

Maçonnerie

Pathologie

par **Jean-Daniel MERLET**

Ingénieur de l'École centrale de Paris

Directeur technique du Centre scientifique et technique du Bâtiment (CSTB)

1. Pathologie des murs en maçonnerie.....	C 2 105 - 2
1.1 Désordres dus à un défaut de la résistance mécanique de la maçonnerie	— 2
1.2 Désordres ne mettant pas en cause la solidité de l'ouvrage	— 3
1.2.1 Manifestation des désordres	— 3
1.2.2 Fissuration des murs en maçonnerie.....	— 3
1.2.3 Conséquences éventuelles des fissurations : dégâts intérieurs par infiltration ou accumulation d'humidité.....	— 4
2. Pathologie des ouvrages intérieurs de plâtrerie	— 5
2.1 Généralités	— 5
2.2 Prévention des dégradations dues aux effets de l'eau.....	— 5
2.3 Prise en compte de la perméabilité à l'air des ouvrages opaques.....	— 6
3. Conclusions. Tendances et perspectives	— 7
Pour en savoir plus.....	Doc. C 2 106

Afin d'approfondir les quelques notions de pathologie rassemblées dans cet article, on pourra très utilement se reporter aux ouvrages publiés en son temps par le Bureau Securitas et SOCOTEC dans les Annales de l'ITBTP et la revue Bâtir [16], complétés et actualisés par L. Logeais dans les fascicules de l'Agence Qualité Construction [17] abondamment illustrés de descriptions, croquis et photos que l'auteur a tirés de l'exploitation de dossiers d'expertises, mais aussi de sa documentation personnelle sur ce sujet.

1. Pathologie des murs en maçonnerie

Les désordres pouvant affecter les ouvrages en maçonnerie peuvent être classés en deux catégories selon qu'ils résultent d'un défaut de résistance mécanique de l'ouvrage ou bien qu'ils affectent les autres fonctions de la paroi en maçonnerie mais ne mettent pas en cause la solidité de l'ouvrage.

1.1 Désordres dus à un défaut de la résistance mécanique de la maçonnerie

À partir de l'analyse d'un certain nombre de sinistres survenus dans les constructions en maçonneries porteuses, on peut recenser les causes et les énumérer afin d'en dégager les quelques conseils que les projeteurs et les responsables de la conduite des chantiers doivent avoir à l'esprit afin d'éviter que de tels sinistres ne se reproduisent.

■ En premier lieu, on peut citer les **défauts relevant de la conception générale** des ouvrages :

— **défaut de contreventement général** : du fait de la faible résistance à la traction des ouvrages en maçonnerie, il est nécessaire de tenir compte des autres sollicitations que celles qui découlent des forces verticales, et donc des forces transversales, pression du vent, poussée des terres ou des remblais dans le cas des murs de sous-sols ou encore poussée de matériaux stockés dans les bâtiments... ;

— **absence de joint de tassement ou de dilatation**, ou bien, dans ce dernier cas, leur trop grand écartement conduit à des fissurations des maçonneries porteuses qui peuvent mettre en cause la stabilité des constructions.

C'est le cas lors de la construction, sur des terrains compressibles, d'ouvrages dont les parties sont très dissemblables ou encore construits de façon non simultanée.

C'est aussi le cas de bâtiments de trop grande longueur.

■ Les sinistres peuvent aussi provenir des **conditions de déroulement du chantier** : les incidents de très loin les plus fréquents concernent le renversement, par le vent, de pans de maçonneries avant qu'ils ne soient rendus stables par le reste de l'ouvrage (angles ou murs perpendiculaires) ou par la réalisation d'étaie provisoire dans l'attente des éléments concourant à leur stabilité. Le risque est bien entendu accentué par l'élancement des parois considérées, mais aussi par tout retard apporté au durcissement du mortier de hourdage (froid ou, pire encore, gel nocturne par exemple).

Le vent n'est pas la seule cause de ce genre de désordres ; on compte également avec la poussée horizontale due au remblaiement des fouilles périphériques du bâtiment sur les murs de sous-sol.

Des dispositions insuffisantes, l'absence de précautions ou encore de fausses manœuvres intempestives telles qu'un enlèvement prématuré d'étais disposés en attente de la réalisation de partie d'ouvrage sont particulièrement cruciales lors des ouvrages enterrés : le maintien en place d'étais pendant de longues périodes est parfois très gênant et le choix d'autres techniques de réalisation que la maçonnerie peut, dans certains cas, être judicieux.

■ L'ensemble des considérations précédentes concernent la totalité des types de maçonneries, mais certains désordres sont plus spécialement liés au **choix des maçonneries particulières**.

