant** : il est nécessaire de s'assurer de son état (étanchéité, isolation, section, [distance de sécurité](#)...) et de sa compatibilité avec le foyer à installer. L'ensemble du raccordement entre conduit de raccordement et conduit de fumée doit être parfaitement étanche. La jonction doit être réalisée à l'aide d'un élément permettant le ramonage du conduit, pour éviter toute accumulation de suie risquant de favoriser le départ d'un feu de cheminée. Pour faciliter le raccordement, le conduit doit déboucher dans le local où va être situé le foyer et dépasser d'au moins 5 cm.
- **Entretenir le système** : décentrage régulier, vérification du raccordement au conduit, et ramonage deux fois par an, dont une pendant la période de chauffe. Le ramonage s'impose d'autant plus lorsque le bois est de moindre qualité.

LES FONDAMENTAUX

- **Veiller à la qualité de l'insert et proscrire son surdimensionnement.**
- **Concevoir la hotte dans le respect du NF DTU 24.2.**
- **Respecter la distance de sécurité, fonction de la nature des conduits.**
- **Conduit de fumée existant : faire un diagnostic selon l'annexe C du NF DTU 24.1.**
- **Entretenir en s'aidant d'un carnet d'entretien et de vérification reprenant les contrôles nécessaires et leur fréquence.**

ÉQUIPEMENTS

Désordres touchant les conduits de fumée (bistrage et souche)



Le constat

Les conduits de fumée sont parfois l'objet de désordres qui peuvent être lourds de conséquences (1/3 des incendies d'habitation). Des incendies peuvent se déclarer à l'intérieur du conduit et provoquer l'endommagement du conduit et, au pire, se propager au bâtiment lui-même.

L'échauffement du conduit peut provoquer, également, le démarrage d'un incendie à l'extérieur de celui-ci sur les éléments combustibles (bois principalement) situés à proximité.



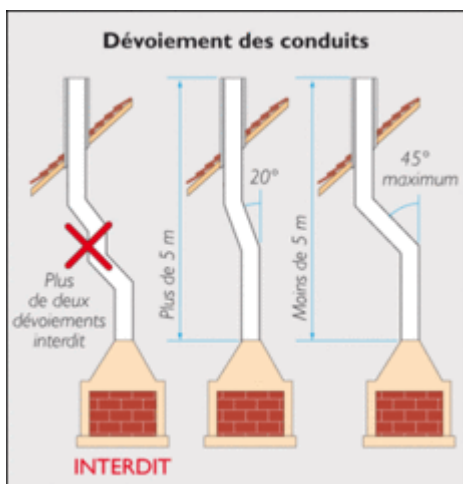
Le diagnostic

Cause principale

L'évacuation trop lente des gaz brûlés et le refroidissement trop rapide de ceux-ci peuvent entraîner une condensation des goudrons et imbrûlés contenus par les fumées sur les parois du conduit.

Ces dépôts de [bistre](#) risquent ensuite de s'enflammer, provoquant un feu de cheminée.

Les origines du phénomène



- **Une mauvaise géométrie du conduit ralentissant la vitesse d'évacuation.**

Les conduits doivent être verticaux afin d'offrir le moins de résistance possible à l'évacuation des gaz (pour une maison individuelle de niveau R + 1 au plus, il est autorisé deux dévoiements maximum dont l'angle ne doit pas excéder 45°).

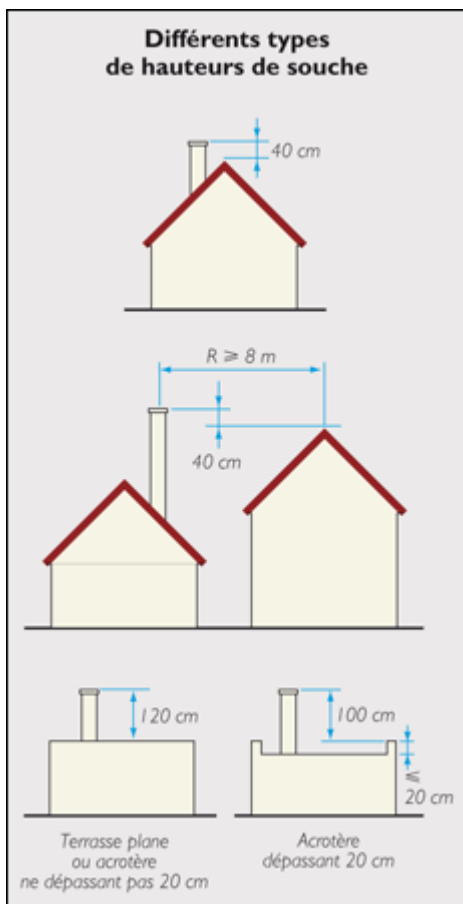
- **Une insuffisance d'isolation du conduit et/ou de la souche.**

Une isolation correcte du conduit et de la [souche](#) permet d'éviter une baisse trop rapide de la température des gaz de combustion. Une température trop froide des gaz entraîne une élévation moins rapide de ceux-ci et favorise la condensation sur les parois du conduit de la vapeur d'eau qu'ils contiennent.

- **Une mauvaise géométrie du conduit.**

Le tirage d'un conduit est fonction à la fois de la section du conduit et de sa hauteur. Plus on augmente l'un ou l'autre de ces facteurs (ou les deux), plus le tirage augmente. Plus le tirage est élevé, plus la vitesse d'évacuation des gaz est rapide ce qui diminue les risques de refroidissement, condensation et bistrage.

Autres causes de sinistres



- **Une hauteur insuffisante de la souche peut être à l'origine d'un défaut de tirage ou même de refoulement dans le conduit.**
Afin de favoriser les dispersions des gaz, la souche doit dépasser de 40 cm minimum le niveau de tout faîtage ou obstacle situé à moins de 8 m (120 cm dans le cas d'une toiture terrasse ou d'une pente inférieure à 15 °).
- **Une distance de sécurité (anciennement appelée « écart au feu ») insuffisante peut provoquer également un incendie de charpente.**
En cas de feu de cheminée, l'incendie peut être propagé du fait d'un défaut d'étanchéité du conduit à la charpente. Par ailleurs, du fait du simple échauffement par proximité de la charpente, un enflamment des pièces de bois peut se déclencher spontanément (cf. fiche E9 : Cheminées à foyer fermé et inserts).

Les conduits métalliques préfabriqués isolés autorisent une distance de sécurité réduite par rapport aux prescriptions du NF DTU 24.1.

Les bonnes façons de faire

- Vérifier que l'isolation du conduit et de la souche est correcte.
Les éléments constitutifs des conduits (boisseaux, éléments métalliques) déterminent l'étanchéité des conduits et leur isolation.
- Réaliser des conduits verticaux.
- Prévoir une hauteur de souche suffisante.
- La distance au feu.
- Respecter la distance de sécurité entre conduit et éléments combustibles.

LES FONDAMENTAUX

- **Veiller à l'isolation, à la géométrie du conduit et à la hauteur minimale de la souche.**
- **Respecter les distances de sécurité, fonction de la nature des conduits.**

ÉQUIPEMENTS

Désordres affectant les chauffe-eau solaires individuels



Le constat

Les désordres sont de deux types :

- Fonctionnels
 - mauvaise implantation, orientation des capteurs solaires,
 - circulation de fluide dans les capteurs insuffisante,

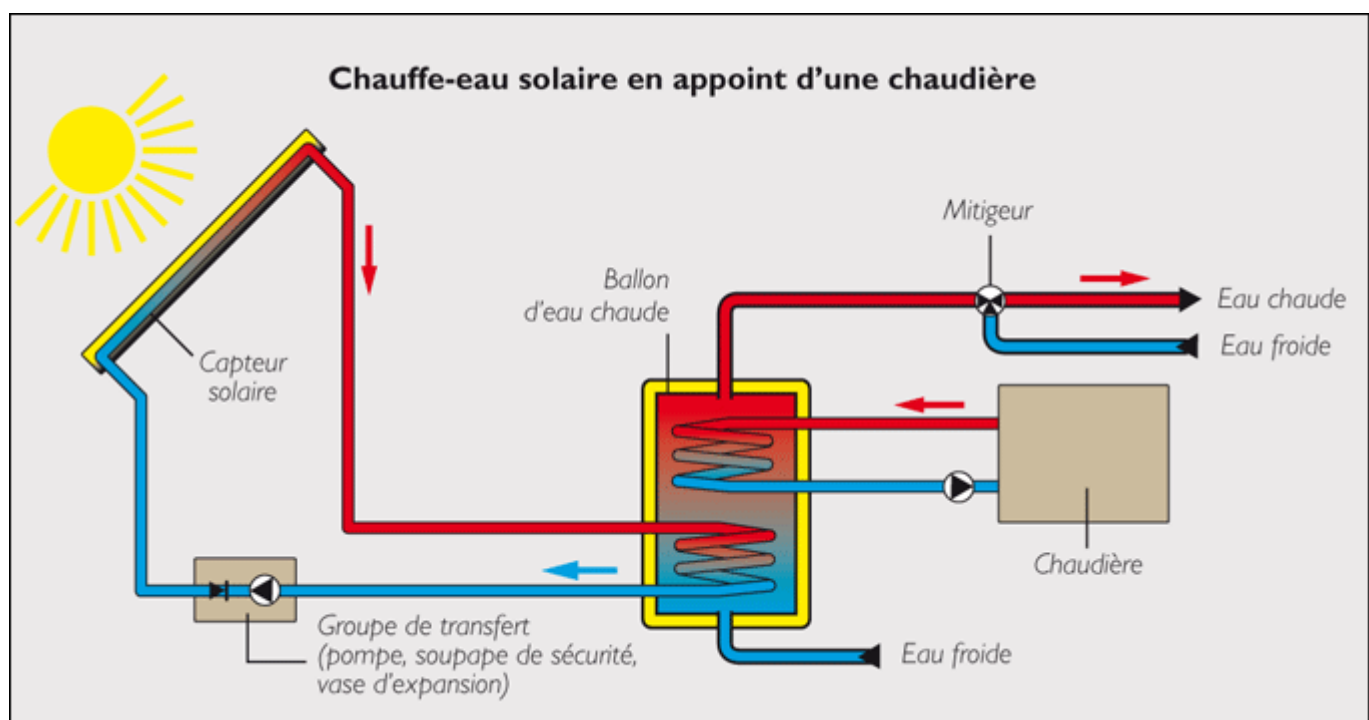
- surface de capteur surdimensionnée par rapport à la capacité de stockage et aux besoins ;
- Performanciers
L'énergie solaire est insuffisante pour produire de l'eau chaude sanitaire toute l'année, un appoint avec une autre énergie est donc nécessaire. Une conception défectueuse ou un réglage mal maîtrisé de la régulation peut générer une surconsommation de l'énergie d'appoint.

Le diagnostic

Il existe plusieurs types de chauffe-eau solaires individuels dont l'appoint peut être soit intégré par résistance dans le ballon, soit séparé et produit par une chaudière de chauffage central (voir schéma ci-dessous).

Désordres fonctionnels

- Un arbre peut constituer un écran, et également une source de feuilles se déposant sur les capteurs : des capteurs encrassés, et/ou avec une exposition ne permettant pas la réception optimum des rayons du soleil, voient leur rendement diminuer.



- En l'absence de soleil et par température extérieure négative, il y a risque de gel du fluide solaire circulant dans les capteurs si les pentes (contribuant à assurer la vidange automatique) ne sont pas assurées. L'absence ou l'insuffisance de protection antigel est à l'origine du gel des tubes dans les capteurs et dans la tuyauterie de liaison située à l'extérieur.
- Les fournisseurs de capteurs solaires proposent souvent, avec le ballon, un ensemble comprenant une pompe de circulation d'eau, une soupape de sécurité, un vase d'expansion, un clapet de non-retour et quelquefois un dispositif de décharge.

La pompe fournit un débit d'eau pour une hauteur manométrique disponible. Le dimensionnement de cette dernière est fonction de la longueur de la liaison entre les capteurs et le ballon, et de la complexité de son parcours.

Si la distance entre le capteur et le stockage est trop longue, ou bien si le réseau comporte un grand nombre de coudes, sa résistance hydraulique augmente et la pompe initiale peut ne pas être suffisamment puissante.

- La présence d'air perturbe les échanges thermiques dans le capteur contribuant à l'élévation de sa température et à diminuer la performance de l'installation.
- Les capteurs solaires sont très rarement occultables et ne peuvent pas être protégés de l'ensoleillement. En cas de mauvais dimensionnement ou de non soutirage de l'eau chaude sanitaire, l'eau primaire surchauffe. Son augmentation de volume et de pression est absorbée dans les premiers temps par le vase d'expansion. Si l'installation est mal dimensionnée, la soupape de sécurité s'ouvre. En cas de défaut d'entretien elle peut rester bloquée, entraînant la déformation des capteurs. La mise en place d'un mitigeur en sortie du ballon évite les risques de brûlure est obligatoire.
- En cas d'absence prolongée de soutirage d'eau chaude sanitaire, les capteurs doivent être occultés ou un dispositif de décharge mis en place pour évacuer l'énergie non consommée et éviter la montée en température non maîtrisée de l'eau du circuit primaire et de l'eau chaude sanitaire.

Désordres liés au défaut de performance

- Le contrôle du différentiel température de l'eau, en sortie des capteurs et bas du ballon, est indispensable. La pompe ne doit en effet fonctionner que lorsque l'énergie solaire est suffisante pour élever la température de l'eau dans les capteurs. En l'absence de ce contrôle, la pompe pourrait fonctionner et envoyer de l'eau chaude, produite par l'énergie d'appoint, dans les capteurs.
- Un dysfonctionnement de ce contrôle peut également entraîner l'utilisation intempestive de l'énergie d'appoint alors que l'énergie solaire assure seule le chauffage de l'eau. Dans les deux cas, il y a surconsommation de l'énergie d'appoint.

Les bonnes façons de faire

- S'assurer de l'absence de masques ou de risques d'occultation des capteurs lors de l'installation.
- Optimiser l'orientation des capteurs.
- Ne pas surdimensionner la surface de capteurs.
- Protéger l'installation contre le gel.
- Mettre des purgeurs avec vannes d'isolement en point haut de l'installation et introduire l'eau [glycolée](#) en éliminant l'air contenue dans le réseau.
- Vérifier que les caractéristiques de la pompe sont cohérentes avec la configuration de la liaison capteurs/ballon.
- Vérifier les sécurités : soupapes de sécurité, asservissement de la pompe aux contrôles de température de l'eau en sortie des capteurs.
- Vérifier la régulation.
- Informer l'utilisateur sur la nécessité qu'il vérifie périodiquement son installation et faire l'entretien de l'installation par un professionnel.

LES FONDAMENTAUX

- **Concevoir l'implantation des capteurs en optimisant l'ensemble masques/orientation/inclinaison.**
- **Adapter le dimensionnement du dispositif aux besoins réels.**
- **Vérifier et faire entretenir les dispositifs qui peuvent déclencher à mauvais escient la production d'énergie d'appoint.**
- **Vérifier la quantité de glycol tout les deux ans.**
- **Conseiller de souscrire un contrat de maintenance.**

ÉQUIPEMENTS

Installations photovoltaïques raccordées au réseau et intégrées au bâtiment



Le constat

Deux types principaux de dommages peuvent survenir à la suite de l'installation d'un générateur [photovoltaïque](#) intégré en toiture :

- Des défauts d'étanchéité provenant de la couverture photovoltaïque ;
- Des départs d'incendie ou incendie provenant du circuit courant continu.

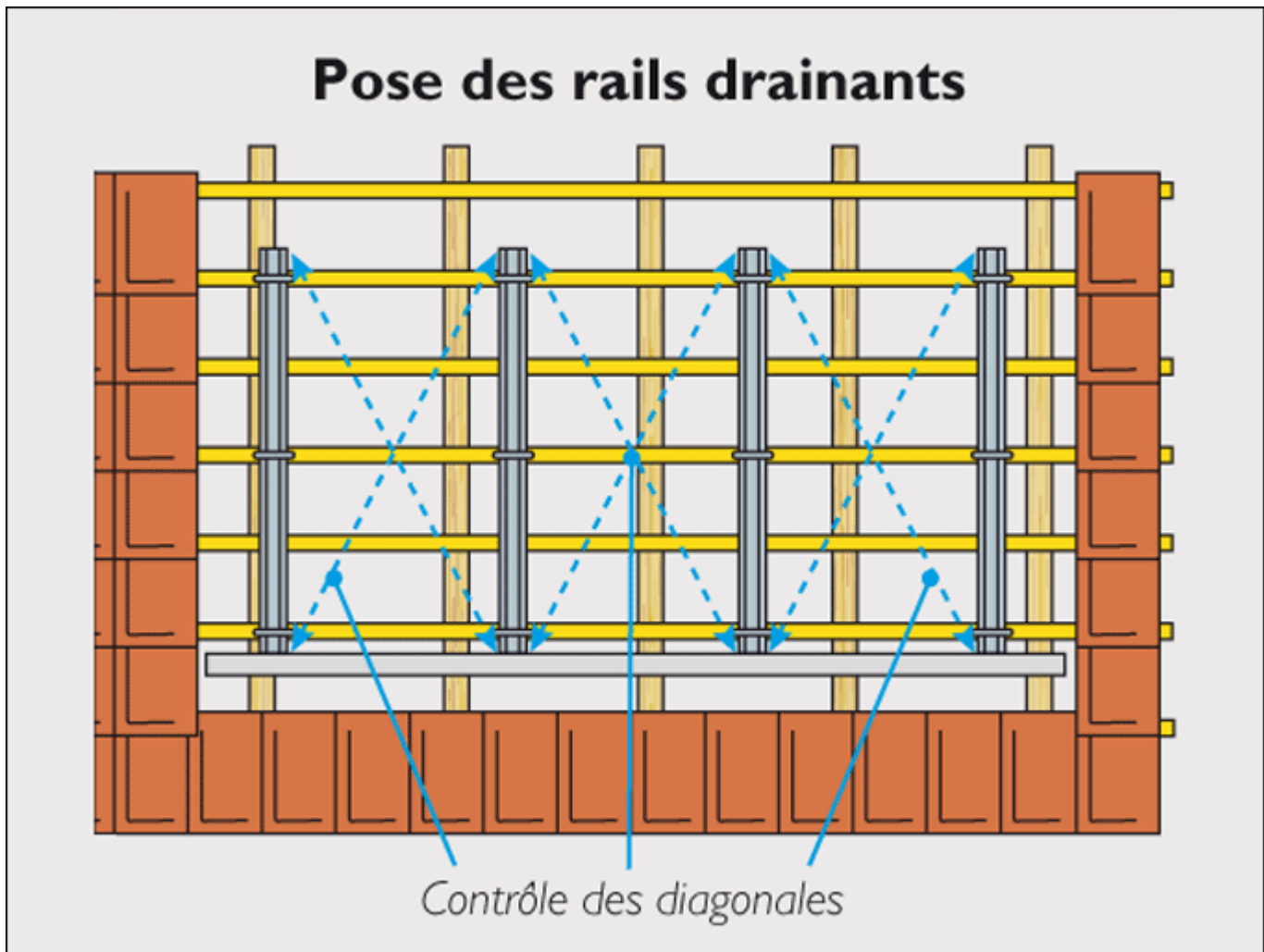
Le diagnostic

Problèmes d'étanchéité

L'intégration des installations photovoltaïques implique que les modules assurent tout ou partie de l'étanchéité de la toiture. La partie couverture de l'installation est composée de modules rigides cadrés ou non, et d'un système d'intégration. Il existe plusieurs types de systèmes d'intégration :

- les systèmes avec une sous-couche assurant l'essentiel de l'étanchéité ;
- les systèmes dont les modules assurent l'étanchéité et sont disposés comme des tuiles ;
- les systèmes dont les modules assurent l'étanchéité et sont fixés sur des rails assurant le drainage de l'eau résiduelle.

- Pour chaque type de système, le traitement des rives d'installation est particulièrement sensible : des dispositions particulières doivent être prises pour résister aux effets du vent, les efforts doivent être calculés selon les règles neige et vent en vigueur, le système de raccord doit être adapté aux différents types d'éléments de couverture.
- Une mise en œuvre rigoureuse est impérative, particulièrement pour les systèmes dont les modules assurent l'étanchéité. La planéité de la charpente doit être assurée, après un éventuel calage. la pose des raccords entre module doit être soignée, tout comme le passage des câbles.
- Par ailleurs, pour les systèmes à rails drainants, le parallélisme des rails est nécessaire : le contrôle des diagonales lors de la pose doit être réalisé.



Risque d'incendie

Les incendies d'installations photovoltaïques peuvent avoir des causes multiples. Parmi les facteurs à risques identifiés, on citera une discontinuité dans le circuit courant continu, provoquant un [arc électrique](#) ou des surchauffes issues de surintensités.

Les principaux points sensibles résident au niveau de la connectique, et du raccordement à des masses métalliques à la terre.

- Concernant les connecteurs, ceux-ci doivent être choisis de la même marque. Il arrive que les sertissages soient défectueux, et un soin particulier à la mise en œuvre est impératif.
- Le raccordement à la masse, selon le guide UTE C15-712-1, permet de s'assurer de l'absence de défaut d'isolement coté continu grâce au contrôleur d'isolement intégré à l'onduleur.
- D'assurer l'équipotentialité des masses, élément favorable à la protection contre les surtensions d'origines climatique, en complément des parafoudre.

- Un câblage adapté à la puissance installée doit être prévu. Il est préconisé par la commission centrale de sécurité (avis du 14 décembre 2009) de prévoir les passages de câble par l'extérieur du bâtiment jusqu'à l'onduleur.
- Un couloir de ventilation en sous-face des modules est un élément de prévention des surchauffes électriques au niveau des câblages, des connecteurs et des modules. Mais des closoirs sont à prévoir afin de se prémunir des agressions des câbles par les rongeurs.
- Un entretien régulier (nettoyage, accumulation de feuilles mortes...) par un personnel qualifié doit être prévu selon les préconisations du guide UTE C15-712-1. Des dispositions particulières doivent donc être prises à la conception pour faciliter l'intervention ultérieure des équipes de maintenance.
- Lors de la conception, il faut veiller à éviter les ombrages persistants sur l'installation, sous peine de générer des points chauds dans les modules.
- D'autres risques d'atteinte à la continuité électrique peuvent survenir si les intervenants marchent sur les modules, ou si la planéité du support n'est pas assurée. En effet, les cellules photovoltaïques sont épaisses d'environ 150 µm (silicium cristallin). Donc, toute contrainte mécanique sur le module peut provoquer des fissures qui génèrent par la suite des points chauds dans les cellules et des surintensités.

Les bonnes façons de faire

- Porter une attention particulière à la conception du système et au choix des produits :
 - choisir de préférence des systèmes d'intégration en toiture complets visés par un Avis Technique en cours de validité et adapté à la pente du toit ;
 - respecter le domaine d'emploi de l'Avis Technique ;
 - la conception électrique et le choix des composants doivent respecter le guide UTE C15-712-1.
- Veiller à la mise en œuvre conforme :
 - respect des DTU et des cahiers des charges de pose ;
 - réalisation d'un diagnostic de la charpente ;
 - calepinage rigoureux de l'implantation des modules ;
 - respect rigoureux du plan de câblage coté courant continu pour éviter les boucles d'induction ;
 - sertissage des connecteurs par outils appropriés sur table de travail et non en toiture.
- Placer l'onduleur de préférence dans un local ventilé, ou mieux climatisé.
- Étudier le câblage afin de limiter les champs électriques et magnétiques, perturbant la réception radio et TV.
- Prendre en compte les contraintes possibles liées à l'intervention des équipes de secours en cas d'incendie.
- Assurer la maintenance, conformément aux préconisations du guide UTE C15-712-1, par un personnel quali

L'essentiel

- **Choisir un système d'intégration complet, sous Avis Technique et soigner sa mise en œuvre.**
- **Soigner la conception des câblages et les points sensibles de mise en œuvre (calepinages, sertissages).**
- **Vérifier la ventilation en sous-face de panneau.**
- **Assurer un entretien régulier du dispositif.**

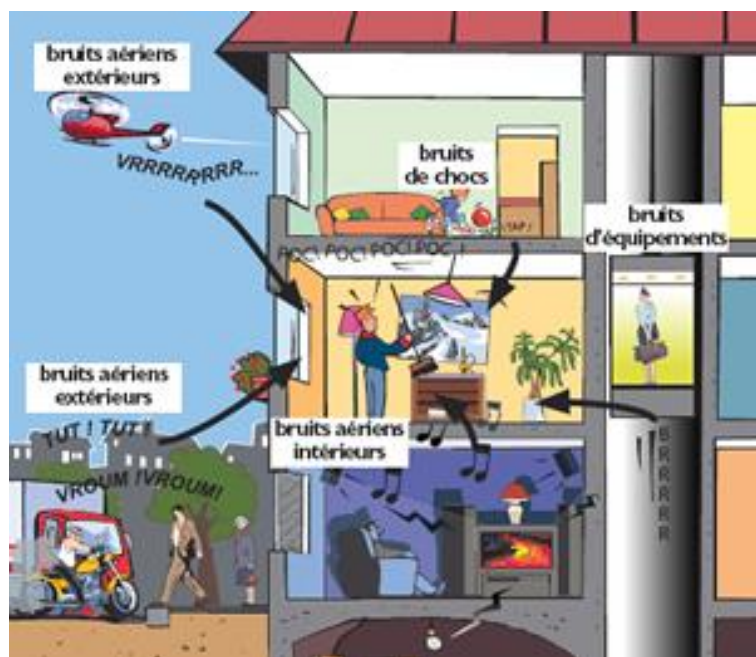
ÉQUIPEMENTS

Défauts d'isolation acoustique



Le constat

Les niveaux de [pression acoustique](#) (bruits) sont considérés comme non conformes lorsqu'ils ne respectent pas les exigences de la réglementation en vigueur. Toutefois, il peut exister des cas de bruits considérés comme anormaux, même dans le respect de la réglementation : un bruit émergent (différence entre bruit de fond et niveau de bruit émis) important et apparaissant fréquemment, par exemple.

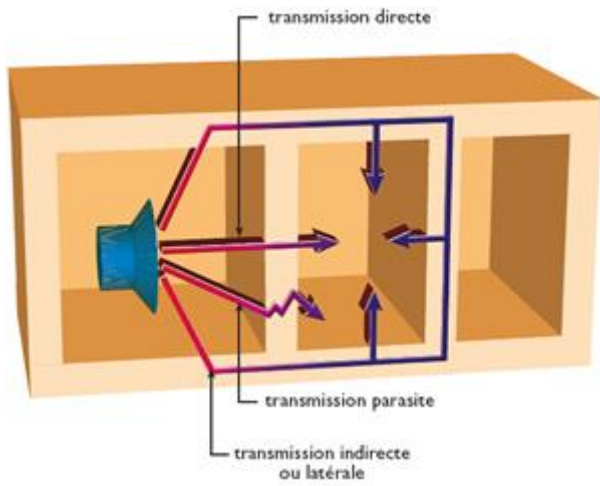


La plupart des défauts d'isolation acoustique proviennent d'erreurs de conception, quelques-uns d'erreurs d'exécution.

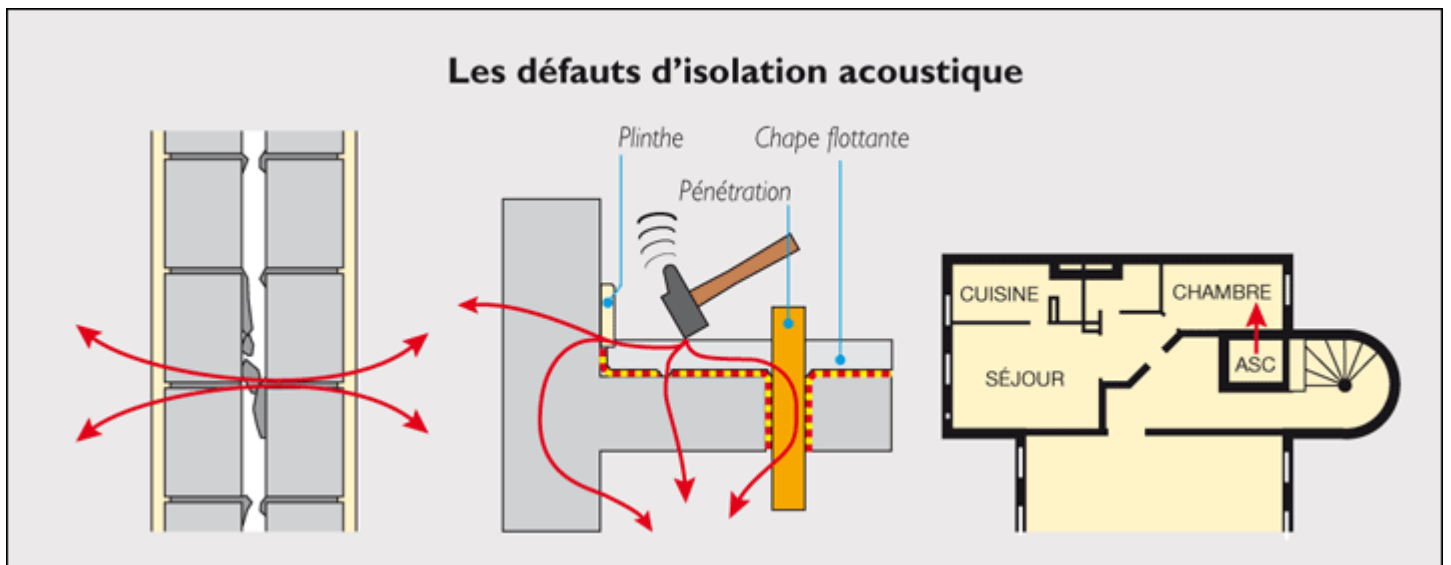
Le diagnostic

Les bruits dans les bâtiments se décomposent en trois grandes familles :

- **les bruits aériens** (1) dont la source est intérieure ou extérieure ;



- **les bruits d'impact** (2) correspondent à des chocs intérieurs ;
- **les bruits d'équipements internes** du bâtiment (3).



Les défauts d'isolement aux bruits aériens

Défauts de conception.

Trop grande légèreté d'une paroi séparative simple.

Performances inadaptées d'une paroi séparative double.

Absence de prise en compte des transmissions latérales par les parois liées aux parois séparatives ou des transmissions parasites, transitant par exemple par les gaines techniques.

Absence de prise en compte de la présence dans la paroi de parties aux performances plus faibles.

Absence de prise en compte d'exigences réglementaires particulières.

Défauts de réalisation.

Mauvaise étanchéité à l'air des parois séparatives (défauts de calfeutrement de menuiseries de coffres de volets roulants).

Défauts de calfeutrement des pénétrations dans le plancher.

Défauts d'isolation aux bruits d'impact

Défauts de conception.

Mauvais choix des couches isolantes intermédiaires entre élément porteur et sol (chape flottante sur une couche [résiliente](#) aux performances insuffisantes).

Défauts de réalisation.

Existence de [ponts phoniques](#) accidentels (poinçonnement des sous-couches résilientes par un matériau dur, absence de continuité du résilient, en périphérie ou au droit de pénétrations).

Défauts liés aux produits.

Dégradation dans le temps de la sous-couche résiliente.

Défauts d'isolation aux bruits d'équipements

Défauts de conception.

Choix d'un équipement aux performances inadaptées.

Emplacement maladroit des équipements.

Défauts de réalisation

Installation défectueuse des équipements (appareil de chauffage posé sans plots antivibratiles ou sur une cloison légère).

Remarque : on enregistre de nombreuses réclamations des occupants dans les locaux à isolation au bruit extérieur renforcé. Dans ces locaux, on entend mieux les bruits intérieurs, ce qui entraîne une gêne, même si ce niveau de bruit est conforme à la réglementation. C'est parfois ce qui se produit aussi à la suite d'un changement des fenêtres.

Les bonnes façons de faire

Prendre connaissance de la réglementation particulière applicable au projet

Tous bâtiments

L'arrêté du 30 mai 1996, relatif au mode de classement des infrastructures de transports terrestres, prévoit des exigences d'isolement aux bruits extérieurs plus importantes en cas d'exposition des bâtiments à des nuisances telles que les routes, les aéroports, etc.

Logements

L'arrêté du 30 juin 1999, relatif aux bâtiments d'habitation, fixe les modalités d'application de la réglementation acoustique. Vérifier la conformité par rapport à cette réglementation de manière simple grâce à un « exemple de solution » du CSTB ou à l'intervention d'un bureau d'études spécialisé.

Autres bâtiments

Les articles R111-23-1 à R111-23-3 du CCH, introduits par le décret du 9 janvier 1995 pris pour l'application de l'article L. 111-11-1 du CCH et relatif aux caractéristiques acoustiques de certains bâtiments autres que d'habitation, fixent les caractéristiques des bâtiments publics.

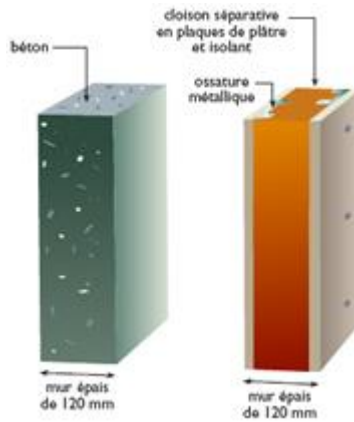
Les 3 arrêtés du 25 avril 2003 définissent les niveaux d'isolement et les caractéristiques des locaux scolaires, des établissements de santé et des hôtels, en fonction des activités qui s'y exercent.

Pour réaliser une isolation acoustique, il existe trois principes à connaître :

■ Principe 1 : loi de masse

Plus c'est lourd, mieux ça isole. Autrement dit, à épaisseur égale, un cloison en béton isolera mieux qu'une cloison en carreaux de plâtre, car à volume égal, le béton est plus lourd que le plâtre.

■ Principe 2 : loi masse-ressort-masse



En combinant certains matériaux, on peut appliquer le principe dit « **masse-ressort-masse** ». Il consiste à utiliser des **parois doubles**, comme des plaques de plâtre ou des cloisons en briques désolidarisées **séparées** par de l'air rempli par **une laine minérale**, qui absorbe et dissipe l'énergie.

Dans ce cas pour une même épaisseur totale de paroi :

- la paroi double, avec deux ossatures (une par parement) isolera d'au moins **4 dB de plus** que la paroi simple ;
- la **masse totale** de cette paroi double sera **environ six fois inférieure** à la masse totale de la paroi simple.

En rénovation, cette solution permet un traitement efficace sans surcharger les structures.

Principe 3 : loi d'étanchéité

Là où l'air passe, le bruit passe. Le bruit passe sous les portes, par l'absence de joints aux fenêtres, par les conduits de cheminée, par les entrées d'air, par les coffres de volets roulants et aussi par la paroi si elle n'est pas étanche. Un bon isolement acoustique suppose une **bonne étanchéité à l'air**.

Toutefois, le **renouvellement de l'air du logement** est **indispensable**. Il faudra donc laisser passer l'air en limitant le passage du bruit : les solutions sont décrites [ici](#).

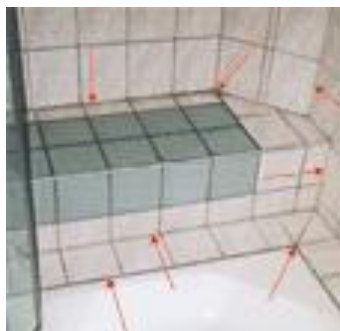
Apporter un soin particulier à l'étanchéité à l'air des parois séparatives et de l'enveloppe

Cette dernière exigence sera satisfaite par l'application de la RT 2 012 qui prévoit des performances et un contrôle de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe.

L'essentiel

- **Appliquer les réglementations propres au projet.**
- **S'assurer de la désolidarisation entre ouvrages et parties d'ouvrages.**
- **Apporter un soin particulier à l'étanchéité à l'air.**

Reprises d'humidité dans les coins douches



Le constat

Des infiltrations peuvent être suspectées lors de l'apparition d'une humidité anormale à la base des cloisons contiguës à une douche.

Si ces infiltrations ne sont pas décelées suffisamment tôt, l'humidité peut traverser les cloisons et créer des dommages aux embellissements des locaux voisins.

Ces infiltrations se produisent souvent au niveau des joints d'interface entre « bac à douche/revêtement mural/plage périphérique », mais elles peuvent également prendre naissance au droit de toutes les singularités géométriques du carrelage soumis aux projections d'eau.

Le diagnostic

Les causes principales

- **L'inadaptation, ou l'absence de protection à l'eau du support de la faïence.** Il en découle une ruine de l'ouvrage qui ne se résout que par sa réfection totale.
- **Le déplacement du receveur de douche.** Le glissement ou le tassement du receveur sur ses appuis est dû aux calages de qualité médiocre, souvent constitués d'empilements de matériaux de nature diverse, sensibles à l'eau et non solidaires.
- **Le jointoiment.** Même si les joints sont correctement calibrés en partie courante, les carreaux sont souvent en contact dans les angles (réserver un espace de 5 mm entre appareil sanitaire et revêtement).
- **Le défaut d'étanchéité des traversées.** Le traitement d'étanchéité des traversées de parois par les canalisations est souvent omis et les dispositifs d'évacuation insuffisamment testés à la mise en route de l'installation.

Les bonnes façons de faire

Le NF DTU 52.2 est le document normatif traitant de l'adéquation entre les différents types de support, les colles et le revêtement carrelage collé.

- **Choisir la nature du support du revêtement carrelage en fonction de l'exposition à l'eau du local.** Ne jamais employer de plaques de plâtre non [hydrofugées](#) ou des cloisons en carreaux de plâtre standard.
- **Choisir les techniques adéquates de mise en œuvre.** Les tableaux du NF DTU 52.2 donnent de manière synthétique les possibilités de pose de carrelage en fonction du classement des locaux, de la nature des supports, avec ou sans protection à l'eau.

Classement des locaux : suivant le Cahier du CSTB N° 3567 de mai 2006, les locaux sont répertoriés en cinq catégories de EA à EC, selon le taux d'hygrométrie des ambiances et le degré d'exposition à l'eau des parois.

Nature des supports : le NF DTU 52.2 comporte une nomenclature de supports classés de S1 à S14 en fonction de leur nature.

- **Veiller à la protection à l'eau des supports.**

Le revêtement (carreau + produit de collage + joint) ne peut en aucun cas assurer seul l'étanchéité du support.

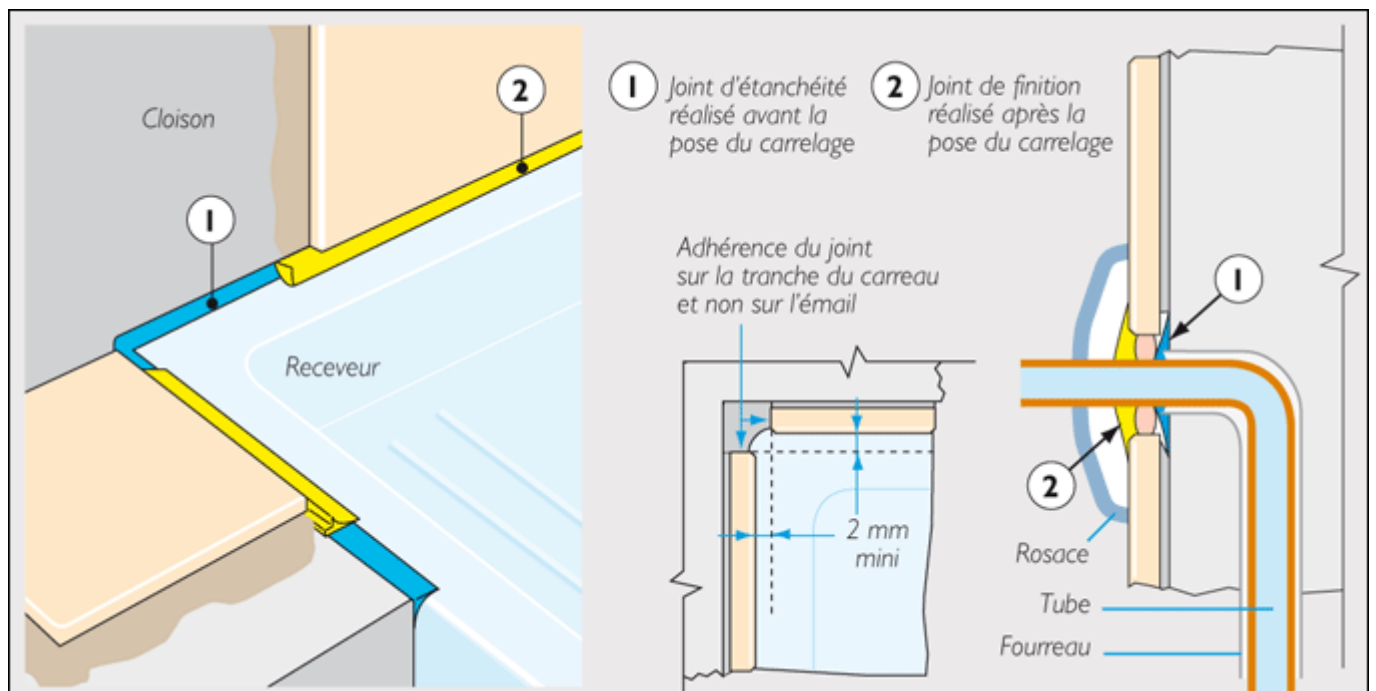
Un système de protection à l'eau sous carrelage (SPEC) doit être prévu sur les supports sensibles, en parois verticale et horizontale, selon les cas et les prescriptions normatives.

Une étanchéité est indispensable lorsque des siphons de sol sont incorporés dans le carrelage en plancher intermédiaire. C'est par exemple le cas des douches à l'italienne . Cette étanchéité peut être constituée d'un système d'étanchéité liquide (SÉL) ou d'autres systèmes à base de feuilles collées ou soudées ou de membranes (SÉPI).

La coordination entre le carreleur, le plaquiste et le plombier (et l'étancheur éventuellement) est indispensable afin d'assurer les différentes protections à l'eau sous carrelage (ou étanchéité).

- **Soigner la réalisation des joints.**

Si les carreaux sont en contact dans les angles, le joint de coulis de ciment, appliqué en congé entre carreaux d'angle ou tranches de carreaux et receveur, adhère mal si la largeur du joint est trop petite. Les joints en angle rentrant doivent donc être légèrement élargis pour faciliter la pénétration du coulis entre les carreaux.



Joint d'adossement du plombier : le plombier qui pose un appareil sanitaire doit réaliser un joint étanche d'adossement de cet appareil contre la paroi.

Joint de finition du carreleur : le carreleur qui pose une faïence contre un appareil sanitaire doit réaliser un autre joint. Il s'agit d'un joint de finition en mastic élastomère extrudé, qui peut venir en recouvrement de celui exécuté par le plombier. Ce joint doit être entretenu et régulièrement refait.

Le même principe de double joint doit être appliqué au droit des pénétrations de tuyauteries au travers des parois exposées à l'eau.

- **Prévoir autant que possible une plage périphérique avec une pente** de 10 % qui évitera toute stagnation propice aux infiltrations.
- **Ne pas omettre de prévoir une bonne ventilation des pièces humides.**
- **Attention !** Les travaux d'étanchéité relèvent d'une qualification spécifique « Étanchéité » et non d'une qualification « Carrelage ».

La prudence s'impose : un carreleur peut à coup sûr poser des SPEC ; mais s'il doit réaliser une étanchéité (SÉL ou SÉPI) et/ou poser un siphon de sol, il doit impérativement vérifier ses qualifications et ses conditions d'assurances.

L'essentiel

- **Veiller à la protection à l'eau ou à l'étanchéité des supports par des systèmes adaptés.**
- **Soigner la réalisation des joints.**
- **Réaliser seulement les travaux entrant dans les qualifications et couverts par des assurances professionnelles.**
- **Entretien des joints et les refaire régulièrement.**

AMÉNAGEMENTS INTÉRIEURS

Dégradations par l'eau des douches carrelées dites « à l'italienne »



Le constat

Des passages d'eau se manifestent dans l'environnement des douches dites « à l'italienne » (ou « de plain-pied »), avec des dégradations conséquentes des parois des locaux périphériques, mais aussi avec des infiltrations dans les locaux sous-jacents.

Ces phénomènes se manifestent dans un premier temps au niveau des angles de raccordement entre parois, entre paroi et sol, ou au niveau du siphon d'évacuation encastré dans le sol. Ils s'étendent ensuite si les défauts d'étanchéité ne sont pas solutionnés rapidement.

Le diagnostic

Les origines des désordres sont, pour certaines, identiques à celles identifiées dans les coins douches avec receveurs (voir fiche F5), à savoir :

- sur les parois verticales à base de plâtre, nature inadaptée ou absence ou défaut de continuité de la protection à l'eau sous la faïence murale ;
- jointoiement défectueux des carreaux de faïence dans les angles rentrants (verticaux et horizontaux) et au droit de la robinetterie.

Elles sont complétées par des causes spécifiques aux douches dites « à l'italienne » du fait de l'absence de receveur de recueil de l'eau :

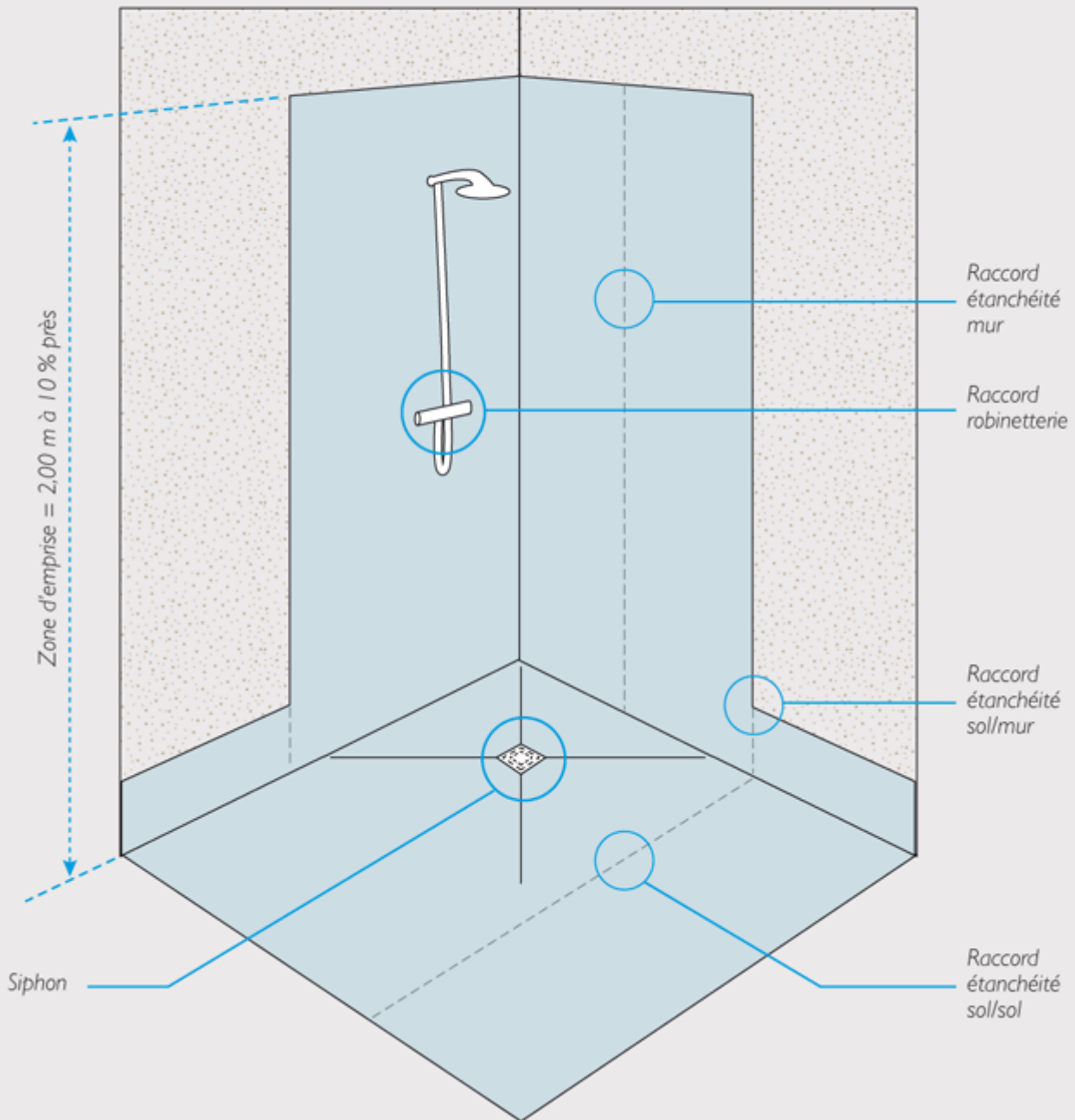


- l'absence ou l'inadaptation du procédé d'étanchéité indispensable au niveau du sol (le revêtement de sol carrelé et son jointoiement ne peuvent être étanches !), en tout premier lieu ;
- l'absence de relevé périphérique de l'étanchéité du sol ou le mauvais raccordement de ces relevés avec le revêtement de protection des parois verticales ;
- la limitation de l'étanchéité du sol à l'emprise de la douche côté accès salle de bains. Elle ne protège donc pas le sol des effets du rejaillissement ;
- l'utilisation, pour l'évacuation de l'eau, d'un siphon de sol inadapté à cet usage et ne permettant pas le raccordement efficace et pérenne de l'étanchéité au sol. Le siphon doit comporter une platine et recueillir l'eau circulant sur le carrelage et sur l'étanchéité sous-jacente, avec un débit suffisant ;
- la mauvaise réalisation du raccordement de l'étanchéité horizontale sur le siphon ;
- l'absence ou l'insuffisance de pente vers le siphon entraînant des migrations de l'eau vers les surfaces adjacentes non étanchées ;
- la mauvaise utilisation de supports industriels prêts à carrelé en matériau de synthèse :
 - réservés aux locaux privatifs et utilisés en locaux collectifs,
 - carrelés en galets naturels et poinçonnés par ces derniers (utilisation en dehors de l'Avis Technique du procédé de receveur).