● Maçonneries d'éléments creux

Le cas le plus fréquent concerne des charges excédant la résistance des produits en question, notamment dans le cas des charges concentrées sous lesquelles il n'a pas été prévu de dispositions de

répartition : poutres reposant directement sans sommier, pignons très élancés mais sans raidisseurs ou encore murs de clôture dont le renversement, pour être moins spectaculaire, est cependant assez fréquent.

La **mise en œuvre des matériaux** et en particulier le bon garnissage des joints, seul garant de la participation de l'ensemble des parois des blocs à la transmission des charges, **joue un rôle important dans l'extension à l'ensemble de la construction des sinistres initiés par un défaut local**. Il en est de même de la qualité des produits : un exemple en est donné par les trumeaux de très faible largeur, *a fortiori* si elle se limite à celle d'un seul produit, auquel cas la résistance de l'ouvrage est plafonnée par celle du produit le plus faible.

Un autre **problème spécifique des produits creux** est celui des briques creuses dont le profil venu de la filière correspond à un sens de mise en œuvre particulier (figures 1, 2 et 3). Si celui-ci n'est pas respecté lors de la pose, la superposition des parois porteuses n'est plus assurée ou incomplètement, parfois réduite aux seules parois extérieures, ce qui a déjà conduit à des effondrements de construction ; dans ce cas, en outre, le matériau a un comportement fragile qui le rend moins adaptable. Les défauts cités précédemment peuvent d'ailleurs se conjuguer, accroissant ainsi le risque, et les désordres graves sont évidemment le résultat de la conjonction des deux causes : charges excessives sur des trumeaux de trop faible dimension ou prévus avec des produits mal adaptés et mauvaise exécution des joints ; il y a donc lieu de veiller tout particulièrement à l'exécution des ouvrages dont les contraintes sont élevées et de ne pas concevoir en produits creux des ouvrages porteurs de trop faibles dimensions en plan.

● Maçonneries d'éléments pleins

Les effondrements de maçonneries de ce type sous l'effet des seules charges verticales sont relativement rares et des défaillances sont plutôt à rechercher dans l'action du gel ; celui-ci d'une manière générale dégrade la qualité du mortier de joint qui devient très friable. Il peut en être de même, à l'inverse, sous l'effet de la dessiccation du mortier (produit très absorbant, temps chaud et sec...). En cas de matériau gélif, le gel peut s'attaquer aussi aux éléments de maçonneries ; ce peut être le cas des ouvrages isolés et relativement exposés comme les cheminées ou les souches de cheminées.

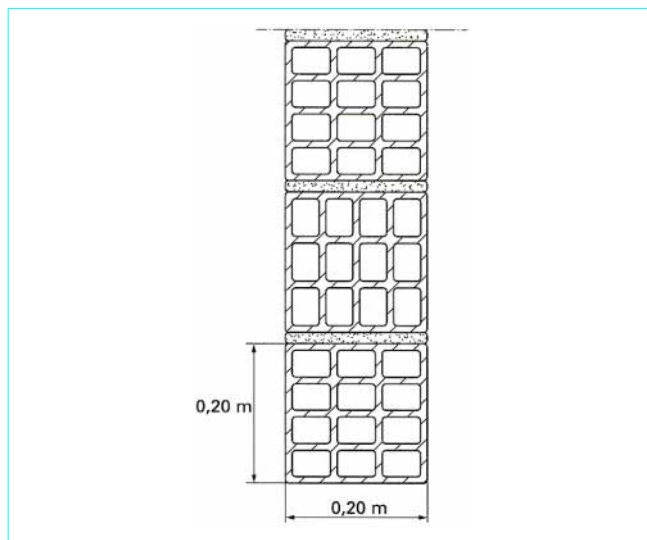


Figure 1 – Brique de section carrée montée de façon que les cloisons ne se superposent pas

1.2 Désordres ne mettant pas en cause la solidité de l'ouvrage

1.2.1 Manifestation des désordres

À de rares exceptions près, les problèmes résultent de fissurations dont les conséquences sont l'aspect, bien entendu, mais aussi, bien souvent, la pénétration affectant ainsi la paroi dans sa fonction de barrière aux intempéries entre intérieur et extérieur de la construction.

Dans de plus faibles proportions, le passage d'eau peut intervenir sans désordre apparent. Il peut s'agir, dans ce cas, d'une insuffisance directement liée à la porosité du revêtement : enduit en mortier incorrectement dosé ou bien encore mal serré lors de son application, mais le plus souvent ces défauts résultent d'une erreur de conception, par exemple dans le choix du type de mur en fonction de son exposition.

1.2.2 Fissuration des murs en maçonnerie

Ces désordres résultent le plus souvent de l'interaction entre les murs et les planchers, y compris souvent les planchers-terrasses, ou bien encore, en cas de toitures en pente, de l'interaction des murs et de la charpente.