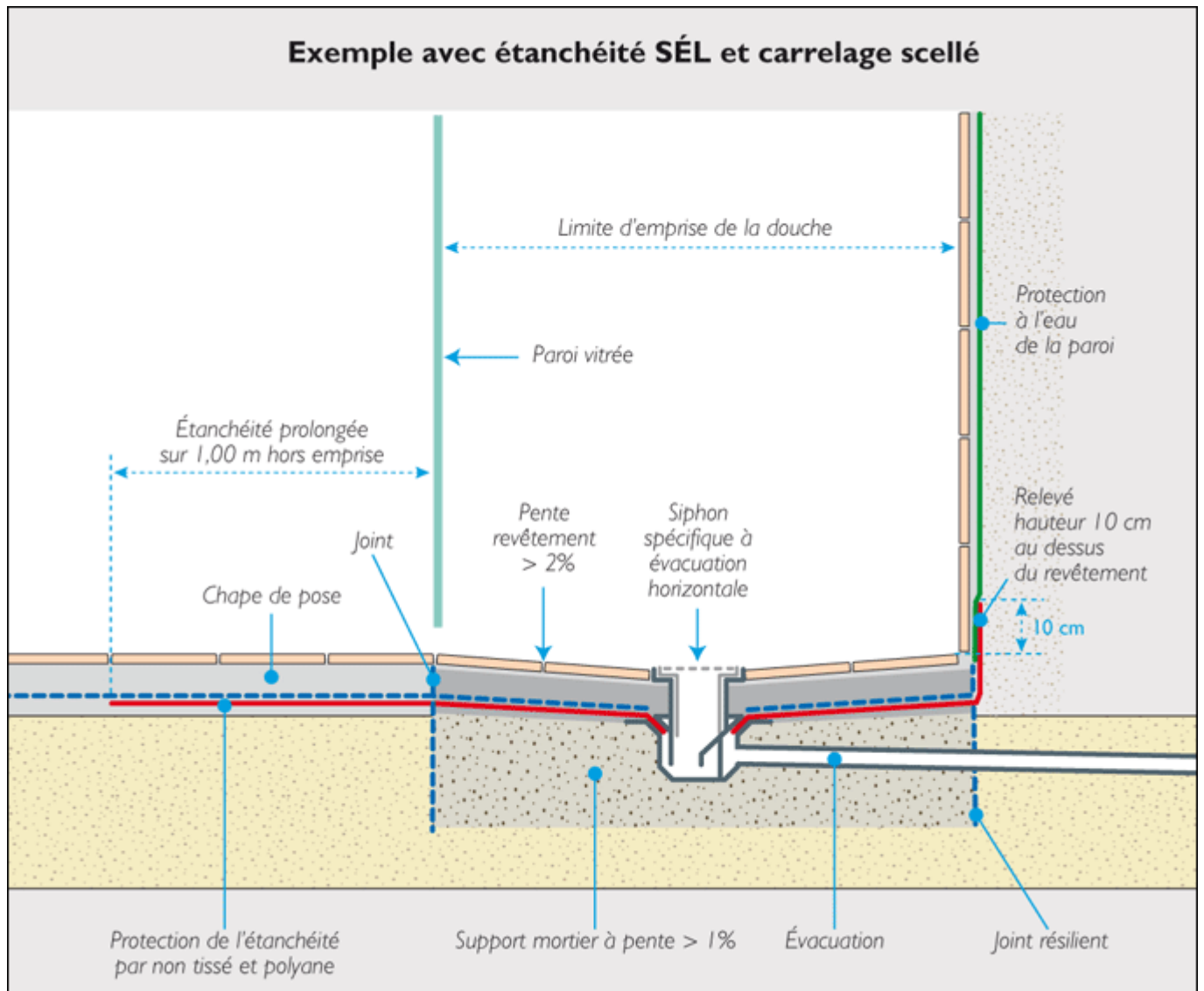
Les bonnes façons de faire

- **Se conformer aux consignes générales développées dans la fiche F5.** (Reprise d'humidité dans les coins douches).

Points sensibles de l'étanchéité



- Dans le cas spécifique d'une douche de plain-pied dite « à l'italienne », se reporter au NF DTU 52.2 P1-1-1 et 3 ainsi qu'au Cahier 3567 du CSTB.



Ces documents expriment clairement le fait que le revêtement carrelage (carreau + colle + joint) ne peut s'opposer au passage de l'eau vers le support. L'étanchéité préalable du support est donc indispensable en l'absence de receveur.

Cette étanchéité, qui peut être réalisée par différents procédés (voir ci-dessous), devra être raccordée sur un siphon d'évacuation spécifique permettant ce raccordement.

Le support de l'étanchéité devra comporter une pente minimale fixée en général par le cahier des charges de mise en œuvre du procédé d'étanchéité utilisé. Des pentes sont données au revêtement « carrelage » pour évacuation au siphon.

L'étanchéité sera relevée sur la périphérie de la douche avec une hauteur de relevé de 0,10 m minimum au-dessus du niveau du revêtement fini. Si le relevé est impossible à réaliser, (cas de l'accès à la douche sans seuil ou de séparatif en matériau verrier par exemple), l'étanchéité sera prolongée horizontalement hors emprise de la douche sur une longueur de 1,00 m au moins, mieux sur toute la surface de la pièce.

Ne pas confondre SPEC, SÉL et SÉPI !

En fonction de l'intensité et de la fréquence de la présence d'eau (douchette ou colonne d'hydromassage, c'est différent), de la nature et de la géométrie des supports, deux options existent pour se prémunir des effets de l'exposition à l'eau des parois et du sol.

- Les **Systèmes de Protection à l'Eau sous Carrelage (SPEC)**, constitués par l'application de produits liquides formant une membrane par séchage ou encore de nattes ou films ;
- **Les procédés d'étanchéité que sont :**
- les Systèmes d'Étanchéité Liquide (**SÉL**), utilisés depuis de nombreuses années, constitués par l'application de produits liquides ou pâteux formant par séchage ou polymérisation un revêtement d'étanchéité,
- les Systèmes d'Étanchéité de Planchers Intermédiaires (**SÉPI**) constitués par des nattes manufacturées en matériaux de synthèse.

Ces 3 systèmes se distinguent par :

- Les domaines d'emploi et les fonctions qu'ils remplissent : un SPEC n'a pas vocation à assurer l'étanchéité d'un ouvrage alors que c'est la destination des SÉL et des SÉPI ;
- Leur environnement réglementaire : les SPEC et SÉPI relevant de l'Avis Technique ou des ATE + DTA, ou des pass innovation, les SÉL des règles professionnelles (APSEL) ;

NB : les carreleurs amenés dans les conditions rappelées ci-dessus à mettre en œuvre des SÉPI et des SÉL doivent vérifier leurs qualifications et déclarer cette activité auprès des organismes d'assurance.

Usuellement, les SPEC sont utilisés en protection de supports verticaux, les SÉL et les SÉPI en étanchéité horizontale au sol.

- **Concevoir globalement l'organisation du local et de l'espace douche au regard de la protection à l'eau des supports.**
- **Coordonner les travaux entre corps d'état (plombier et carreleur a minima).**
- **Analyser la fiche technique des matériaux et appareils, et retenir ceux adaptés à l'usage envisagé.**
- **Soigner la réalisation des raccordements et points singuliers des étanchéités horizontales et des SPEC verticaux.**

LES FONDAMENTAUX

- **Prendre en compte dès la conception les contraintes spécifiques liées à l'étanchéité.**
- **Choisir appareils, matériaux et systèmes adaptés à la configuration et à l'usage.**
- **Veiller particulièrement à la bonne réalisation des points singuliers.**

Décollement de peinture sur plafonds neufs en béton



Le constat

Les systèmes de peinture appliqués en sous face des planchers neufs réalisés en dalles pleines ou à base de [prédalles](#) en béton armé peuvent être le siège de désordres généralisés et évolutifs. Ces défauts se manifestent par des marbrures, des fissurations, des écaillages et au stade ultime par des décollements.

Une reconnaissance insuffisante des supports, un choix inapproprié des produits, le non-respect des temps de séchage, et des conditions de chantier mal maîtrisées sont à l'origine de ce type de pathologies caractéristiques.

Le diagnostic

Dans les systèmes constructifs actuels, les planchers sont réalisés sur le principe de prédalles en béton de fabrication [foraine](#), recevant une dalle coulée en place. Rapidement démoulées après confection, les prédalles sont posées à l'avancement du chantier, juste avant le coulage en place du corps de la dalle en béton. Ce complexe demande normalement plusieurs mois de séchage. L'évacuation de l'humidité s'effectue par gravité par la partie inférieure de la prédalle (la partie supérieure est souvent bloquée par les revêtements du sol).

Pour assurer la livraison des ouvrages dans les délais prévus, malgré les fréquents retards de chantier, le peintre doit souvent intervenir trop tôt (généralement dans les quatre à six semaines suivant les travaux de gros œuvre) sans attendre le séchage des prédalles.

La présence d'humidité résiduelle de gâchage des dalles est donc la principale cause de désordre, avec des défauts dont la chronologie est la même dans tous les cas :

- Apparition de marbrures dans certains cas en transparence du revêtement de peinture : le [ressuage](#) d'humidité en sous-face des prédalles entraîne les reliquats de produits de décoffrage restés nichés dans les micro-anfractuosités du béton. Ce mélange coloré imprègne l'enduit de peinture et provoque la formation d'auréoles brunâtres visibles au travers du film de peinture de finition ;
- Naissance de microfissures rectilignes dans la peinture : de très fines fissures (0,1 mm d'ouverture au maximum) apparaissent de manière diffuse mais plus particulièrement au droit des microfissures et fissures du béton ;
- Formation d'un réseau de microfissures : les fissures se resserrent et forment des figures en étoile sur la peinture ;
- Soulèvement du complexe de finition : à partir des fissures, le complexe enduit + peinture se soulève jusqu'à la formation d'écailles de forme caractéristique (concaves), plus ou moins prononcée ;

- Décollement du complexe : au stade final, les écailles se détachent du support béton. La rupture d'adhérence se produit dans la masse de l'enduit (il reste une fine couche pulvérulente sur le béton) ou entre l'enduit et le béton (ce dernier est alors mis à nu). Parfois, lorsqu'il en existe, c'est le ragréage du maçon qui est entraîné.

Des facteurs autres que l'humidité résiduelle peuvent contribuer à l'apparition du phénomène :

- La présence de polluants d'origine organique, tels que huiles de démoulage ou produits de [cure](#) pouvant entraîner une mauvaise adhérence du système. La présence de polluants ne peut être mise en évidence que par des examens de laboratoire (spectrométrie infrarouge).
- La [saponification](#) ou l'hydrolyse partielle de certains produits de ragréage ou enduits de peintre. Un support très alcalin comme le béton frais a tendance à décomposer certains liants de type glycérophtalique, ce qui réduit leur cohésion et entraîne des décollements.
- L'effet de traction de certaines peintures en phase solvantée à base de résines alkydes (peintures glycérophtaliques) qui « tirent » sur les enduits moins cohésifs. La législation en matière de réduction des composés volatils organiques (COV) a fortement limité l'utilisation de ces peintures.

Les bonnes façons de faire

- Respecter les conditions minimales d'intervention (température, hygrométrie, ...) fixées par le DTU 59.1.
- Mesurer le taux d'humidité à cœur du subjectile béton (le DTU 59.1 «peinture» impose un maximum de 5 % en masse avant la mise en peinture).
- Mesurer le pH à la surface du béton : il ne doit pas excéder 13.
- Vérifier si le béton a reçu une impression (obligatoire) avant enduisage.
- Réaliser un essai d'adhérence du revêtement (DTU 59.1, article 7.3.5.). Une valeur d'au moins 0,4 MPa est requise (cf. tableaux E1, E2 et E3 du DTU 59.1).

Suite à une mise en œuvre défectueuse, la réfection impose un décapage total des surfaces. Il faut les laisser à nu plusieurs mois pour permettre le séchage des dalles, avant d'envisager toute reprise.

LES FONDAMENTAUX

- **Respecter impérativement un temps de séchage important pour le support.**
- **Vérifier le taux d'humidité résiduel.**
- **Utiliser une peinture de faible traction (liant en phase aqueuse).**

Parquet et risques liés à l'humidité



Le constat

La sensibilité à l'humidité est la source principale des désordres qui affectent les parquets bois. Ils se traduisent par :

- des gonflements ou retraits ;
- le développement de champignons lignivores.

Le diagnostic

Deux grandes causes peuvent être à l'origine de désordres liés à l'humidité :

- **la mise en œuvre prématurée du parquet dans des chantiers dont l'état ne le permet pas encore :**
 - clos couvert non totalement assuré,
 - travaux de maçonnerie, carrelage, marbrerie intérieure, peinture non encore terminés,
 - support insuffisamment sec,
 - conditions d'équilibre hygrométrique du local non atteintes ;
- **la réhumidification du parquet en service, dont les causes peuvent être nombreuses :**
 - fuite accidentelle,
 - remontée d'humidité dans le support,
 - défaut de maîtrise du taux d'humidité des locaux.

Dans les cas extrêmes où l'humidité dans le bois est maintenue au-dessus de 20 % pendant une longue période, il faut redouter une attaque par les champignons lignivores contre lesquels les parquets considérés en classe de risque 1 ne sont pas protégés.

Les bonnes façons de faire

Rappel : Le bois est un matériau [anisotrope](#) dont le comportement à l'humidité est différent selon que l'on se place dans un plan tangent, radiant, longitudinal aux fibres.

À titre d'exemple, nous donnons ci-après les ordres de grandeur du retrait tangentiel et du retrait radial de différentes espèces :

Espèces	Retrait tangentiel (en %)	Retrait radial (en %)
Iroko	5,5	3,5
Framiré	5,5	3,7
Châtaignier	6,9	4,2
Noyer	8,1	6,0
Chêne	9,3	6,0
Pin maritime	9,0	4,5
Hêtre	12,3	6,0

- **Bien choisir les bois et s'informer des conditions de fabrication du parquet.**
Les différents DTU préconisent des bois stabilisés entre 7 et 11 % d'humidité afin de limiter les variations ultérieures.
Certains fabricants disposent de lots dont l'état d'équilibre hygroscopique est stabilisé soit en partie haute, soit en partie basse de la fourchette, ce qui permet d'adapter au mieux le parquet aux conditions locales (bâtiment neuf, existant).
- **Surveiller stockage et transport avant pose.**
Toutes les précautions doivent être prises pour limiter les reprises d'humidité (emballage des lames, stockage dans un endroit sec et ventilé...).
- **Respecter les conditions de mise en œuvre**
 - vérification systématique de l'humidité du support en utilisant l'essai normalisé de la bombe à carbure ;
 - clos couvert terminé, travaux de carrelage et peinture terminés ou mise en œuvre du parquet en dernière opération ;
 - installations de plomberie-chauffage étanchées ;
 - stockage de parquet au préalable dans le local où il doit être posé ;
 - les conditions d'équilibre hygrométrique en usage du local doivent être atteintes lors de la pose du parquet (taux d'humidité des locaux).
- **Pendant l'utilisation, tenter d'amoindrir les conséquences des mouvements hygrométriques des bois**
Toutes les précautions doivent être prises pour éviter des amplitudes importantes du taux d'humidité des locaux.

LES FONDAMENTAUX

- **Adapter l'humidité des bois à celui qu'il aura à l'équilibre dans les locaux.**
- **Prévoir des joints périphériques évitant le blocage du bois sur les structures.**
- **Contrôler strictement les conditions de mise en œuvre du parquet.**
- **Assurer des conditions d'utilisation évitant les fortes variations hygrométriques de l'air.**

Fissuration et décollement des carrelages de sol dans l'habitat



Le constat

Le raccourcissement des délais de construction, les contraintes esthétiques et une mise en œuvre déficiente ont été à l'origine de la plupart des fissurations et décollements des carrelages de sol des années récentes.

Aujourd'hui, c'est plutôt la fissuration qui représente l'essentiel de la pathologie des carrelages, avec l'apparition de techniques comme les chapes fluides à base de sulfates de calcium ([chapes anhydrites](#)) ou de ciment, mises en œuvre soit seules, soit associées à des planchers chauffants.

Le rôle du support est devenu important dans la pathologie du carrelage.

Le diagnostic

Le carrelage traduit rapidement les pathologies de son support et de sa mise en œuvre. Les dommages les plus fréquents sont présentés ici :

La fissuration

La fissuration se développe linéairement dans diverses directions, notamment aux emplacements les plus sensibles (angles rentrants ou saillants, passage de porte, charge concentrée...). Elle traduit une déformation des couches constituant le support du carrelage due à :

- La souplesse du plancher porteur (flexion excessive du plancher bois entre solives, flexion anormale d'un plancher béton et traction au droit des appuis) ;
- Un fléchissement localisé du support dû à une charge concentrée sans renfort ;
- Le tassement différentiel de l'isolant thermique ou phonique (présence de points durs, inadaptation ou défaut de mise en œuvre du matériau isolant) ;
- Le franchissement d'un joint de gros œuvre sans précaution (non-prise en compte des joints de construction ou des changements de matériaux) ;
- L'absence de [joint de fractionnement](#) ou de joints périphériques ;
- Le [retrait](#) de la chape ou du mortier de pose (pose prématurée sur un support récent, dosage en ciment trop riche ou eau en excès, défaut d'armature de la chape, mise en chauffe des planchers chauffants après la pose du carrelage, non-respect des conditions d'application des chapes liquides).

Le décollement des carreaux

Le décollement des carreaux a pour causes principales :

- Une mauvaise préparation du mortier de pose ou une mise en œuvre qui n'optimise pas l'adhérence, surtout si le carrelage est peu poreux ou relativement lisse en sous-face ;
- Une préparation insuffisante du support (traces de plâtre ou présence de poussières, défaut de planimétrie entraînant des surépaisseurs de colle...) ;
- Une mise en œuvre de la colle ne respectant pas les prescriptions du fabricant ([temps d'ouverture](#), simple ou double encollage...) ;
- Une décohésion du plan de collage sous les effets de l'humidité (remontées d'humidité dans le cadre des chapes fluides anhydrites, sulfate de calcium) ;
- Une absence d'application d'un [primaire](#) adéquat, compatible avec les colles.

Le soulèvement

Le soulèvement peut survenir de façon brutale après un réchauffement rapide du carrelage, alors que le support est encore à une température inférieure, ou après retrait du gros œuvre dans les premières années.

La cause principale est une mise en compression du revêtement due :

- Au retrait du support si le carrelage est posé prématurément ;
- Aux variations dimensionnelles thermo-hygrométriques ;
- À l'absence de joints périphériques et de fractionnement ;
- À la flexion des planchers.

Si à ces différents facteurs s'ajoute un collage ou un scellement défaillant, le revêtement carrelé se soulève par flambement.

Nombre de fissures ont pour origine l'incorporation de canalisations (électricité, plomberie) dans le mortier de pose (réduction localisée de son épaisseur), sans [ravoilage](#) (pourtant obligatoire).

Les bonnes façons de faire

Vérifier

- Le type de support (chape anhydrite).
- Les conditions de pose du carrelage (délais de séchage et nature du support).
- La présence de joints (périphériques et de fractionnement).
- Respect des caractéristiques d'encollage des carreaux (simple, double, quantité de colle).
- L'épaisseur et le dosage du mortier de scellement, chape ou dalle.
- La planéité du support.
- La qualité de l'isolant (compressibilité).
- Le positionnement du treillis dans la chape.
- Le classement du carrelage adapté à l'usage (classement UPEC).

Préchauffer éventuellement les locaux avant pose

Veiller à la bonne mise en œuvre d'un carrelage sur un plancher chauffant

La mise en œuvre du carrelage ne peut se faire que 48 heures après extinction du plancher chauffant. La remise en service du chauffage ne peut avoir lieu qu'au moins 2 (pose collée) ou 7 (pose scellée) jours après la fin des travaux de revêtement.

LES FONDAMENTAUX

- **Vérifier le bon état du support.**
- **Ne pas omettre les joints périphériques et de fractionnement.**
- **Respecter les délais entre chaque étape et avant mise en chauffe d'un plancher.**

Décollement de revêtements de sols souples collés



Le constat

Les revêtements de sols souples collés sont fréquemment soumis à des phénomènes de cloquage ou de décollement, dont la cause la plus fréquente est la trop forte humidité du support. Un défaut de préparation du support peut aussi être à l'origine de décollements.

Le diagnostic

Un revêtement de sol souple collé associe différents éléments.

- **Le support** : le revêtement mis en œuvre sur support neuf (plancher béton surfacé, dallage béton sur terre-plein, chape de mortier ou fluide à base de ciment ou plancher bois) ou ancien (avec conservation éventuelle du revêtement de sol existant et/ou de sa colle).
- **Les produits de préparation de la surface** : le support est éventuellement traité à l'aide d'un [primaire](#). Il peut être ensuite recouvert d'un enduit de lissage de quelques millimètres.
- **Les adhésifs** : les colles sont à base de résine acrylique en émulsion dans l'eau.
- **Le revêtement proprement dit** (à base de PVC, de caoutchouc ou de linoléum).

Le cas particulier des chapes à base de sulfates de calcium (autrement appelées chapes anhydrites) n'est pas traité dans cette fiche.

Les revêtements de sols souples sont étanches à l'eau et à la vapeur d'eau.

Ils empêchent l'évaporation de l'eau en excès dans le support, ce qui retarde la prise de la colle qui reste poisseuse. L'augmentation de la tension de vapeur due à un écart de température peut entraîner le soulèvement du revêtement. Le phénomène affecte davantage les revêtements en lés que les revêtements en dalles (dont les joints laissent s'échapper un peu d'humidité).

La présence d'eau peut avoir comme origine

- L'eau qui a servi à la fabrication du béton : l'eau libre s'évapore au contact de l'air. Ce séchage n'est rapide qu'en surface (3 cm). Au-delà, il peut prendre des mois voire des années si les conditions sont défavorables.
- Certaines configurations défavorables, comme les [planchers intermédiaires collaborants](#) : le bac acier en sous-face empêche l'évaporation par le dessous. La pose du revêtement arrête donc complètement le séchage.
- Les venues d'eau extérieures concernent les planchers sur vide sanitaire ou cave, peu ventilés, et donc exposés aux remontées d'humidité. Ces remontées par capillarité peuvent entraîner la rupture de cohésion de l'enduit de lissage.

Le cas particulier des dallages.

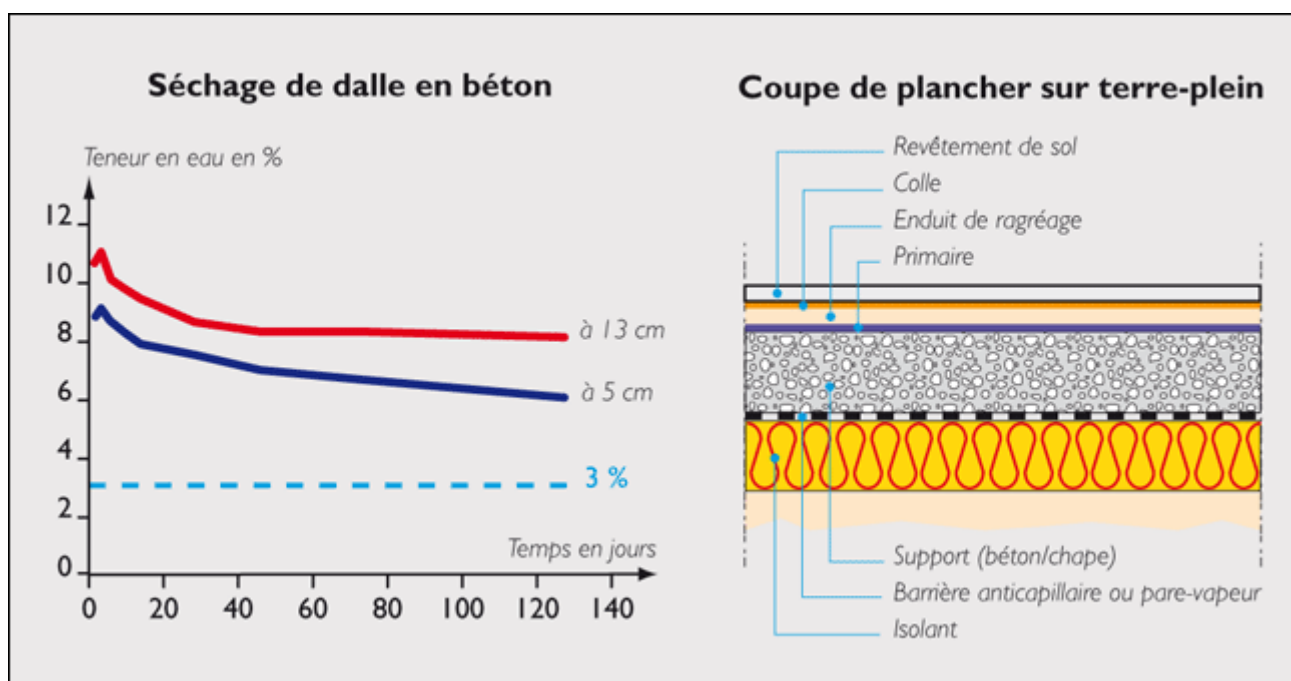
Dans le passé les dallages sur terre-plein se trouvaient, après pose de revêtement souple, entre deux barrières étanches formées par le revêtement au-dessus et un polyane en dessous : l'humidité résiduelle au moment de la pose en resterait définitivement prisonnière.

Les bonnes façons de faire

- **Établir le planning d'intervention en amont du chantier.**
Dès cette étape, il convient de réserver le temps de séchage nécessaire.
- **Réceptionner le support.**
Pour éviter la formation de cloques ou les décollements, l'entreprise devra impérativement vérifier que le support est propre en surface, sec même en profondeur et qu'aucune humidité ne pourra remonter dans celui-ci.

La norme fixe à 3 % la siccité au-delà de laquelle la pose du revêtement souple est interdite. Dans les conditions habituelles de chantier, cette valeur est difficile à obtenir, voire quasi impossible dans des cas comme celui des planchers collaborants. La pose doit donc systématiquement être précédée d'une mesure de la teneur en eau du support avec une « bombe au carbure » ou avec une « sonde hygrométrique ».

- **Bien préparer le support**
 - S'assurer que le support est propre (absence de produit de cure, de plâtres...) et sec (humidité inférieure ou égale à 3 % en masse) et qu'un primaire compatible avec le mortier de ragréage a été appliqué, afin d'éviter d'éventuelles interactions négatives (cristallisations, gonflements, destructurations) entre le support et le mortier de ragréage autolissant susceptibles de soulever le revêtement de sol souple.



- Les microfissures de retrait du béton doivent être rebouchées.
- **Dans le cas des dallages sur terre-plein, proscrire la pose collée directe** et mettre en œuvre une des 3 solutions prévues par le NF DTU 53-2 :
 - réaliser une chape sur un film de polyéthylène pare-vapeur ;
 - coller le revêtement de sol plastique sur une couche de diffusion ;
 - mettre en œuvre un pare-vapeur sur support béton grenailé, associé à un enduit de préparation de sol. La technique du pare-vapeur impose la réalisation d'un dallage armé.

Les deux dernières solutions relèvent de la procédure d'Avis Technique.

- **Veiller aux conditions de pose.**
Le NF DTU 53.2 impose le respect de conditions hygrothermiques lors de la pose (support éloigné de 3 % du point de rosée), qui peuvent se traduire par la nécessité de préchauffer les locaux avant la pose.

LES FONDAMENTAUX

- **Établir un planning en prenant compte des temps de séchage du support.**
- **Évacuer au maximum l'humidité du support, en respectant la teneur hydrique du support ou à défaut en préchauffant les locaux avant pose.**
- **Travailler sur un support propre.**
- **Proscrire la pose collée directe sur les dallages sur terre-plein.**

AMÉNAGEMENTS INTÉRIEURS

Infiltrations d'air parasites



Le constat

Des salissures sur les finitions intérieures (le plus souvent, bord des moquettes le long des plinthes fixées sur les parois extérieures) des habitations équipées de VMC sont le signe de circulations d'air parasites, chargées de poussières et de pollutions.

Au-delà de ce désordre d'ordre esthétique, ces circulations parasites peuvent impacter directement la qualité de l'air intérieur, générer un inconfort thermique, acoustique, voire faire chuter sensiblement les performances thermiques d'un bâtiment. Le diagnostic

L'enveloppe d'un bâtiment est constamment soumise à une différence de pression provenant :

- de l'effet du vent ;
- du tirage thermique ;

- de la ventilation, des équipements de chauffage à combustion (dont l'apport d'oxygène provient du volume intérieur comme les poêles, les cheminées, les chaudières utilisant un combustible fossile, ...), ou des hottes de cuisine.

Cette différence de pression crée donc deux types de circulations d'air parasites (en dehors des dispositifs prévus pour le renouvellement de l'air) :

- les infiltrations d'air ;
- les exfiltrations d'air.

La plupart des défauts d'étanchéité à l'air proviennent d'un :

- défaut d'étanchéité du réseau électrique : calfeutrement des fourreaux nécessaires aux passages de câbles ;
- défaut d'étanchéité à la liaison dormant/gros œuvre ;
- défaut d'étanchéité des coffres de volets roulants, trappes, éléments traversant les parois extérieures ;
- défaut d'étanchéité au niveau des liaisons façades et planchers .

Les infiltrations d'air

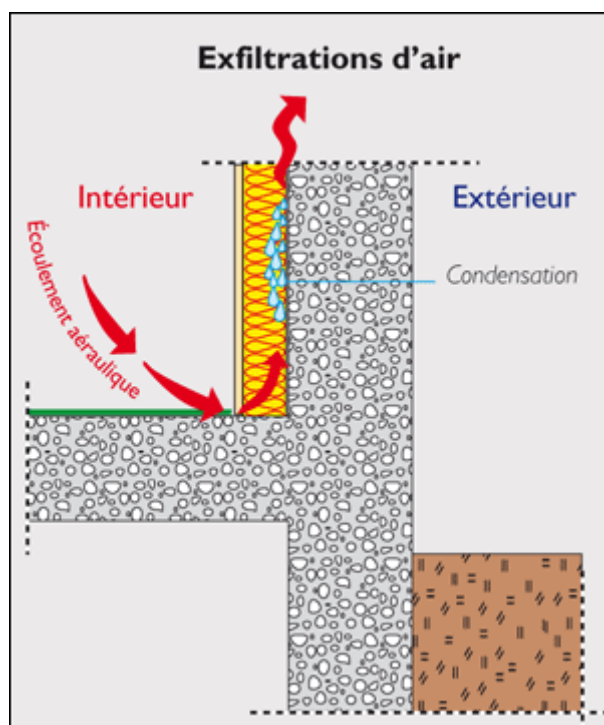
Les défauts d'étanchéité ramènent de l'air extérieur pollué dans la lame d'air située derrière le doublage thermique. Cet air est ensuite aspiré à l'intérieur du logement au travers de toutes les discontinuités des doublages :

- pots électriques ;
- partie basse du doublage qui, par construction, ne repose pas sur le sol (afin d'éviter sa mise en compression) ;
- discontinuité des joints entre plaques de doublage.

L'air parasite se charge en particules de poussière de fibres d'isolant, de [COV](#) (Composés Organiques Volatils), voire de moisissures présentes derrière les doublages.

Dans les logements équipés de VMC double flux, l'impact thermique peut ne pas être négligeable du fait même de la nature du renouvellement d'air. L'air soufflé à l'intérieur du volume habitable est réchauffé grâce à l'échangeur thermique qui récupère les calories à partir de l'air extrait.

Les infiltrations d'air froid en hiver amoindrissent l'efficacité de ce type de VMC.



Les exfiltrations d'air

Dans le cas d'exfiltrations d'air, l'air extrait est souvent chargé d'humidité. Selon l'endroit du défaut de perméabilité, il peut y avoir condensation lors du cheminement de l'air de l'intérieur vers l'extérieur.

Les exfiltrations peuvent être accrues dans les cas où les raccords entre conduits de VMC (simple ou double flux) ne sont pas étanches : cette discontinuité de la gaine crée un appel d'air.

Les bonnes façons de faire

Sensibiliser les intervenants aux problèmes d'infiltration d'air et aux détails d'exécution à respecter.

Contrôler (maîtrise d'œuvre) le traitement des points sensibles dès le commencement des travaux et exiger un autocontrôle systématique des entreprises par corps d'état.

Veiller particulièrement à l'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment, notamment aux jonctions :

- menuiseries/gros œuvre ;
- coffres de volets roulants/gros œuvre.

S'assurer, après passage de la câblerie, de la bonne obturation des fourreaux reliant l'intérieur à l'extérieur, ainsi que des pots électriques.

Pour sa part, le plaquiste devra veiller au respect des dispositions prévues dans le DTU 25-42 afin d'obturer les lames d'air par :

- bourrage de l'espace situé entre le pied du doublage thermique et le sol à l'aide de laine minérale ou mousse de polyuréthane ;
- traitement des cueillies en plafonds et murs des espaces aménagés dans les combles.

Assurer, dans le cas de l'application d'une membrane pare ou frein- vapeur, la continuité de l'étanchéité à l'air est primordial sous peine de concentrer les circulations d'air parasites sur quelques points singuliers, et de charger localement d'eau condensée au moment du passage de l'intérieur vers l'extérieur (et inversement).

Effectuer un contrôle de l'étanchéité à l'air dès que le clos et couvert est achevé, et avant l'exécution des finitions, voire avant la pose des doublages, afin de détecter les fuites d'air non traitées.

Effectuer un contrôle final de l'étanchéité à l'air par mesure, selon la norme NF EN 13829.

Réceptionner les supports (doublage) avant de poser du tissu tendu sur eux ou de la moquette, notamment claire, à leur pied.

Rappeler que l'obturation des entrées d'air par les occupants est un élément particulièrement défavorable qui ne peut qu'accroître les entrées d'air parasites.

LES FONDAMENTAUX

- **Sensibiliser les entreprises aux risques de circulations d'air parasites et aux déperditions énergétiques.**

- **Veiller aux points singuliers et aux interfaces entre corps d'état.**
- **Pratiquer un contrôle intermédiaire d'étanchéité à la fin du clos et couvert.**

AMÉNAGEMENTS INTÉRIEURS

Désordres des systèmes de peinture sur métaux



Le constat

Un revêtement de peinture a toujours une fonction esthétique. Il peut également constituer la seule protection anticorrosion d'un métal ou n'être qu'une partie de celle-ci.

Sur l'acier [galvanisé](#), le désordre le plus courant est un décollement généralisé à l'interface zinc/peinture.

Sur les métaux ferreux, les départs de corrosion apparaissent souvent sur les supports mal préparés, ainsi que dans les zones où la peinture est peu épaisse.

Les menuiseries en aluminium [prélaqué](#) ont leur propre pathologie liée à la corrosion filiforme de ce métal.

Le diagnostic

Généralités

- Avant application, tous les oxydes doivent être éliminés.
- La durée de protection anticorrosion d'une peinture dépend de l'épaisseur du film. Vu au microscope, le détail de surface d'un acier sablé ressemble à une chaîne de montagnes ; les sommets seront moins bien protégés que les vallées. De même, les angles saillants doivent être chanfreinés ou « arrondis » pour préserver l'épaisseur du film en tout point.
- Un [primaire](#) dit d'atelier est une protection provisoire qui ne saurait constituer la première couche d'un revêtement anticorrosion.
- L'application d'une peinture sur une surface froide condensante conduit à des défauts d'adhérence puis à des décollements.

L'acier galvanisé

- Les décollements de peinture sur l'acier galvanisé peuvent être dus à l'absence de primaire.
- Le liant de la peinture glycérophtalique peut réagir avec la galvanisation pour former une couche de savons de zinc.

- Si la nature du liant de la peinture n'est pas en cause, il faut s'intéresser à l'état de surface de la galvanisation au moment de la mise en peinture. La surface de la couche de zinc évolue, du jour de la galvanisation jusqu'à environ un an après. Pendant cette période où il se forme des oxydes et hydroxydes de zinc peu adhérents, les supports galvanisés requièrent une préparation de surface plus poussée que les supports vieillies. Il faut éliminer la rouille blanche et/ou les huiles ou graisses de protection devant précisément éviter sa formation (voir extrait DTU). Les blessures importantes de la couche de zinc dues aux manipulations ou aux assemblages doivent être protégées par une peinture riche en zinc. Ensuite, la surface peut être soit brossée et dérochée à l'aide d'une solution d'acide phosphorique, soit balayée à faible pression à l'aide d'un abrasif fin et doux (le sablage détruit la galvanisation).
- Sur une galvanisation qui a été longtemps exposée aux intempéries, les hydroxydes de zinc ont réagi avec le gaz carbonique ambiant et forment une couche plus solide de carbonates de zinc. Un lavage soigneux suffit à préparer la surface.

L'aluminium

- Les profilés d'aluminium prélaqué exposés en milieu marin ou industriel peuvent être le siège de cloquages en forme de petites galeries en relief. L'analyse des éléments présents sous les cloques révèle la présence de chlorures qui sont le facteur déclenchant.
- Les entreprises labellisées Qualicoat mettent en œuvre des gammes Qualimarine dont la préparation de surface plus poussée du métal apporte une meilleure résistance aux ambiances chlorées.

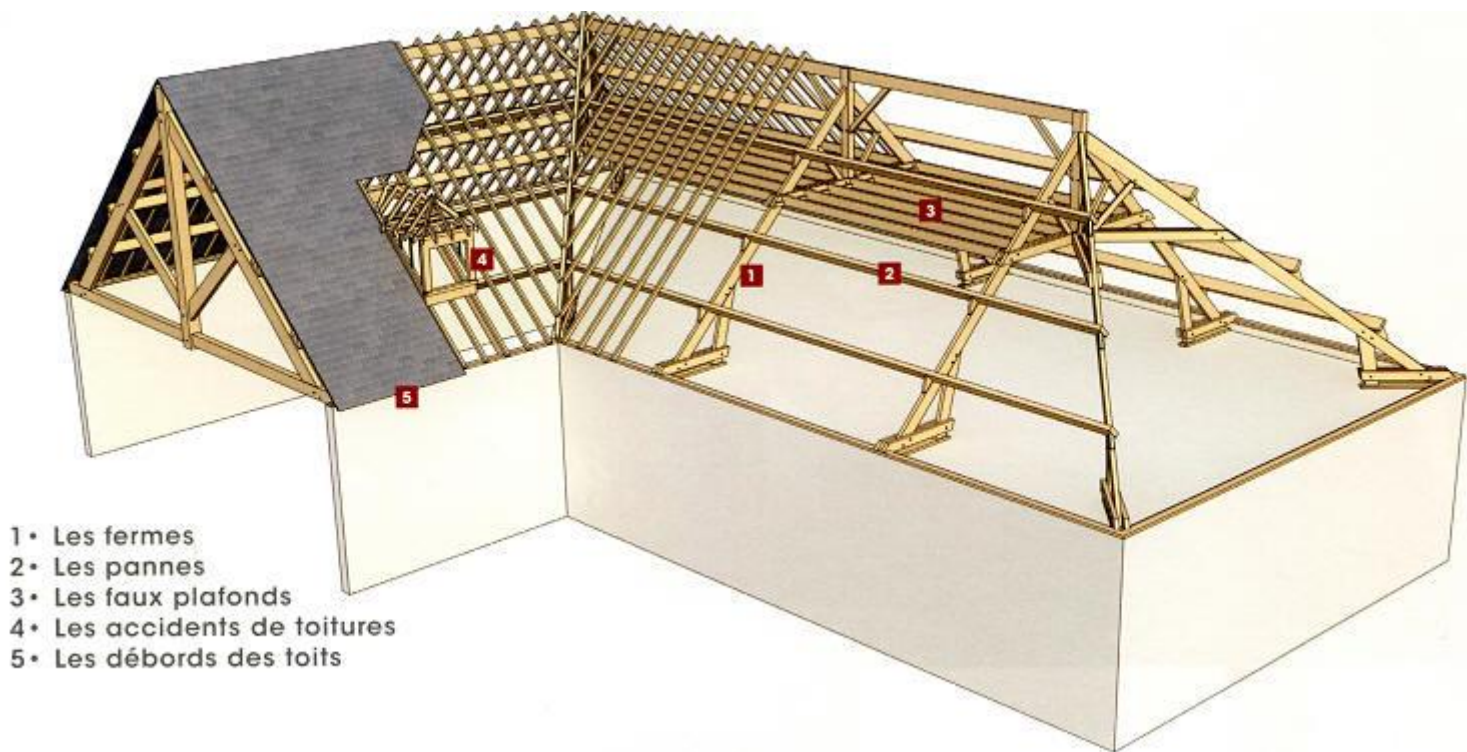
Les bonnes façons de faire

- Réaliser une préparation de la surface du support bien spécifique à sa nature.
- Respecter les épaisseurs minimales des différentes couches, gage du bon résultat final.
- Respecter scrupuleusement les conditions limites d'application des produits : qui doivent être scrupuleusement respectées en température, humidité, ensoleillement, temps de séchage, et cela pour l'application et la phase de durcissement.
- Choisir la protection anticorrosion en fonction de l'agressivité du milieu et de la fréquence d'entretien souhaitée (pour l'acier, la protection la plus durable est une galvanisation à chaud, qui peut être recouverte de peinture pour des raisons esthétiques).
- Soigner la conception et le choix des produits : une bonne protection anticorrosion nécessite une conception soignée pour supprimer autant que possible les rétentions d'eau, accompagnée de préconisations détaillées des modes opératoires de préparation des supports, puis un choix de produits adaptés aux ambiances. Ces précautions seront encore plus importantes si les phases de reprises sont nombreuses avec des intervenants multiples aux différents interfaces « métal/subjectiles/peinture de finition », entre la fabrication, le montage, et la finition de l'ouvrage. L'examen des dossiers de sinistre fait souvent apparaître une cascade d'entreprises, à qui la commande finale a été passée sans aucune précision.

LES FONDAMENTAUX

- **Soigner la préparation du support et l'exécution en respectant les conditions d'application des produits.**
- **Prendre en compte l'interface entre les entreprises intervenantes.**

-
- Divers
- Les facteurs internes aux matériaux et équipements
 - Hygrométrie
 - Parasitage
 - Vieillessement
- Les pathologies de second œuvre.
 - Charpentes et couvertures
 - Charpentes traditionnelles
- Définition :



Une charpente traditionnelle de toiture est composée de fermes, de pannes et de chevrons en général. Ce type de charpente peut être prévu pour un comble aménageable ou un comble non aménageable. L'épaisseur des pièces de bois est supérieure à 50 mm, et l'entre axe des fermes est compris généralement entre 3 et 5 mètres.

- **Terminologie des charpentes traditionnelles**

Ferme : c'est un ensemble triangulé indéformable à un ou deux versants donnant la forme de la toiture.

Arbalétrier (1) : c'est une pièce de bois inclinée d'une ferme assemblée au sommet du poinçon et à l'extrémité de l'entrait.

Blochets (2) : Dans une charpente traditionnelle, le blochet est une pièce de bois horizontale, posée sur la sablière et reliant le pied de l'arbalétrier à une jambe de force.

Chevron (3) : Pièce de charpente fixée sur les pannes de couverture et recevant les linteaux.

Contre-fiche (4) : c'est une pièce de charpente placée obliquement qui réunit deux pièces de bois le poinçon et l'arbalétrier et qui reprend la charge d'une panne à un nœud canonique. Synonyme: jambe de force.

Echantignolle (5) : c'est une pièce de bois en appui sur un arbalétrier qui reprend les charges d'une ou deux pannes.

Entrait simple (7) : c'est une pièce de charpente horizontale reliant les pieds des deux arbalétriers d'une ferme, il peut être dit "haut" ou "retroussé" lorsqu'il est situé plus près du faîtage.

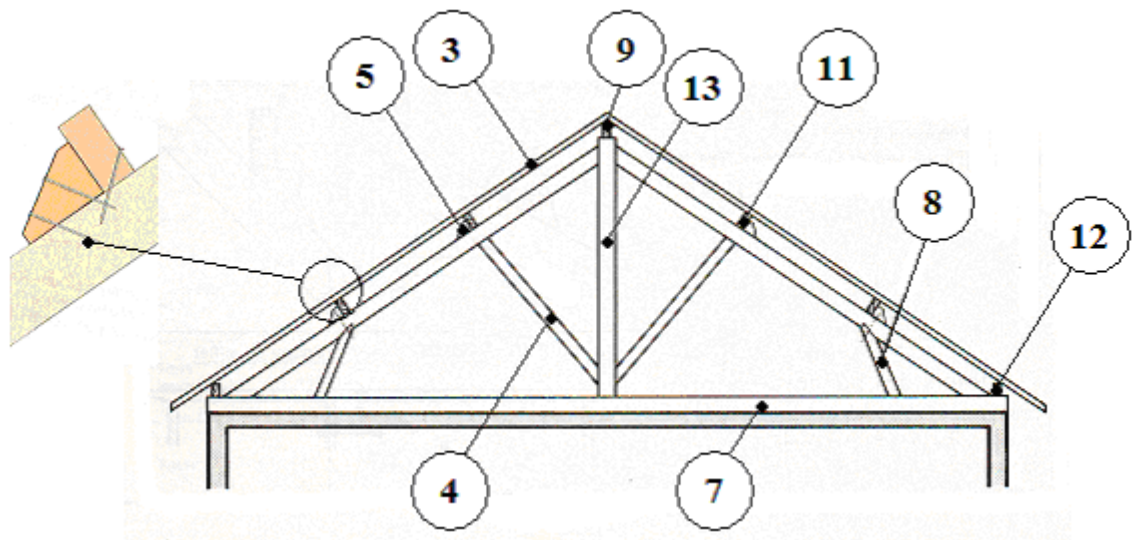
Entrait retroussé moisé (6) : c'est une double pièce de bois située près du faîtage.

Jambe de force (8) : c'est une pièce de bois qui reprend la charge de l'arbalétrier au niveau de l'entrait retroussé. Elle est assemblée avec le blochet en son milieu et repose sur une semelle.

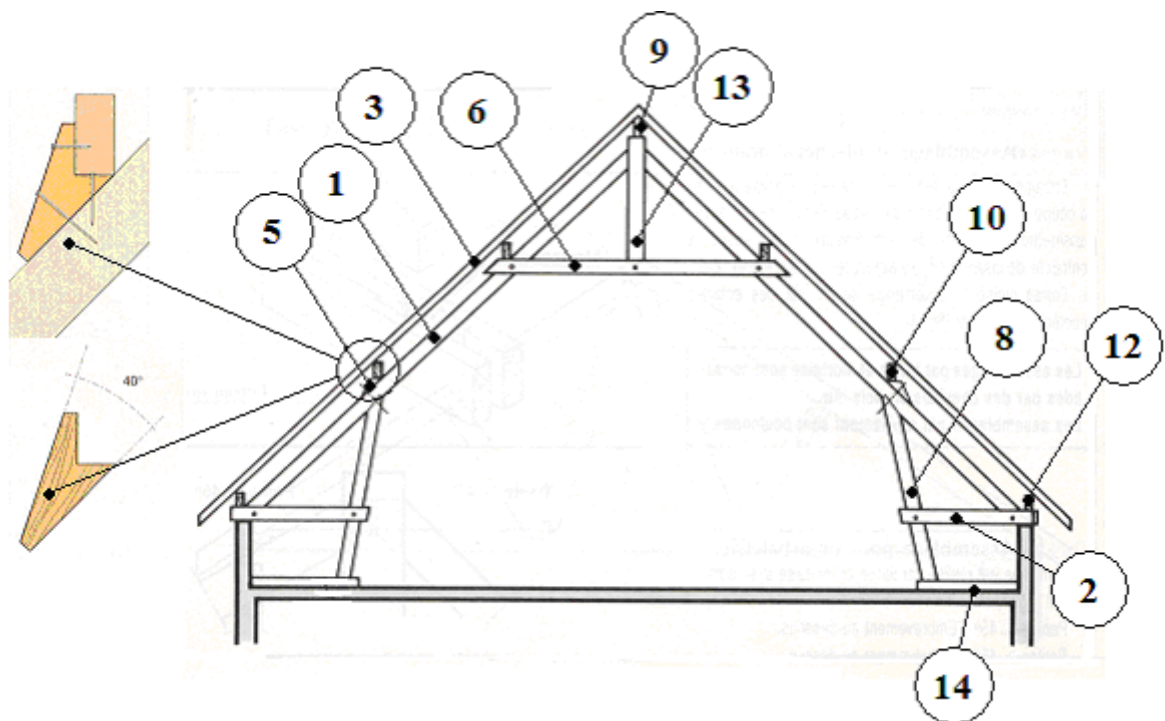
Panne intermédiaire : c'est une pièce de bois posée horizontalement qui relie les fermes ou les pignons. Elle supporte les chevrons. Une panne intermédiaire peut être **courante d'aplomb** : (10) ou **courante déversée** (11).