Cette interaction se traduit, dans tous les cas, par des mouvements différentiels qui trouvent leur origine soit dans des régimes thermiques différents des deux parties d'ouvrage, soit dans des déformations sous charge, de fluage notamment, différentes pour des ouvrages diversement sollicités.

1.2.2.1 Mouvements différentiels d'origine thermique

Sauf si le mur est isolé par l'extérieur, cet ouvrage est, dans le cas d'isolation répartie ou *a fortiori* lorsqu'il est isolé par l'intérieur, le siège de très importantes variations de température entre l'hiver et l'été.

Pour le mur à isolation répartie, le mur lui-même présente un gradient important de l'extérieur vers l'intérieur, alors que le mur isolé par l'intérieur présente en première approximation une température voisine de celle de l'ambiance extérieure qui, par suite, varie selon une amplitude de l'ordre de 60 °C (entre - 5 °C en hiver et de l'ordre de 55 °C au soleil d'été) ; pour un mur à isolation répartie c'est seulement la partie externe du mur qui subit cette variation.

Or les murs extérieurs se trouvent solidaires des planchers qui, eux, sont en permanence à la température intérieure des logements que l'on s'efforce, pour des raisons de confort, de maintenir sensiblement constante (un peu moins de 20 °C en hiver, guère plus de 25 °C en été). Ce sont les sollicitations résultant de ces mouvements empêchés qui expliquent que les ouvrages les plus fragiles, les murs, se trouvent être le lieu de fissurations d'allure verticale qui se forment lorsqu'aucune armature horizontale, constituée le plus souvent par les chaînages placés dans la partie commune aux murs et aux planchers, ne peut s'opposer à leur ouverture ; dans d'autres pays, ce risque est pallié par la disposition d'armatures placées dans au moins certains lits de la maçonnerie, régulièrement espacés dans la hauteur de l'étage.

On peut dire, en conclusion, que chaque fois que le chaînage a été omis, comme c'est le cas en couronnement de mur ou en raison de l'absence de plancher en béton armé en tête, ou encore lorsque le chaînage a été mal exécuté (défaut de recouvrement d'armature et, *a fortiori*, armatures mises bout à bout ; cela a été hélas constaté !), la sanction a été inéluctable et les fissurations décrites ci-dessus se sont produites.

De même, avant que la crise de l'énergie ne conduise à isoler les toitures-terrasses **et surtout** que les techniques d'étanchéité applicables sur panneaux isolants ne permettent d'isoler les terrasses **par l'extérieur**, les murs sous-jacents étaient le siège de fissurations très fréquentes. En effet, l'isolation par l'intérieur, pour des raisons