Panne faîtière (9) : c'est une pièce maîtresse de charpente reliant horizontalement l'angle supérieur des fermes et sur laquelle s'appuie les chevrons..

Panne sablière (12) : c'est une pièce en appui sur le haut du mur. Son nom provient de l'usage du sable qui était utilisé pour régler son horizontalité.



Ferme à comble non aménageable



Ferme à comble aménageable

- **Conception des fermes**

- a - Déformation :

Le triangle est le seul polygone indéformable, une ferme sera donc constituée de plusieurs triangles et sera, elle aussi, indéformable.

- b - Triangulation :

Pour qu'un ensemble soit normalement triangulé, il faut que le nombre de nœuds (n) multiplié par deux soit égal au nombre (n) de barres plus 3.

$$n \text{ nœuds} \times 2 = n \text{ barres} + 3$$

- **Les assemblages :**

a - Assemblages par emboîtement :

Ce sont des assemblages obliques liant deux pièces simples par l'intermédiaire de tenons et de mortaises ou par boulons avec la réalisation de chapelles pour loger les boulons.



Emboîtement avant tenon et mortaise



Emboîtement arrière normal



Assemblage double emboîtement

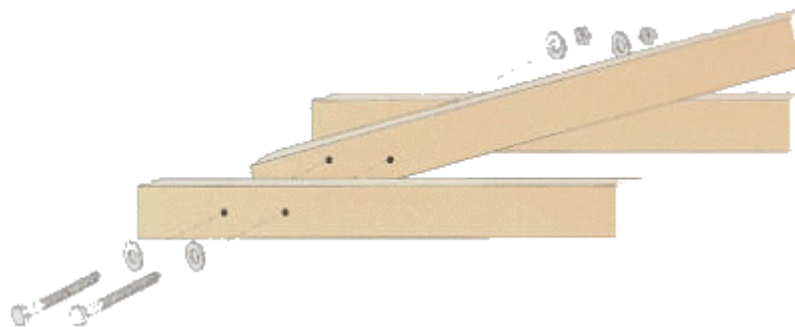


Emboîtement arrière droit

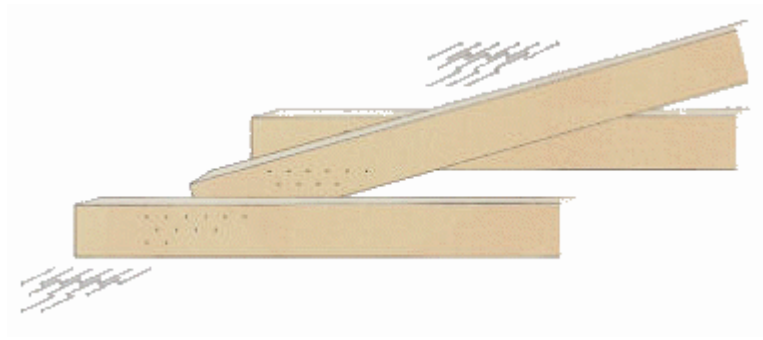
b - Assemblages moisés

Un assemblage moisés est un assemblage liant deux pièces doubles, appelées **moises** et une pièce simple par l'intermédiaire de boulons ou de pointes. Le but d'un tel assemblage est d'augmenter le moment quadratique ($bh^3/12$) de la surface sans augmenter la quantité de bois. L'assemblage pourra être renforcé par des entailles, qui seront simples (dans la pièce simple) ou doubles (dans la pièce simple et les moises).

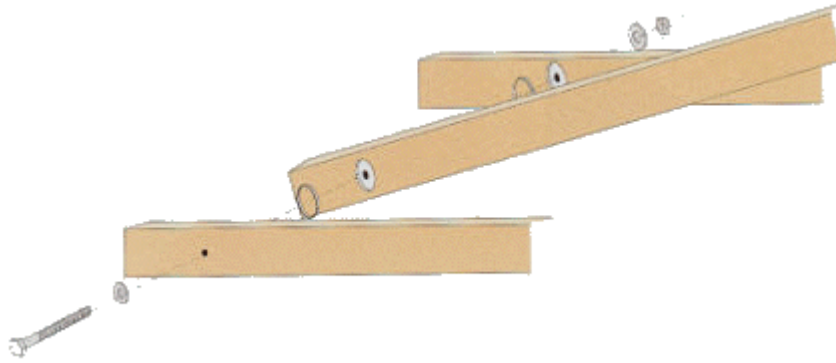
Dans certains cas des organes métalliques appelés anneaux ou crampons viendront s'ajouter aux boulons, afin de reprendre davantage d'efforts.



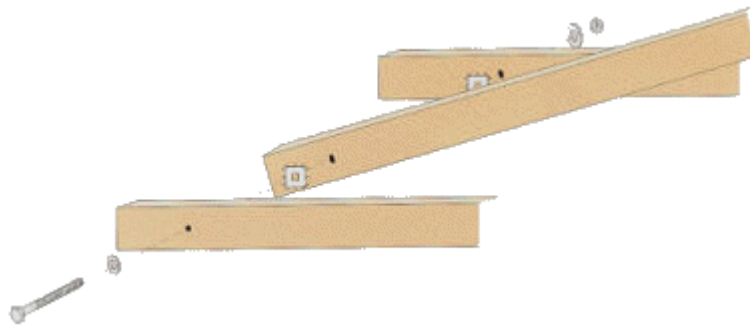
Assemblage par boulons



Assemblage par pointes



Assemblage par boulon et anneaux



Assemblage par boulon et crampons

c - Assemblages par entailles à mi bois ou par coupe en sifflet :



Panne faîtière entaillée avec coupe à sifflet désaboté sur poinçon à enfourchement



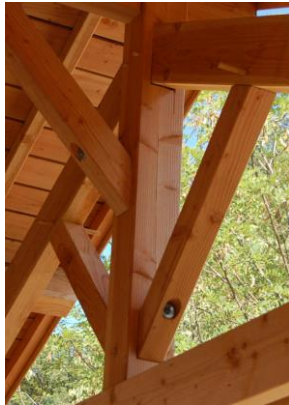
Panne faîtière entaillée sur poinçon à enfourchement

- **Le contreventement :**

Le contreventement représente l'ensemble des systèmes permettant la stabilité dans le plan horizontal et dans le plan des fermes. On recherchera toujours à constituer un système triangulé (Le système triangulé présente l'avantage d'être indéformable).

Dans le plan des fermes, le contreventement est effectué par la triangulation des éléments composants les fermes.

Dans le plan perpendiculaire aux fermes, le contreventement est effectué par la triangulation d'éléments rapportés aux fermes. On appelle ces éléments des liens de faîtage....



Aisseliers ou liens de faîtage

TOP



Déformations des charpentes en bois



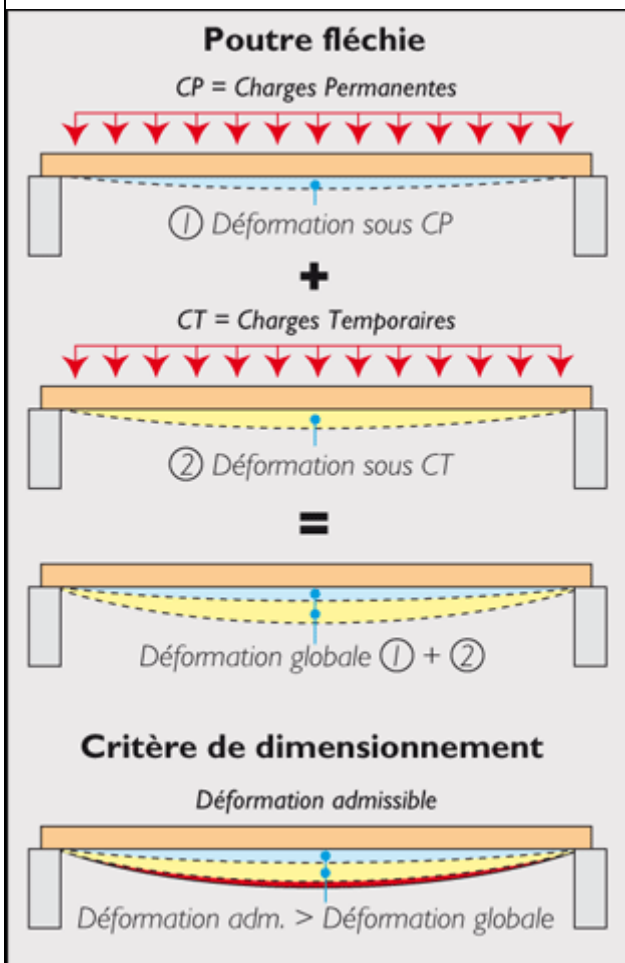
Le constat

Les déformations des ouvrages en bois se manifestent davantage par leur nuisance esthétique (creux de toiture, flèche d'un plafond) que par une réelle atteinte à la solidité des ouvrages. Par ailleurs, l'emploi massif des fermettes en construction individuelle rend ces désordres plus rares.

Le diagnostic

Les causes peuvent être différentes selon les deux grandes catégories d'ouvrages de charpente :

Les éléments fléchis



- **Pannes**, chevrons, **solives** de plancher, ...
Leur dimensionnement découle du respect des déformations admissibles dictées par la réglementation.

Encore ne faut-il pas oublier :

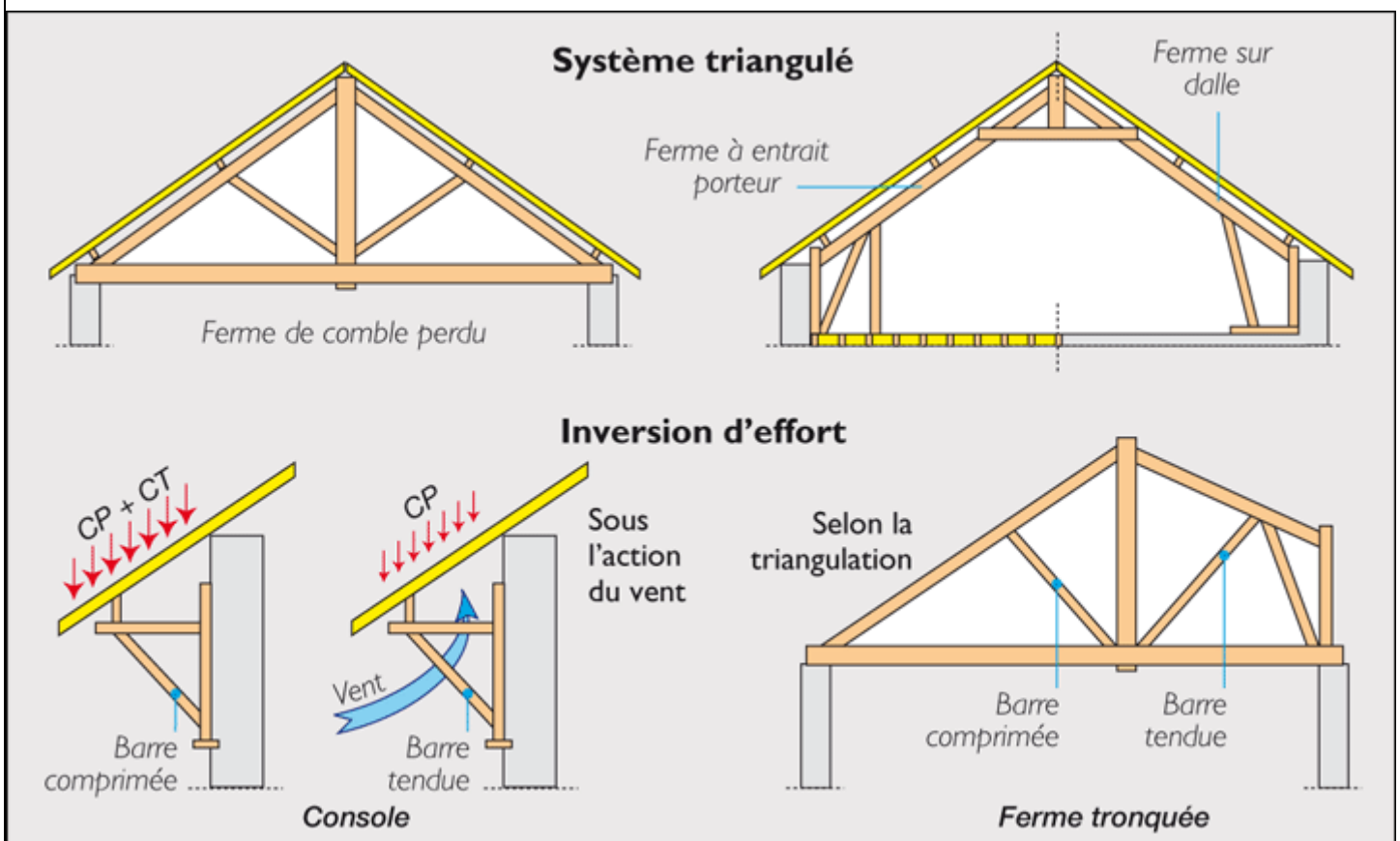
- **que l'humidité anormale d'un bois lors de sa pose est un facteur aggravant quant aux déformations futures et que tout élément en bois est sujet au fluage sous charge de longue durée ;**
- qu'une panne ne travaille pas de la même façon, qu'elle soit posée verticalement (flexion simple) ou selon la pente de la toiture (flexion déviée), alors même que rien n'est prévu pour reprendre sa flexion transversale.

Les systèmes triangulés (fermes de comble perdus ou aménageables)

Il s'agit des systèmes dont les barres travaillent principalement selon des efforts axiaux, mais dans la conception desquels il faut tenir compte des glissements d'assemblage nécessaires à leur mise en charge.

Leur dimensionnement et l'approche de leur déformation doivent prendre en compte les glissements d'assemblage qui accompagnent la mise en charge des assembleurs (boulons, pointes, ...).

Beaucoup plus rare, un défaut de préservation du bois peut entraîner sa dégradation progressive et, par voie de conséquence, des déformations.



Les bonnes façons de faire

- **Veiller au bon dimensionnement des ouvrages de charpente (DTU Règles CB 71).**
- **Choisir le bon matériau bois.** Ce choix est primordial dans les systèmes fléchis. Le bois de structure doit répondre à des caractéristiques (nœud, fil du bois...) bien particulières qui permettent d'estimer sa résistance aux sollicitations auxquelles il sera exposé.
- **Appliquer le traitement de préservation adéquat.** En fonction de l'usage auquel il est destiné, il faut déterminer sa classe d'exposition (1 à 5) et en tirer les conséquences en terme de choix d'essence et de

traitement.

Une attention au risque Termites doit être apportée dans certaines régions où l'utilisation de bois résistant aux termites, ou traités en conséquence, constitue une obligation.

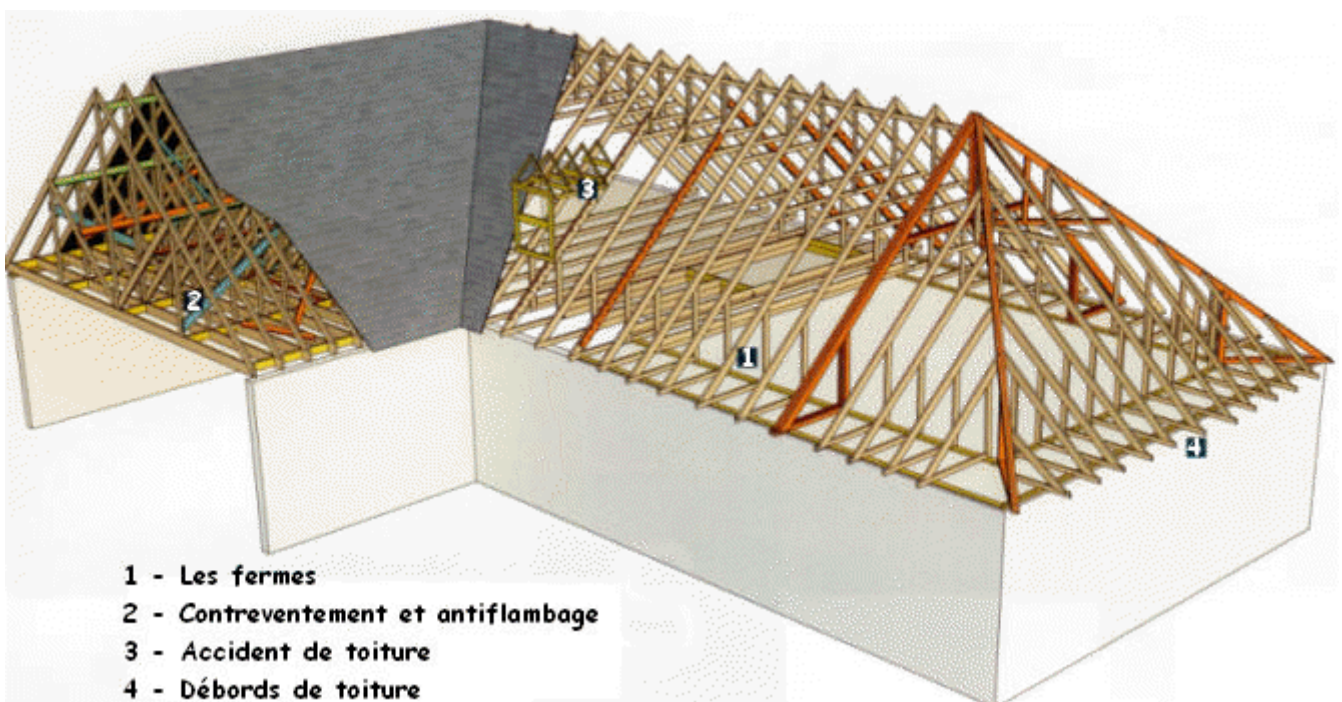
- **Mesurer les conséquences du mode de pose.** À portée égale, certains modes de pose peuvent générer des contraintes plus importantes dans le bois (flexion déviée).
- **Bien concevoir les dispositifs d'assemblage.** Outre le choix du dispositif (nature : boulons, crampons, clous...), leur protection (**galvanisation, peinture...**), leur dimensionnement et leur positionnement par rapport au bord de la pièce doivent particulièrement être étudiés en fonction des efforts à reprendre. Les déformations des fermes (totalement triangulées ou non) sont en bonne partie fonction des glissements d'assemblage. Il faut donc limiter les « jeux » en cours de pose, et notamment adapter au plus juste les trous devant recevoir les boulons.
- **Porter attention à l'humidité du bois.** Si on veut se prémunir des disgracieuses « gerces de dessiccation » et de déformations plus importantes que celles prévues, il est primordial de mettre en œuvre des bois dont l'humidité sera la plus proche possible de celle qu'il aura à l'équilibre.
- **Entretien régulièrement et utiliser dans des conditions normales les ouvrages, pour une bonne durabilité.**

LES FONDAMENTAUX

- Bien dimensionner les ouvrages.
- Traiter les bois.
- Porter attention à la conception et aux assemblages de l'ouvrage.
- Entretien régulièrement.

▪ Charpente industrielle

• Définition



Ce sont des charpentes de toitures composées de fermes industrialisées ou fermettes, recevant directement la couverture, et constituées d'éléments triangulés en bois de faibles sections.

Ce type de charpente peut être prévu pour tout type de toiture, comble aménageable ou comble non aménageable. L'épaisseur des pièces de bois doit être au moins de 36 mm et l'entraxe des fermettes varie de 60, 90, et 120cm. Pour des longueurs de ferme supérieures à 15 mètres l'épaisseur de la section passera à 47 mm. La longueur des pièces de bois constituant une fermette est de 6 mètres.

Les assemblages des pièces de bois sont réalisés par des [connecteurs métalliques](#) en [acier](#) galvanisé ou inox pour milieu humide, emboutis vrillés de différentes dimensions en fonction des charges à reprendre.

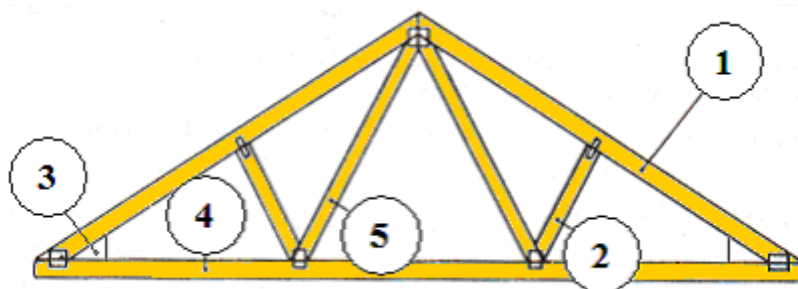
Les fermettes constituent des éléments de charpente légers qui sont capables de franchir des portées allant jusqu'à 20 mètres.

Elles prennent appui soit sur des murs soit sur des poutres. Elles reçoivent directement le support de couverture ou la couverture économisant ainsi pannes et chevrons.

Un plafond vient se fixer sous les entrails lorsque les combles ne sont pas utilisables. Lorsque les combles sont aménageables ce sont les arbalétriers qui reprendront la charge du plafond.

Constructivement, les pièces de bois composant la fermette étant optimisées au maximum, une grande attention doit être portée aux problèmes de flambement et de contreventement.

- **Terminologie des charpentes industrialisées**



Fermette en W à comble perdu

Nœud : ils sont situés à chaque liaison de plusieurs pièces de bois.

Arbalétrier (1) : pièce de bois soumise à un effort de compression qui reprend les charges de toiture.

Fiche / Contrefiche (2 et 5) :

Ecoîçon (3) : pièce triangulaire située au nœud de l'arbalétrier et de l'entrait. Cette pièce permet la descente de charge sur la panne sablière. On l'utilisera pour une fermette de pente importante > 35%.

Entrait (4) : pièce de bois horizontale soumise à un effort de traction

Une ferme est caractérisée par son nombre de travées. Sur cette ferme il y a quatre travées sous les arbalétriers et trois travées sur l'entrait. Ce sera une fermette de type 4.3.

Pour la réalisation d'une croupe, il sera nécessaire d'utiliser des éléments particuliers :



une ferme porteuse, ici une fermette de double épaisseur,



des fermes tronquées,



une demi-ferme au milieu de la croupe,



d'un arêtier à chaque angle,



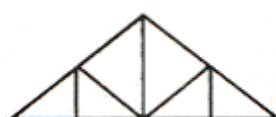
d'empannons pour remplir la croupe.

• Principaux types de fermettes

1. Fermettes courantes :



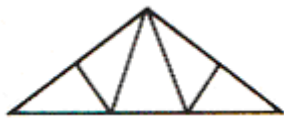
A contre-fiche



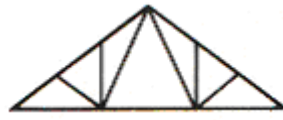
En M



En N



En W



En éventail



A entrain retroussé

2. Fermettes de pignon (pour pignon à ossature bois) :



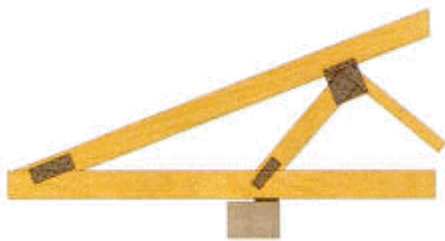
Fermette courante renforcée



Fermette à colombage

• Les saillies de toiture :

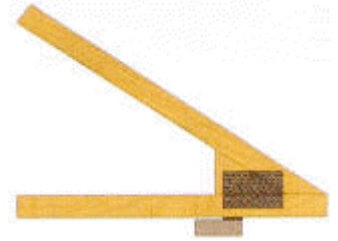
1. Les débords latéraux :



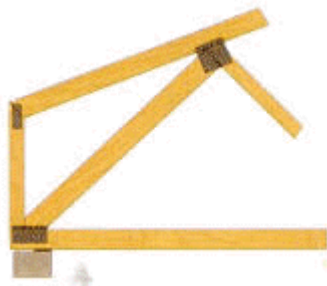
Débord droit



Débord droit en coyau



Débord droit avec écoinçon



Ferme sans débord avec troncage



Débord en queue de vache

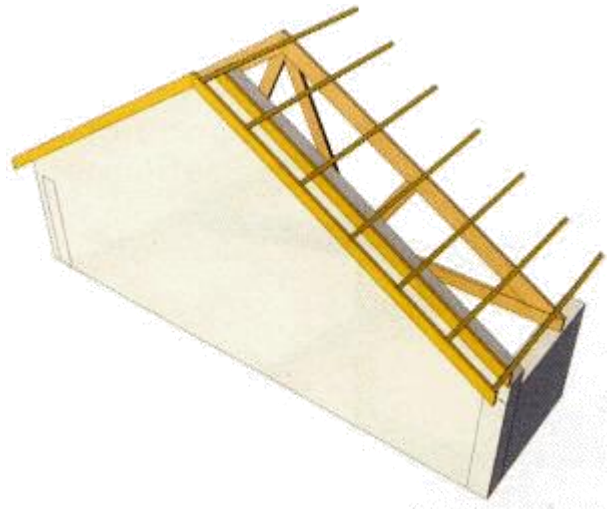


Ferme sans débord avec reprise d'efforts

coyau : Élément de charpente fixé en partie basse d'un chevron qui permet d'adoucir la pente du versant d'un toit au niveau de l'égout.

2. Les débords de pignon

Les linteaux sont en appui sur les fermettes courantes de toiture et sur un chevron fixé sur la maçonnerie du pignon. Un bandeau vient en applique sur le débord de toiture.



3. Débord en pignon avec échelle de pignon

L'échelle de pignon est fixée sur la fermette courante en appui sur une fermette de pignon sur un chevron qui enchâsse la maçonnerie du pignon.

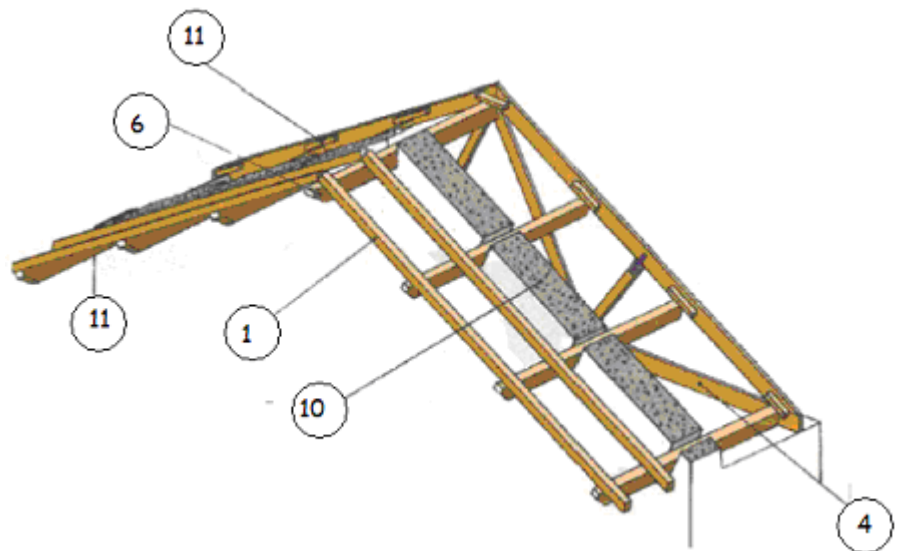
La ferme courante est équipée d'un écoinçon pour reprendre les charges de toiture et les transmettre au mur.



4. Débord avec fausses pannes

Les fausses pannes (6) sont placées dans des réservations de la maçonnerie (10) et fixées sur la ferme courante (4). Elles reprennent la charge des chevrons (1). Les fausses pannes sont utilisées pour l'esthétique.

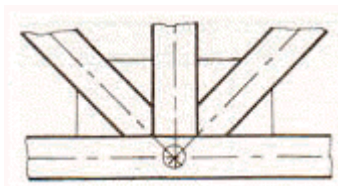
Pour une charge équilibrée, il est préférable de placer les chevrons de part et d'autre du mur pignon.



- **Les assemblages**

L'assemblage des « fermettes » en particulier, s'effectue de manière à obtenir l'intersection en un même point des axes de chaque pièce de bois. Ces intersections appelées « nœuds canoniques » seront l

es lieux d'intersection des fibres neutres des reprises d'efforts.

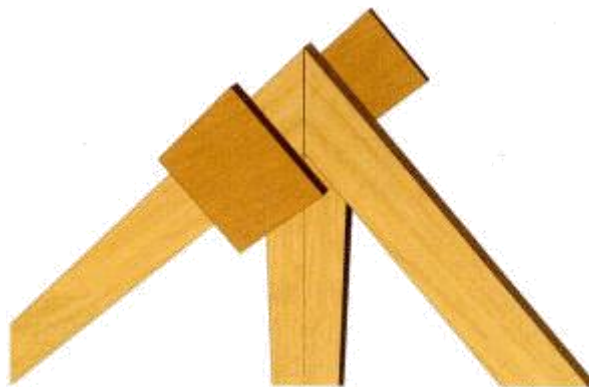


Il faudra particulièrement veiller à la continuité de matière sur la fibre neutre entre deux nœuds canoniques mitoyens. Mise en évidence de la fibre neutre en jaune sur un renfort d'arbalétrier de la ferme tronquée dans l'exemple ci-contre.



1. L'assemblage par gousset

Ce type d'assemblage est assez peu utilisé en série compte tenu du temps de fixation des goussets par des clous. Les goussets peuvent être en contreplaqué ou métalliques et seront situés de part et d'autre de chaque liaison.

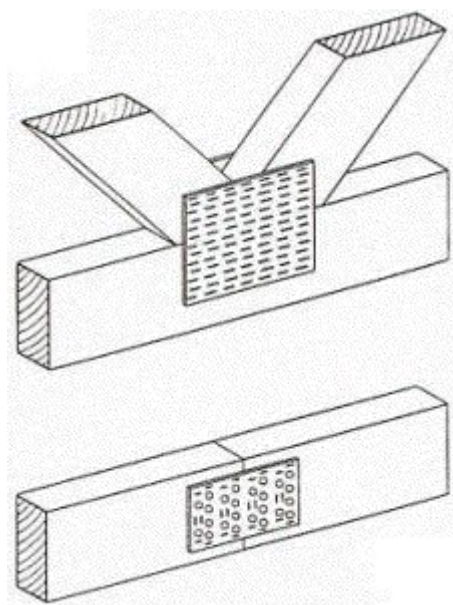


2. L'assemblage par connecteurs

Ce type d'assemblage est fréquemment utilisé pour les grandes séries. Les connecteurs métalliques avec des dents vrillées obtenues par emboutissage. Les connecteurs sont placés de part et d'autre du nœud à assembler puis pressés à la presse.



Mise en place du connecteur avant pressage



- **Ancrage des fermettes**

Les fermettes sont posées directement sur le chaînage ou sur des lisses de bois (sablères) noyées dans le chaînage ou en applique fixées par tire-fond. La fixation entre les fermettes et les sablières (ou le chaînage) s'effectue par des ferrures (équerres, pattes). Dans l'exemple ci-contre l'équerre est clouée avec 5 pointes annelées sur l'empannon et serrée avec un tirefond sur la lisse haute.



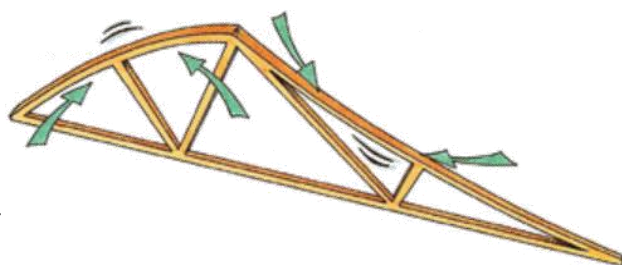
Le trou oblong horizontal de l'équerre, permettrait, en cas de montage sur un pied de ferme de réaliser un appui glissant avec un degré de liberté dans le sens longitudinal de la ferme.

Les équerres, suivant les poseurs, peuvent être posées soit en opposition sur la diagonale de l'entrait, soit deux par pied de fermette.

• Le contreventement d'une charpente

1. Pourquoi réaliser un contreventement ?

Les charpentes industrielles utilisent des fermettes qui ont très peu de rigidité transversale. Un simple calcul du moment d'inertie permet de le vérifier rapidement. Lors de la mise en place de la ferme, il est fréquent de la voir vibrer en l'air avant la pose. Il est donc important, lorsque toutes les fermes sont placées en position, de rigidifier l'ensemble complètement pour empêcher les pièces de bois de se déformer par flambement et de contreventer l'ensemble des fermettes pour les solidariser. C'est cette opération qui permettra de donner sa tenue à la charpente.



Flambement : c'est la tendance qu'a un matériau soumis à une force de compression longitudinale à fléchir, et donc à se déformer dans une direction perpendiculaire à la force appliquée.



2. Différences entre l'anti-flambement et le contreventement

Le dispositif d'anti-flambement évite la déformation des éléments des fermes, comprimés par le poids de la couverture et du plafond. Les arbalétriers, qui subissent de gros efforts axiaux de compression du fait de leur faible épaisseur, vont se déformer latéralement. Les liteaux seuls ne peuvent pas assurer le rôle d'anti-flambage, on utilisera des pièces de bois qui seront disposées perpendiculairement aux entrants et aux arbalétriers.

Le contreventement stabilise la charpente contre les effets du vent, appliquée sur les pignons et qui s'exerce parallèlement au faitage. Les éléments de contreventement sont effectués par des lisses en bois. Les pièces de bois utilisées permettront de réaliser des assemblages triangulés avec les fermettes donc indéformables.

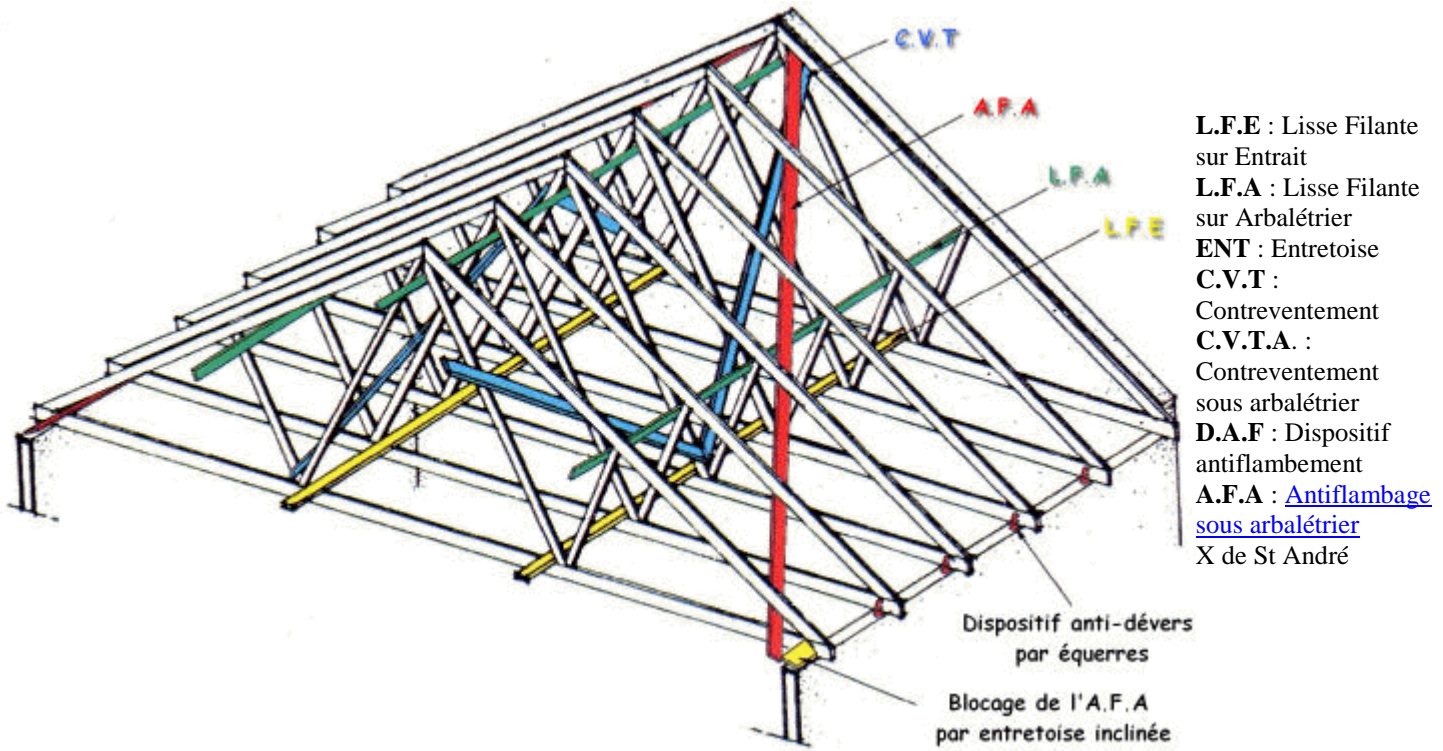
Description d'une charpente avec contreventement [2 pans](#)

Plan d'exécution d'une charpente [4 pans](#) :

En vert clair les lisses filantes sur entrants (FE) et sous arbalétriers (FA), en vert foncé les entretoises (ETRE, en rouge les dispositifs d'antiflambage sous arbalétriers, en bleu les éléments de contreventement.

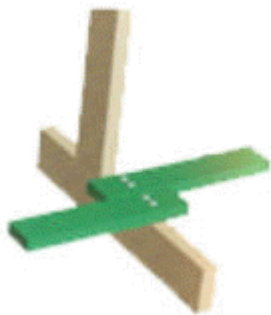
Antiflambement sous arbalétriers (AFA) : ils sont fixés sous les arbalétriers dans le plan de la toiture. Avec un angle de 45° environ, ils relient le faîtage aux chaînages. Ce sont des **pièces prioritaires** car elles empêchent le flambement des arbalétriers (déformation en S de la toiture) et stabilisent les pignons (indiqués en rouge)

Dispositif Antiflambement sur fiches (D.A.F) : certaines fiches comprimées sont très minces par rapport à la longueur. Il est donc nécessaire de les empêcher de flamber en clouant un ou deux filants au milieu qui seront calés aux extrémités sur les pignons (indiqués en rouge)



5. Pose et fixation

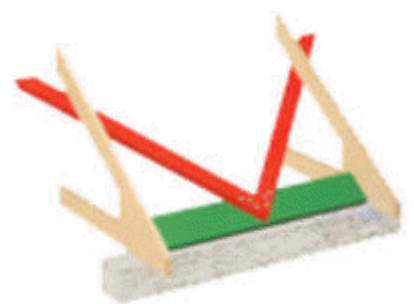
Les CVT, AFA, croix de St André doivent se rapprocher d'un **angle de 45° dans leur plan de pose**. La continuité du contreventement doit être assurée, il sera impératif de poser les entretoises sur une file.



[Alignement de lisse sur entrait](#)



[Continuité d'un contreventement](#)

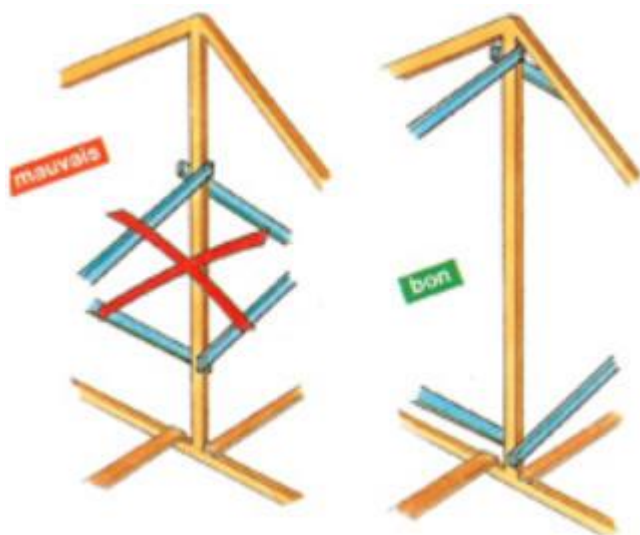


[Continuité d'un dispositif anti flambement](#) sur une entretoise inclinée.

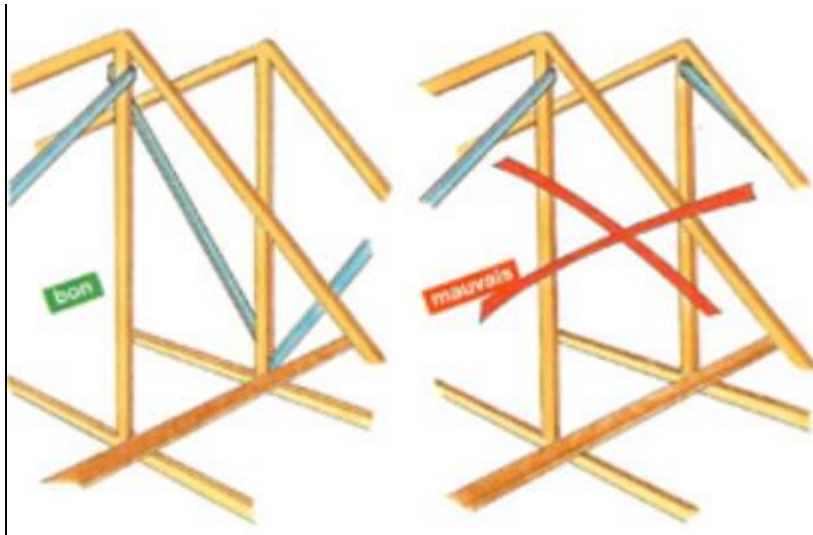
Les antiflambements des diagonales comprimées ne sont efficaces que si elles sont bloquées à leurs extrémités. Chaque intersection d'un DAF, d'une filante, d'une croix de St André avec une pièce de fermette sera pointée à l'aide de deux pointes torsadées, annelées ou crantées en excluant les pointes lisses :

- deux pointes de 70mm pour des bois d'épaisseur de 25 mm
- deux pointes de 90mm pour des bois d'épaisseur 36 mm.

6. Erreurs à ne pas commettre



Le contreventement doit être le plus près possible des nœuds de fermettes.



Lors de l'établissement d'un contreventement il ne doit pas y avoir rupture de contreventement

Déformations de fermettes industrielles



Le constat

La couverture peut présenter des déformations visibles, avec des tuiles qui ne sont plus alignées : c'est le signe d'une déformation (fléchissement, déversement) de la charpente industrialisée.

Cette pathologie devient heureusement plus rare, grâce au durcissement des règles de l'art et aux progrès de la profession : fixation plus encadrée des fermettes sur le gros œuvre, recours systématique aux plans de pose.

En revanche, on recense des sinistres en rénovation, lorsque l'aménagement des combles entraîne une coupe des fermettes exécutée sans discernement, sans étude spécifique des principes de stabilité forcément affectés.

Le diagnostic

Les charpentes industrialisées en bois assemblées par des [connecteurs métalliques](#) sont utilisées pour les maisons d'habitation, mais aussi des bâtiments plus vastes tels que des magasins ou des hangars.

- La plupart des déformations affectant ces fermettes proviennent du [flambement](#) ou du déversement des pièces comprimées (arbalétriers, diagonales). En effet, le poids de la couverture et des plafonds génèrent dans les barres constituant les fermettes des efforts de traction ou de compression. Or, les pièces de bois utilisées sont parfois de faible épaisseur (36 mm) et pourtant longues de plusieurs mètres. La compression qui transite dans ces pièces peut provoquer un flambement : un [arbalétrier](#) se déforme, il entraîne ses voisins attachés par les liteaux et c'est l'ensemble de la charpente qui est affecté.

Le phénomène peut conduire à un effondrement de la toiture, notamment lorsque les pointes de pignons ne sont pas construites en dur et ne peuvent donc s'opposer aux poussées (déversement). La situation peut devenir critique par temps de vent.

Pour s'opposer à ces déformations, il convient donc de mettre en œuvre des barres anti-flambement et de [contreventement](#), conformément au plan de pose fourni par le fabricant.

- Des erreurs de dimensionnement ou de calcul peuvent aussi être source de désordres. Les fermettes sont le plus souvent dimensionnées par ordinateur, ce qui sous-entend que les hypothèses de calcul cadrent avec la réalité. La modélisation doit prendre en compte les lignes d'épure et les conditions d'appui (rotule, appui glissant...). Les charges ponctuelles telles que les souches de cheminée ou les possibilités d'accumulation de neige ne doivent pas être sous-estimées.

Le calcul doit concerner également les formes spéciales (tronquées ou dissymétriques), telles que les fermes de chien-assis, de fenêtre de toit ou sur trémie d'escalier, sujettes à déformations particulières.

- Les fermettes doivent être régulièrement espacées et parfaitement solidarisées au gros œuvre. Leur verticalité doit être soignée.

Il conviendra de ne pas poser une fermette qui se serait déformée pendant le transport ou qui aurait été mal stockée (une fermette gauche se déformera anormalement).

Les bonnes façons de faire

- Respecter les règles de conception, de mise en œuvre et de calcul.
Ces documents apportent notamment toutes les informations utiles sur :
 - les charges à prendre en compte ;
 - la qualité des bois à retenir ;
 - les modalités de calcul et les déformations acceptables ;
 - les dispositifs permettant d'assurer la stabilité (contreventement, anti-flambement) ;
 - la fixation des fermettes (en particulier dans les zones sismiques).
- Vérifier le traitement préalable de la charpente (termites, insectes xylophages, champignons).
- Prendre en compte les conditions du site (altitude, effet de site...) dans la détermination des actions de vent et de neige.
- Respecter scrupuleusement le plan de pose fourni par le fabricant, qui doit être détaillé et explicite quant à la disposition des barres assurant la stabilité du montage. Les poseurs doivent avoir reçu une formation spécialisée à la lecture de ces plans.
- Veiller à l'aplomb des fermettes.

LES FONDAMENTAUX

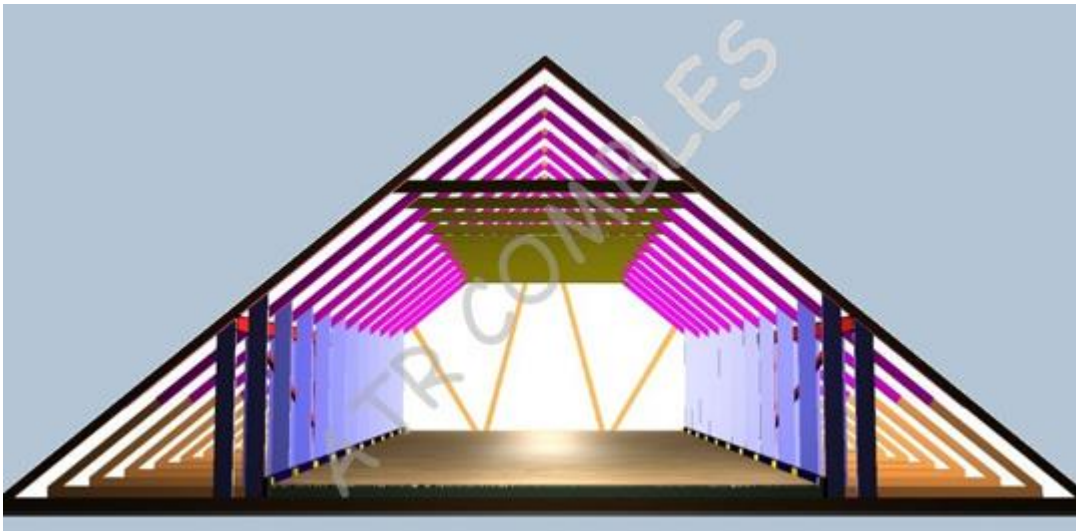
- **Se conformer au DTU 31.3 et aux règles CB71.**
- **Pose des fermettes conformément au plan de pose fourni par le fabricant.**
- **Pour tout travaux sur l'existant ayant une incidence sur la tenue de la charpente, faire un nouveau calcul de résistance et de stabilité par un BET spécialisé, ne rien entreprendre sans l'appui d'une entreprise spécialisée de longue date dans ce type de travaux.**

Transformation d'une charpente pour aménagement de combles



Le constat

Rendre habitables des combles perdus représente une intervention lourde et à haut risque.



Ces travaux peuvent entraîner des déformations des charpentes, des couvertures, des planchers créés, des cloisons du rez-de-chaussée...

Ces désordres sont généralement graves et peuvent aller jusqu'à l'effondrement des planchers créés et des charpentes modifiées.

Le diagnostic

Les désordres ont pour cause l'ignorance des contraintes nouvelles qui résultent de la modification des hypothèses de calcul d'origine, ainsi que de défauts variés de mise en œuvre.

Des défauts de renforcement

- **Des éléments porteurs**
Les [fermettes](#) industrielles sont reliées entre elles par des entretoises, des contreventements et des barres anti-flambement qui assurent la stabilité de l'ensemble.



- Pour rendre habitables ces combles perdus, il faut supprimer toutes les barres encombrant le volume central et créer un plancher porteur.

La suppression des barres en volume central avant renforcement des fermettes provoquera leur ruine ou, à défaut, de graves déformations généralement impossibles à reprendre ultérieurement. Certaines barres raidissent notamment l'[arbalétrier](#). Avant de les supprimer, il faut renforcer les arbalétriers existants au risque de les voir fléchir.

- **Aux points singuliers**

Des précautions doivent également être prises lors de la création des trémies nécessaires à l'escalier d'accès aux combles, aux lucarnes ou aux fenêtres de toit. Pour les réaliser, il est nécessaire de sectionner l'[entrait](#) ou l'arbalétrier d'une fermette existante.

Des chevêtres nouveaux reportent alors les charges sur les deux fermettes voisines. Celles-ci risquent de s'affaisser si elles ne sont pas suffisamment renforcées.



Des malfaçons diverses

- Les assemblages : tiges filetées passant dans des percements trop grands, clous et vis en nombre insuffisant, trop courts ou mal implantés (trop près du bord), etc. Le jeu ainsi provoqué dans les assemblages risque d'entraîner des déformations de structures qui s'additionnent aux déformations existantes des fermettes.
- La fixation des poutres longitudinales, sans pénétration dans les pignons maçonnés, est aussi particulièrement risquée.
- De nouvelles solives sous-dimensionnées ou non entretoisées. Le nouveau plancher risque alors de s'affaisser. Ce risque existe également si les solives sont en appui sur des éléments déformables comme une poutre longitudinale mal conçue ou mal réalisée, par exemple. L'affaissement du plancher peut entraîner des fissurations et même l'effondrement du plafond sous-jacent, le flambement et la fissuration des cloisons de l'étage inférieur, la fissuration des cloisons des combles, etc. Les pignons maçonnés en parpaings creux peuvent aussi se fissurer par traction.

Les bonnes façons de faire

- **Concevoir la transformation comme s'il s'agissait d'une nouvelle charpente.**
La transformation d'une charpente nécessite une très bonne connaissance des structures et des charpentes. Elle exige de vérifier par le calcul tous les points clés, en ayant recours à un BET spécialisé intégrant dans certaines régions le risque sismique.
- **Contrôler la bonne exécution de chaque phase avant de passer à la suivante.**
Le phasage des travaux doit permettre de préserver la stabilité de l'ouvrage à chaque instant du chantier. Par exemple, il ne faut pas supprimer les contreventements d'origine avant d'avoir mis en place les nouveaux ou, le cas échéant, des contreventements provisoires.

- **Utiliser des bois de qualité.**
Les bois et panneaux de plancher utilisés doivent être secs et préservés des reprises d'humidité en cours de chantier. La qualité des bois doit garantir leur tenue.
- **Veiller de très près à la bonne exécution des assemblages.**
Les assemblages sont fortement sollicités. Leur faiblesse entraîne la fragilisation de toute la charpente.

LES FONDAMENTAUX

- **Recourir systématiquement à un nouveau calcul de résistance et de stabilité par un BET spécialisé.**
- **Préserver la stabilité de l'ouvrage en contrôlant chaque phase du chantier.**
- **Apporter un soin particulier aux assemblages, fortement sollicités.**

▪ Etanchéités

TOITURES ET CHARPENTES

Toitures-terrasses, le point faible : les relevés



Le constat

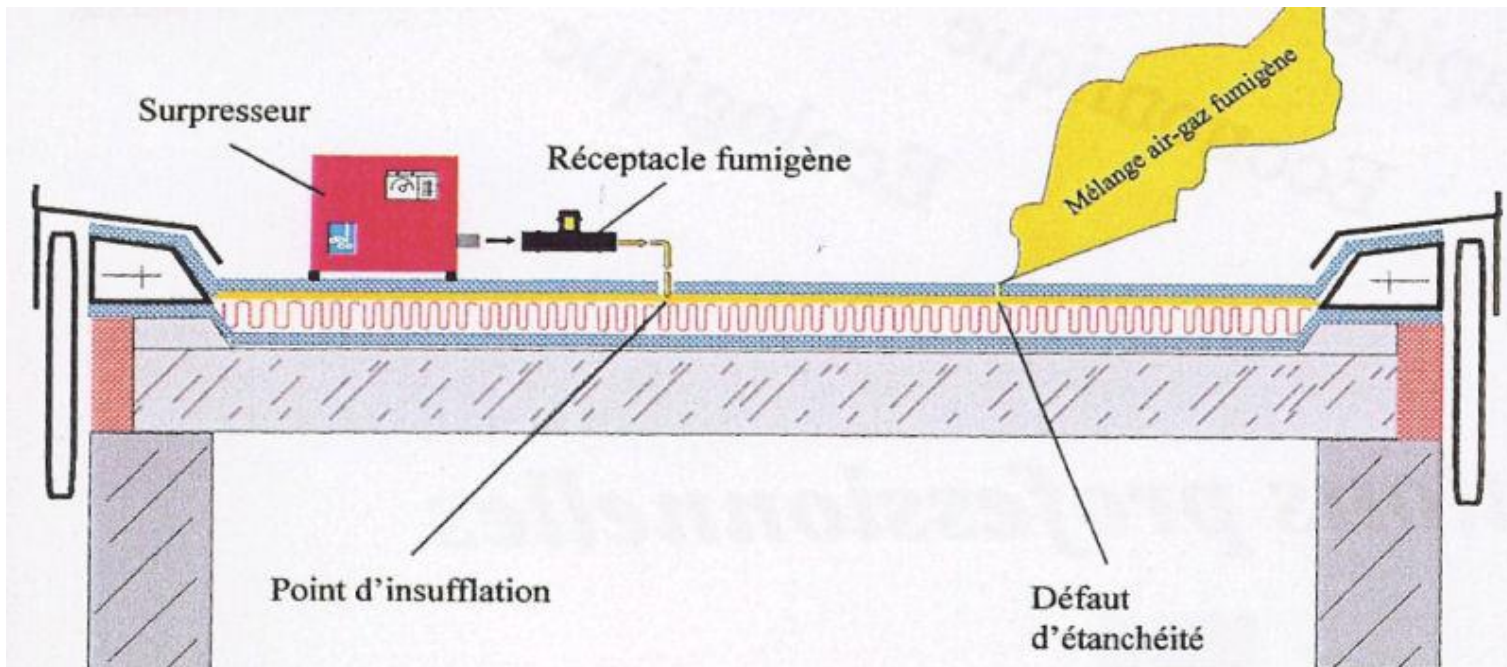
La plupart des sinistres concernant l'étanchéité des toitures-terrasses ont pour origine les points singuliers et notamment les relevés.

Les décollements et déchirures peuvent avoir des conséquences coûteuses.

Le diagnostic

Les relevés d'étanchéité servent à prévenir la pénétration de l'eau en périphérie des terrasses revêtues d'un complexe d'étanchéité, empêchant ainsi les infiltrations à l'intérieur des ouvrages.

Pour assurer l'étanchéité de la toiture-terrace à la périphérie des émergences, ces relevés sont mis en œuvre en adhérence totale sur un support adapté à cet usage dans le cas de membranes bitumineuses (cf. DTU série 43.1 à 5) ou, dans le cas de membranes synthétiques et pour des hauteurs de relevés courantes (jusqu'à 20 cm, voire 40 selon l'Avis Technique ou le DTA), réalisés en pose libre et maintenus en tête par collage sur une tôle calaminée ou fixés mécaniquement.

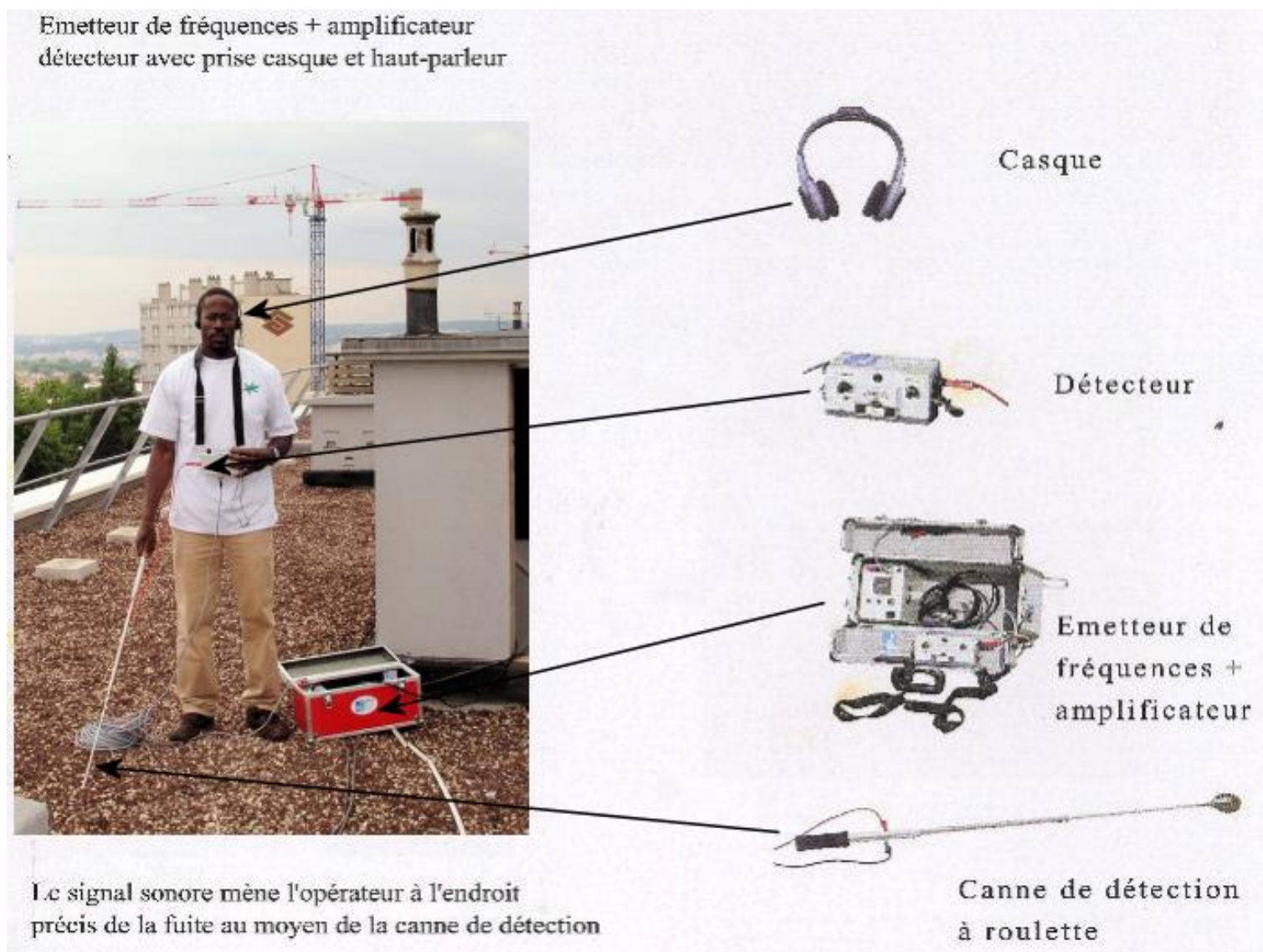


Les décollements et glissements peuvent avoir plusieurs origines :

- support humide (décollement par pression de vapeur d'eau) ;
- défaut d'imprégnation (absence, insuffisance ou nature inadaptée de l'imprégnation) ;
- aspect glacé du support ;
- défaut de soudure du revêtement ;
- contraintes mécaniques (effet de cisaillement créé par une charge importante (terre) en fonction de la hauteur de relevés, principalement) ;
- absence ou défaut de protection en tête de relevés (engravure, [becquets](#) collés/vissés et/ou solins métalliques...).

Les déchirures ([poinçonnement](#)) proviennent :

- d'une fissuration du support ;
- de cisaillements dans les gorges des relevés dus à des poussées de la protection en dur de la partie courante (insuffisance voire absence de joint périphérique) ;
- du cisaillement (plis à 45°) dû à des effets thermiques entre les parties isolées (partie courante) et celles non isolées (acrotère et/ou équerres métalliques).



Les débordements, dans le cas de terrasses-jardins, sont dus à un niveau de terre dépassant la hauteur de relevés.

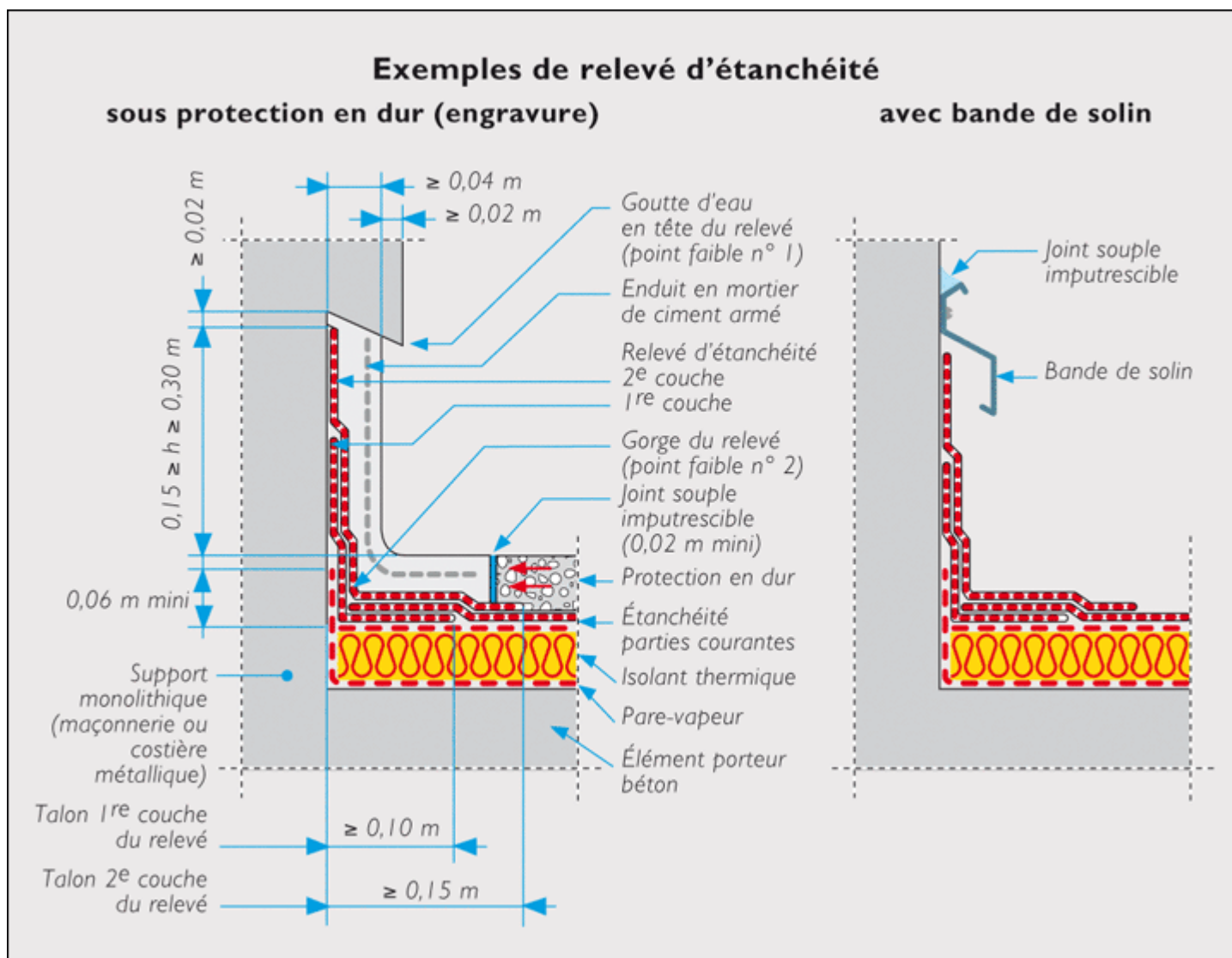
Cela arrive lorsque l'on surestime le tassement futur de la terre.

Les bonnes façons de faire

Respecter les conditions de mise en œuvre des ouvrages de relevés.

Les conditions de mise en œuvre des ouvrages de relevés sont fonction de la nature des supports (béton, métal, bois, isolant) et de la destination des toitures-terrasses (accessibles, non accessibles, techniques, jardin, parking, végétalisées).

Elles sont fixées par les Avis Techniques ou DTA des procédés d'étanchéité, qui renvoient pour les procédés d'étanchéité traditionnels (bitumes modifiés par élastomère SBS non fixés mécaniquement) aux DTU 43.1 à 5. Pour les systèmes non traditionnels (bitumes modifiés par élastomère SBS fixés mécaniquement, bitumes modifiés APP, membranes synthétiques), les Avis Techniques ou DTA peuvent également renvoyer aux principes fixés par les DTU.



Par soudage, par collage au bitume chaud ou par collage à froid, la mise en œuvre inclut le respect de ces dispositions normatives concernant les hauteurs, la protection en tête et la protection en général (enduit grillagé par exemple).

La bonne tenue et le bon fonctionnement des ouvrages de relevés dépendent également :

- de la parfaite adhérence du revêtement au support, tenant compte d'éventuelles hétérogénéités de celui-ci entre partie courante et support de relevé ;
- du choix de la protection du relevé : autoprotection par granulés minéraux, feuille métallique ou protection rapportée, en fonction de l'accessibilité de la terrasse ;
- de la compatibilité entre matériaux (support/isolant/étanchéité) ;
- de la conception des matériaux en ce qui concerne les armatures (voile de verre, polyester non tissé) ;
- de la programmation d'un entretien régulier (annuel) pour assurer la pérennité de l'ouvrage (contrat d'entretien auprès d'entreprises spécialisées, par exemple).

LES FONDAMENTAUX

- Porter une attention particulière à la hauteur des relevés et à la protection en tête.
- Veiller à la bonne adhérence en portant attention à la qualité du mastic.
- Ne pas provoquer de tension ou de cisaillement en surchargeant le complexe d'étanchéité.
- Entretien régulièrement les toitures-terrasses.

Points faibles de la protection lourde en toitures-terrasses accessibles



Le constat

Sur les toitures-terrasses accessibles, la protection lourde assume à la fois la viabilité et la protection du revêtement d'étanchéité contre les agressions climatiques et mécaniques.

Qu'il s'agisse d'une protection lourde par dalle béton ou dalles sur plots, il existe des risques d'infiltration d'eau.

Le diagnostic

La conception, la réalisation et/ou l'entretien peuvent être à l'origine de ce problème.

Des infiltrations se produisent lorsque les ouvrages censés protéger le revêtement d'étanchéité le blessent. Ces blessures affectent la partie courante ou les relevés.

Dans le cas d'une protection par dallage en béton armé

Sous l'effet des variations hygrothermiques, la masse que constitue le dallage en mortier ou en béton se dilate ou se rétracte. La répercussion de ces mouvements s'avère néfaste pour le revêtement d'étanchéité car il résiste mal aux mouvements alternés. Résultat : il se décolle, se plisse ou se déchire.

Les deux principales causes sont :

- une surface de dalle trop importante (surface délimitée par les joints de fractionnement supérieure à 10 m²) ;
- la solidarisation du dallage armé avec le revêtement (non-interposition d'un matériau de désolidarisation lors de la mise en œuvre).

Dans le cas des dalles sur plots

Les dalles ou les plots peuvent avoir une action mécanique directe sur le revêtement ou les relevés en les blessant en surface :

- lorsqu'elles sont positionnées trop près d'un relevé mal protégé, les arêtes des dalles entaillent le revêtement ;
- lorsqu'ils sont posés sur une surface mal nettoyée ou non débarrassée des résidus de chantier, les plots peuvent recouvrir des corps coupants (clous, graviers...) qui, sous le poids des dalles et les sollicitations de fonctionnement, performent progressivement le revêtement ;
- lorsque des équipements lourds (mobilier, jardinières) sont installés ultérieurement sur les dalles, sans que le revêtement d'étanchéité (et/ou l'isolant support) soit renforcé, les plots poinçonnent le revêtement qui se déchire .

L'absence ou l'insuffisance d'entretien de la terrasse, en favorisant l'accumulation de végétation ou de feuilles mortes, provoque l'encrassement des vides des joints entre dalles et par suite le débordement en empêchant l'évacuation normale de l'eau sous les dalles.

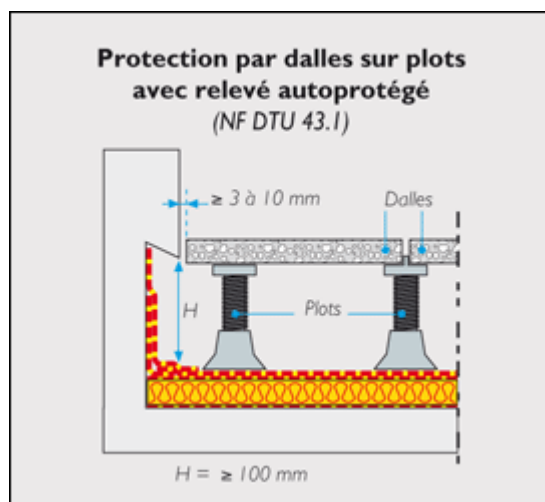
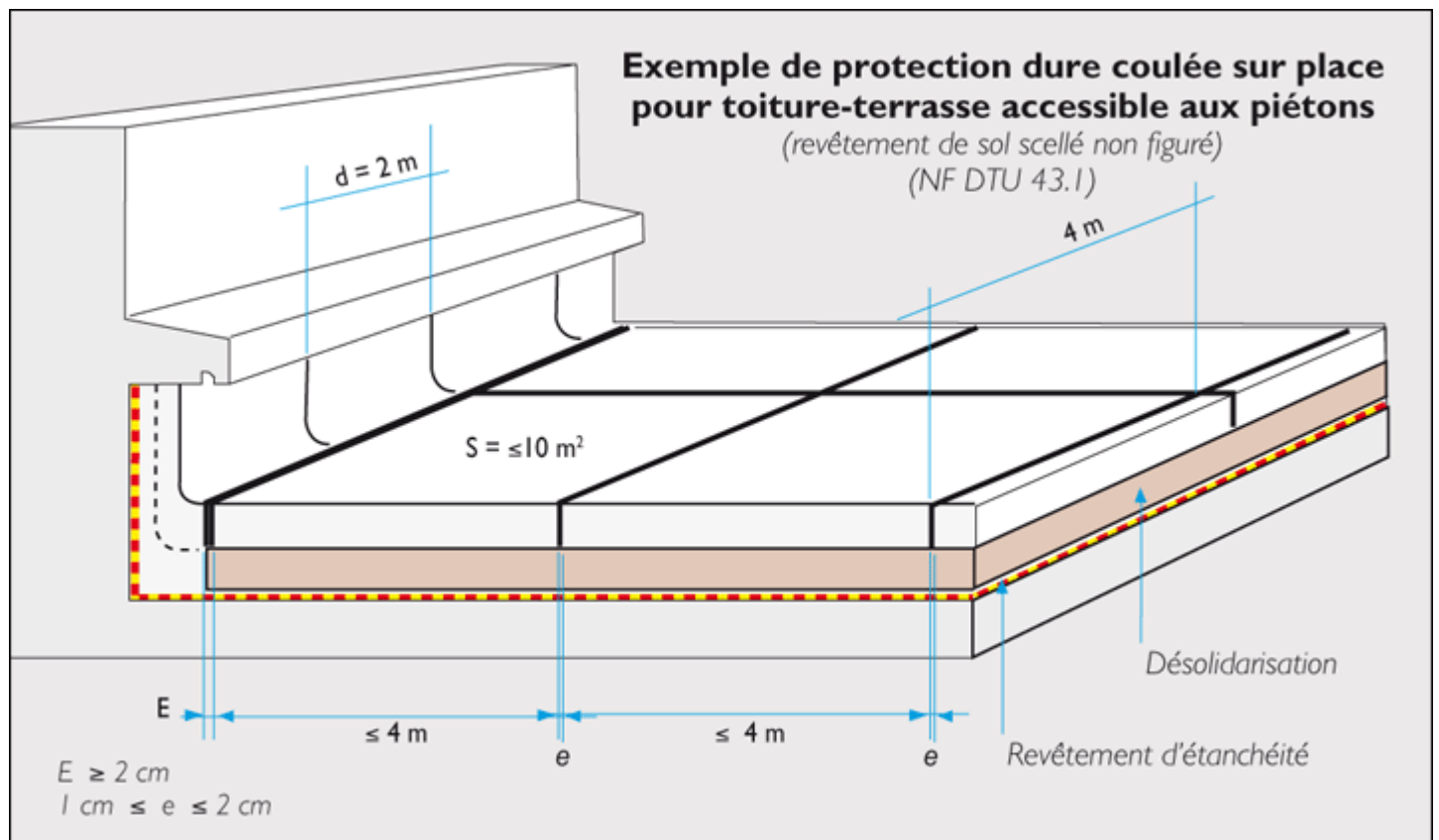
Les bonnes façons de faire

En ce qui concerne la protection par dallage armé

Respecter le NF DTU 43.1 qui fixe les règles minimales de dimensionnement des dalles utilisées en protection lourde, et préconise notamment :

- le fractionnement en bordure des reliefs et émergences (joints de 0,02 m) ;
- le fractionnement tous les 4 m maximum ou par surfaces maximales de 10 m² (joints de 0,01 à 0,02 m) (voir croquis) ;
- la désolidarisation entre le revêtement et la protection par un lit de granulats (ou un film dans le cas de surfaces inférieures à 30 m²) sur non-tissé.

Ces prescriptions sont reprises dans le DTU 52.1.



En ce qui concerne les dalles sur plots

- Respecter les prescriptions du NF DTU 43.1 qui détermine les hauteurs minimales des relevés (toujours supérieures à 0,10 m) suivant la position relative des dalles, la nature de la protection des relevés et la dimension recommandée pour les joints (0,002 à 0,005 m entre dalles et 0,003 à 0,010 m entre dalles et émergences).
- Avant la pose des plots et des dalles, veiller à avoir une surface de revêtement propre et exempte de tout corps susceptible de blesser la surface. Il faut poser, si possible, les dalles avant le passage des autres corps d'état sur la terrasse étanchée.

LES FONDAMENTAUX

- Concevoir le complexe étanchéité/protection lourde en tenant compte des charges ultérieures et des contraintes d'accessibilité.
- Exécuter la protection lourde en veillant aux points sensibles signalés dans le DTU 43.1.
- Entretenir régulièrement les dalles sur plots pour éviter l'encrassement des vides entre joint

TOITURES ET CHARPENTES

Infiltrations par points singuliers de couvertures en tuiles



Le constat

La plupart des infiltrations de couvertures de bâtiments en petits éléments se produisent au niveau des points singuliers :

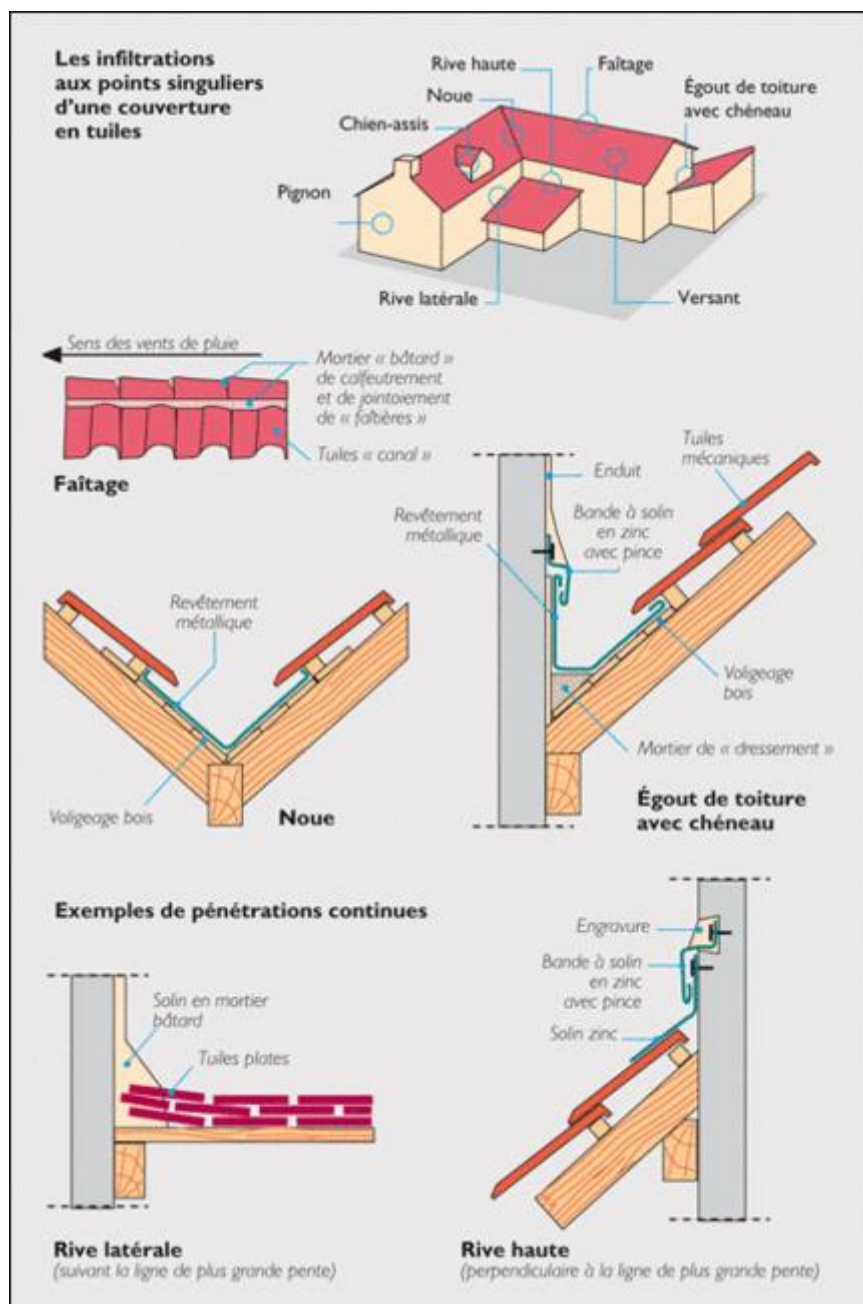
- liaisons entre versants ([faîtages](#), [noues](#), [arêtiers](#)) ;
- liaisons entre versants et murs ([solins](#)) et bordures de versants ([rives latérales](#), [égout](#)) ;
- fixation ou intégration des panneaux solaires (thermiques, photovoltaïque) en toiture, qui présentent de nombreux points singuliers, pas toujours réalisés par des couvreurs.

Le diagnostic

Les désordres constatés trouvent leur origine

- Dans un défaut de conception

- mauvaise exposition du faîtage aux vents de pluie dominants ;
- coupes biaisées de tuiles romanes au droit des noues, favorisant les infiltrations de neige poudreuse ;
- défaut de dimensionnement des noues et des [chéneaux](#).



- Dans un défaut d'exécution

- défaut dans la fixation des éléments de rive et d'égout préconisée au DTU quelles que soient l'exposition et la pente de la couverture ;
- défaut dans la densité de fixation en zone courante préconisée au DTU en fonction de l'exposition et de la pente de la couverture ;
- oubli d'un solin ;
- absence de protection de la tête de solin contre le ruissellement le long de la paroi ;
- utilisation d'un matériau inadapté (ciment au lieu de mortier bâtard) pour les solins en mortier ;
- absence ou réalisation défectueuse de l'[engravure](#) des solins en zinc ;

- dans le cas de solins en zinc, largeur insuffisante du couloir d'évacuation longeant le mur ;
- relevé insuffisant des noues et couloirs ;
- recouvrement insuffisant de la première rangée sur noue.

À ces pénétrations continues s'ajoutent celles qui sont discontinues. Elles sont dues aux petits ouvrages isolés : souches de cheminées, lanterneaux d'éclairage, [jouées](#) de lucarnes, [chiens-assis](#)... Les problèmes ne diffèrent pas, en fait, des précédents : les jonctions le long des parois parallèles à la ligne de plus grande pente ou sur le devant de l'édicule sont du type «pénétration continue » et la jonction arrière est assimilable à un chéneau d'égout de toiture.

Les bonnes façons de faire

- Concevoir la couverture de manière à faciliter l'écoulement de l'eau, en y opposant le moins d'obstacles possible.
- Tenir compte des exigences du site (situation géographique, degré d'exposition de l'ouvrage à réaliser), et anticiper : par exemple, seule la mise en œuvre d'un écran sous toiture, même lorsqu'elle est facultative, peut prévenir les risques d'infiltration de neige poudreuse.
- Dans le cas d'intégration d'ouvrages de type panneaux CESI ou photovoltaïque dans la couverture, utiliser les éléments d'étanchéité adaptés à la nature et à la pente de la couverture.
- Attirer l'attention du maître d'ouvrage sur son rôle déterminant dans le bon fonctionnement des ouvrages au travers de l'entretien.

LES FONDAMENTAUX

- **Respecter les critères de conception et d'exécution des points singuliers.**
- **Assurer un entretien régulier de la toiture.**

Fiches Pathologie

[Imprimer](#)[Sommaire fiches pathologie](#)

- [Fiche n°C2](#)
- [En savoir plus](#)
- [Glossaire](#)

TOITURES ET CHARPENTES

Condensation en sous-face des couvertures métalliques



Le constat

Due à une ventilation insuffisante sous la toiture ou à un excès d'humidité dans les locaux sous-jacents, la condensation en sous face des couvertures métalliques peut engendrer des dégâts similaires à ceux produits par des infiltrations d'eau : humidification des panneaux isolants, déformation voire effondrement de faux plafonds.

Le diagnostic

Les ouvrages concernés par cette fiche sont, pour la plupart, des couvertures réalisées avec des plaques nervurées issues de tôles d'acier galvanisé. Cette toiture comprend habituellement cinq éléments : le plafond, le pare vapeur, l'isolation thermique, la lame d'air éventuelle, la plaque métallique (avec ou sans régulateur de condensation).

Du fait de la forte conductivité thermique et de la faible porosité du matériau, les couvertures en bac acier sont naturellement exposées au phénomène de condensation. L'isolation adéquate de la toiture permet de réduire ce phénomène, dont l'ampleur dépend également de l'hygrométrie et du taux de renouvellement d'air des locaux sous-jacents, et des dispositions de ventilation de la couverture.

La ventilation de la couverture

L'air présent dans le plénum en sous- face de couverture est humidifié par la pénétration de vapeur d'eau venant de l'habitation ou du local sous-jacent (et, le cas échéant, par la pénétration d'air extérieur pour les couvertures avec lame d'air ventilée), malgré la présence du pare vapeur destiné à limiter cette pénétration.

Par ailleurs, le matériau de couverture peut avoir une température inférieure à celle du plénum, jusqu'à un point appelé point de rosée en dessous duquel se produit une condensation. Si le matériau de couverture est assez poreux, les gouttelettes de condensation sont retenues pendant un certain temps. Avec les métaux, peu poreux par nature, ces condensats tombent plus facilement sur l'isolant et le faux-plafond.

Une ventilation correcte du plénum permet d'éliminer une grande partie de cette humidité.

L'excès d'humidité dans les locaux sous-jacents

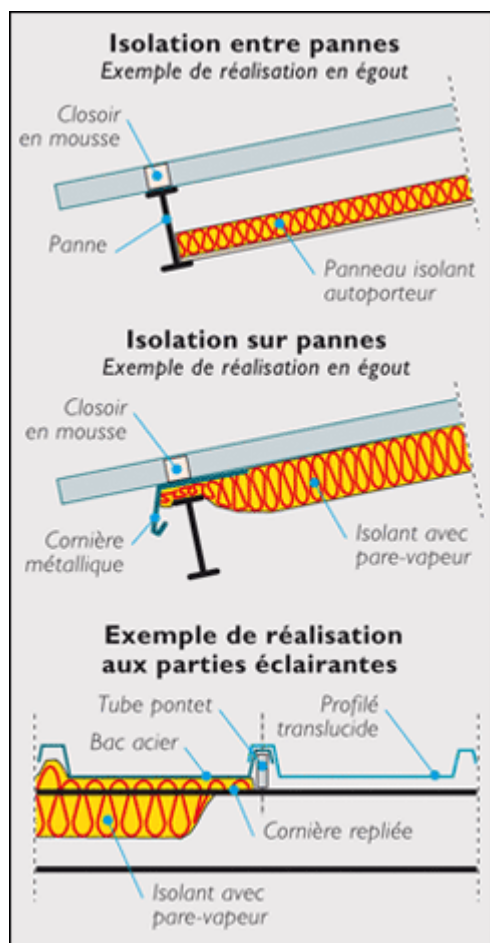
Le choix du système d'isolation dépend de la classification des locaux en fonction de la quantité de vapeur d'eau produite (faible ou moyenne hygrométrie, cf. DTU 40.35). Le respect des conditions d'hygrométrie (quantité de vapeur d'eau produite, renouvellement d'air dans le local) évite la plupart des désordres.

L'excès d'humidité peut également être dû à des défauts ponctuels ou pérennes de ventilation des locaux (panne de VMC, défauts d'entrée d'air neuf...).

La qualité de la conception et de la mise en œuvre

En cas de discontinuité dans le pare vapeur, il se produit des migrations de vapeur d'eau vers l'éventuelle lame d'air et vers le matériau de couverture. Il y a alors condensation.

Les bonnes facons de faire



Adapter les précautions à prendre pour éviter les sinistres en fonction de la position de l'isolant, sous pannes (toiture froide), entre ou sur pannes (toiture chaude).

Contrairement à la toiture froide (passage franc de l'air extérieur en sous face de la couverture), la toiture chaude interdit la pénétration de l'air extérieur vers la sous face du métal.

- Si l'isolant est sous pannes, un régulateur de condensation doit en plus être prévu en sous face du bac, ou un isolant de faible épaisseur comportant un pare vapeur disposé sur pannes d'une [perméance](#) minimale bénéficiant d'un Avis Technique pour cet emploi. Vérifier ensuite la bonne ventilation de l'ensemble de la couverture, en particulier les bas de rampant.
- Si l'isolant est entre pannes, la couverture doit être chaude avec une lame d'air non ventilée ou sans lame d'air (l'isolant est contre la couverture). Le pare vapeur est sous l'isolant. Ce système s'emploie dans les locaux à faible hygrométrie uniquement (voir DTU 40.35). Vérifier l'absence d'entrées d'air en périphérie (closoirs) et au droit des points singuliers, pénétrations, accessoires de toiture et jonctions avec les plaques éclairantes.
- Panneaux isolants en polystyrène supports de couvertures (isolant sur pannes) : au regard des risques spécifiques, vérifier sur la liste des mises en observations de la C2P (Commission Prévention Produits mis en œuvre) de l'AQC les recommandations éventuelles.

Définir et tenir compte de l'hygrométrie du local en considérant :

- le taux d'occupation ;
- la quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur du local par heure ;
- le niveau de chauffage.

Le soin apporté aux jonctions et à la continuité du pare vapeur peut éviter des sinistres.

LES FONDAMENTAUX

- Identifier la classe du local (fonction de la quantité de vapeur d'eau produite dans le local et du renouvellement d'air).
- Concevoir le système (toiture chaude ou froide, positionnement de l'isolant) en tenant compte de cette classe.
- Apporter un soin particulier lors de la pose aux points sensibles (jonctions et continuité du pare-vapeur, par exemple).
- Ventiler efficacement les locaux sous-jacents.

Écran de sous-toiture : désordres possibles d'infiltration



Le constat

Après un épisode neigeux, certains occupants constatent l'apparition de traces d'humidité en sous-face de leur plafond, et ce n'est qu'en montant dans les combles qu'ils ont la désagréable surprise de découvrir de la neige.

En effet, en raison de sa consistance en « petits grains », la neige poudreuse a la particularité de pouvoir s'infiltrer sous l'effet du vent par tous les interstices de la couverture laissés libres.

Hors la neige poudreuse, le vent, la poussière, les feuilles, voire l'eau notamment en cas de toiture à faible pente, peuvent également pénétrer sous la couverture.

Le diagnostic

La couverture est généralement constituée par :

- la juxtaposition et le recouvrement de petits éléments discontinus plus ou moins calibrés et ajustés (tuiles...)
- des accessoires (chatière, faîtière...) et des ouvrages annexes, tels que fenêtres de toit, souches...

Elle peut donc intrinsèquement laisser passer la neige poudreuse, l'eau, les poussières par les multiples raccords qui la composent.

Cette potentialité est fortement aggravée dans le cas de toiture à plans multiples par la présence d'ouvrages particuliers (lucarnes...) générant de nombreux raccords de versants dont le traitement est particulièrement délicat en termes d'étanchéité à la neige poudreuse.

Afin de se prémunir contre ces infiltrations, il est recommandé, voire obligatoire dans certains cas de faible pente prévus par les DTU applicables à chaque type de couverture, de mettre en œuvre un écran de sous-toiture. Ce remède est efficace à condition que sa mise en œuvre assure une parfaite continuité de l'écran, notamment :

- au droit des recouvrements entre lés;
- au faîtage ;
- à l'égout ;
- au droit des traversées telles que souches, sortie VMC, ou de ventilation naturelle, sortie de câbles, fenêtres de toit;
- au droit des raccordements de plusieurs versants (noues) ;
- au droit des raccordements avec les lucarnes et autres ouvrages de couvertures.

Les bonnes façons de faire

Il existe deux grandes familles d'écran de sous toiture :

- les écrans rigides généralement en bois (panneaux, voliges), fibre-ciment, plaques PVC ou encore panneaux sandwichs ;
- les écrans souples de sous toiture, qui peuvent être en matériau bitumineux, en matériau synthétique armé ou non, et présenter des caractéristiques techniques fonctionnelles spécifiques (haute perméabilité à la vapeur d'eau HPV, fonction pare-pluie temporaire, fonction barrière radiante améliorant le confort thermique d'été...).

Nous nous attacherons particulièrement à cette seconde famille, la plus répandue, qui fait l'objet d'une homologation CSTB et d'un classement performanciel EST, qui guident désormais les règles de pose.

Le mode de pose

Le mode de pose, ventilé en sous face ou non, doit guider le choix du matériau utilisé en terme de perméabilité. En cas d'absence de ventilation en sous face, l'emploi de matériau hautement perméable à la vapeur d'eau (HPV) est indispensable.

Retenir des matériaux homologués par le CSTB, bénéficiant d'un classement EST correspondant à leur situation dans l'ouvrage

- **Résistance au passage de l'eau E1 ou E2.**
- **Perméance à la vapeur d'eau Sd1, Sd2 ou Sd3** selon la ventilation ou non de la sous face de l'écran. La Perméance à la vapeur d'eau est une caractéristique particulièrement importante de l'écran puisque conditionnant le risque de condensation dans les isolants ou la sous toiture.
- **Résistance au déchirement et à la traction TR1 ou TR2 ou TR3** selon la caractéristique du support.

Soigner la mise en œuvre

- En assurant une pose tendue.
- Dans les recouvrements en partie courante de manière à assurer la continuité de l'écran.
- Au niveau des points singuliers, tels qu'égouts avec maintien de la ventilation, faîtage, fenêtre de toit et entourage de cheminée, pénétrations (ventilation, souches...).

Du soin apporté au traitement de ces points singuliers à la pose dépendra l'efficacité de l'écran en particulier vis-à-vis de la neige poudreuse qui s'insinue dans le moindre interstice.

Assurer une excellente coordination

La réalisation d'un écran de sous toiture « performant » nécessite une excellente coordination entre le couvreur qui le met en place et les corps d'états qui ont besoin de traversées telles que sorties VMC, câbles d'antenne. Ces traversées doivent être prévues à l'avance afin de mettre en œuvre les dispositifs déflecteurs nécessaires.

LES FONDAMENTAUX

- Ne mettre en œuvre que des écrans dont les caractéristiques E, S et T ont été mesurées et correspondent à la situation de l'écran dans l'ouvrage.
- Apporter une attention particulière à la réalisation des points singuliers.

TOITURES ET CHARPENTES

Charpentes en lamellé-collé : de la fissuration à la rupture



Le constat

Le risque de rupture d'un élément en lamellé-collé est heureusement rare. Mais il n'en faut pas moins se préoccuper des fissures constatées sur certaines pièces, afin d'en déterminer la ou les causes et d'en apprécier l'éventuelle gravité.

Il faut distinguer :

- les gerces de dessiccation en partie courante et au droit des assemblages ;
- les délaminages ;
- les fentes, amorces de futures ruptures.

Le diagnostic

Les gerces de dessiccation

Le lamellé-collé reste un matériau à base de bois sensible à l'humidification et au séchage : mis dans une ambiance sèche, le bois va progressivement perdre son humidité et se rétracter jusqu'à présenter des «gerces de dessiccation».

Ces gerces peuvent se produire soit en partie courante, soit au droit d'assemblages importants bloquant le retrait hydrique des bois.

Les délaminations

Les délaminations sont la conséquence d'un défaut de fabrication en usine, plus précisément d'un mauvais collage entre les lamelles constituant un élément. L'encadrement, via le marquage CE, des procédures d'autocontrôle de la fabrication a rendu ce phénomène rare de nos jours. La délamination peut avoir plusieurs causes :

- lamelles mal préparées ;
- colle en quantité insuffisante ;
- serrage insuffisant en terme d'intensité ou de durée ;
- température non contrôlée pendant la fabrication.

Les fentes sont le signe d'un comportement anormal du bois

Le mode de travail de l'élément considéré doit déjà pouvoir renseigner sur la cause possible de la fissuration. Notamment une sollicitation en traction transversale a été longtemps un élément défavorable de par la surestimation maintenant bien connue de la contrainte admissible correspondante qui existait dans les règles CB71.

Cette surestimation a depuis été revue : la définition des classes de résistance et les contraintes admissibles associées sont fixées par la NF P 21-400 qui prévoit, pour la traction transversale, une valeur de 0,15 à 0,30 MPa suivant la classe des bois utilisée. La classe des bois utilisée se trouve sur l'étiquette CE accompagnant les pièces livrées sur chantier, conformément à l'arrêté du 3 juillet 2006 et à la norme EN-14080.

L'évaluation de l'importance de ces fentes et des modalités de leur réparation peut se faire en référence aux «Recommandations pour la réparation de bois LC structural présentant des fissures et des fentes », émanant du SNCCBLC.

Les bonnes façons de faire

Bien concevoir et préparer la charpente

- Choix des essences et traitement des bois adaptés aux classes d'utilisation.
Une exposition en classe H3 ou H4 nécessite un traitement préalable des lamelles en autoclave vide et pression avant fabrication.
- Fabrication des éléments dans un état hygroscopique proche de l'état d'équilibre qu'ils auront en service.
- Transport et montage évitant les reprises d'humidité.
- Conception d'assemblage permettant au bois de se rétracter.

Porter une attention particulière aux sollicitations qui engendrent des efforts de traction transversale et de cisaillement longitudinal dans les plans de collage.

LES FONDAMENTAUX

- **Adapter les bois aux utilisations envisagées.**
- **Fabriquer les éléments à une température hygroscopique proche des conditions d'utilisation finale.**

- Gestion des pathologies

- Diagnostic

1. Etablir au mieux l'historique de la construction.

- Définir l'époque de construction.
- Etablir une chronologie constructive et sur les interventions ultérieures à la construction initiale.
- Rechercher les plans et études techniques du projet.
- Retrouver les comptes rendus de chantier et les documents d'exécution.
- Contacter les intervenants du projet.
- Questionner les gestionnaires et les entreprises de maintenance.
- Se renseigner sur les contentieux divers et sur les désordres déjà traités.

2. Définir l'origine et la gravité des désordres

- Constater les effets
- Définir les causes
- Analyser les évolutions possibles
- Grader la gravité

- Définir les urgences et déterminer les méthodes et leurs conséquences

1. Urgences

- Les désordres d'aspect.
 - Ne mettent pas en danger les personnes, mais doivent être corrigés pour l'aspect esthétique et de valeur vénale des objets concernés.
- Les désordres de confort.
 - Ne mettent en danger immédiat, mais peuvent rendre difficilement habitable au niveau visuel, voire

insalubre, et qualitativement impropre à l'usage, et rabaisse la valeur vénale.

- Les désordres structurels ou présentant.
 - Peuvent mettre en danger les personnes et les biens et rendre le bâtiment inhabitable.
 - Les arrêtés de périls
- Les ruines ou quasi ruine
 - Valeur patrimoniale
 - Dépollution
 - Démolition
 - Evacuation

2. Méthodes

- Choix Techniques
- Arbitrages de planning.
- Arbitrages financiers

3. Conséquences

- Organisation des interventions
 - Sécurité des usagers
 - Sécurité des intervenants
 - Sécurité des biens

- Mise en place d'une planification d'intervention.

4. Stabilisation des désordres

5. Correction des causes de désordres

6. Traitement des effets

Merci de votre attention

Site Internet : formations.lemoniteur.fr

Service client : 01 79 06 71 00 | formations@lemoniteur.fr