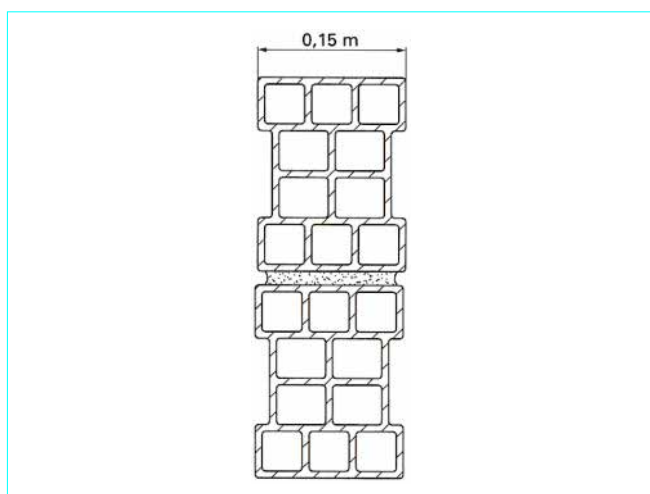


Figure 2 – Pose très particulière de briques à rupture de joint

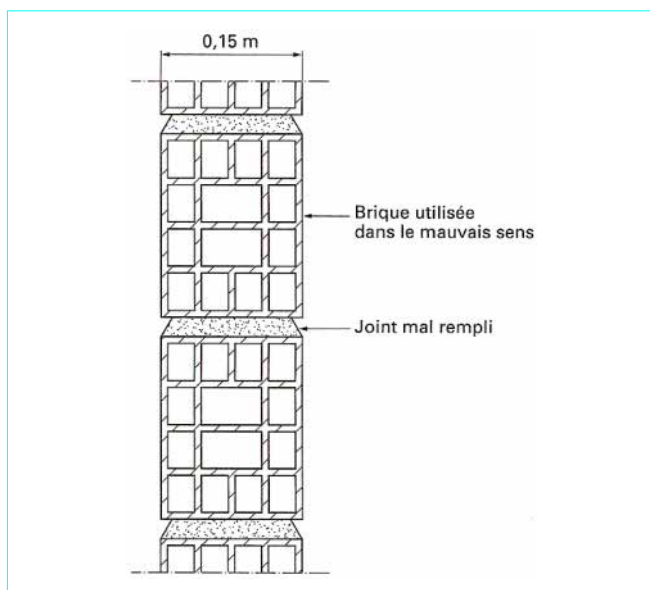


Figure 3 – Cumul de défauts de pose des briques

Naguère, ce phénomène était d'ailleurs également constaté dans les maçonneries de pierre : il résulte soit de pierres n'ayant pas encore perdu leur eau de carrière, et donc mises en œuvre prématurément, soit de pierres inadaptées à l'endroit qu'elles occupent dans la construction (assise de rejaillissement notamment).

■ **En conclusion**, les enseignements de la pathologie peuvent se traduire en règles simples découlant pour la plupart du bon sens : la nécessité de certaines dispositions constructives ne relève d'ailleurs pas du calcul : contreventement en phase provisoire, joints de dilatation ou de tassement... De plus, si l'erreur humaine est toujours possible localement, le risque d'extension en sera d'autant plus limité qu'un soin particulier aura été apporté, tant à la conception de la construction qu'à la préparation et à l'exécution du chantier.

identiques à ce qui a été dit précédemment pour l'isolation des murs, conduisait plutôt à aggraver les phénomènes de mouvements différentiels entre les deux ouvrages :

- fissures de cisaillement dans les enduits situés à quelques décimètres en dessous de la terrasse ;
- fissures obliques au voisinage des angles supérieurs des murs du bâtiment ;
- fissurations multiples dans les murs du dernier niveau.

Il convient de signaler que, indépendamment des planchers-terrasses ou planchers proprement dits, des parties d'ouvrages (acrotères par exemple) qui, elles, sont généralement non isolées, lorsqu'elles sont trop massives et parce qu'elles sont solidaires du dernier plancher, peuvent être, par leurs mouvements et de la même façon, source de la désorganisation des maçonneries sous-jacentes.

Le DTU 20.12 relatif à la conception des supports en maçonnerie a pris en compte les risques énoncés plus haut et prescrit les précautions nécessaires pour y pallier :

- réduire les mouvements potentiels du dernier plancher en disposant **au-dessus** une isolation thermique suffisante (résistance thermique d'au moins $1 \text{ °C} \cdot \text{m}^2/\text{W}$) ;
- respecter un fractionnement convenable des ouvrages (joints à espacement variable en fonction du climat local : voir les règles générales de fractionnement des ouvrages de gros œuvre en fonction de la zone d'implantation de la construction).

Une autre solution autrefois évoquée a été supprimée lors de la récente révision du document parce que peu réaliste, trop coûteuse et parfois aléatoire : assurer une libre dilatation de la terrasse par disposition d'appuis à déformation (solution dérivée de technique de génie civil) ou à glissement ou encore mixtes à déformation et glissement, toutes deux beaucoup trop aléatoires pour être conseillées. Parce qu'elles ne sont **plus mentionnées** dans le DTU, il a paru utile de rappeler pourquoi dans le présent document.

1.2.2.2 Fissuration résultant des déformations des planchers, ou de la structure, supportant les murs en maçonnerie

Il s'agit, là encore, de la capacité plus ou moins grande des ouvrages en maçonnerie à supporter les sollicitations engendrées par les ouvrages adjacents, en l'occurrence les planchers et les mouvements différentiels entre les deux catégories d'ouvrages.

Certes, tous les planchers quels que soient leur type fléchissent, mais cela n'a pas eu de conséquence tant que les planchers étaient en bois et les murs en maçonnerie de forte épaisseur. Cependant, l'évolution aidant, on est passé à une association entre des maçonneries de plus faible épaisseur et des planchers en béton armé d'abord, précontraint ensuite.

Ce type de planchers est le siège de déformations de plusieurs origines :

- une flèche instantanée au moment du décoffrage ;
- les déformations dues aux charges d'exploitation de courte durée ;
- enfin, les déformations de fluage qui résultent du poids propre de la construction et des charges d'exploitation de longue durée.

Il arrive donc, lorsque ces déformations cumulées dépassent les capacités de déformation des murs en maçonnerie qui, on l'a déjà dit, sont bien moins résistants à ce type de sollicitation que les planchers, que des fissures apparaissent dans les murs ; ces fissures sont de deux sortes :

- celles, **obliques**, qui apparaissent dans les **maçonneries portées** par des supports trop flexibles ; elles sont parfois accompagnées d'un décollement entre le mur et son support soit à la jonction, soit dans un des joints horizontaux de la maçonnerie.

Ces désordres concernent le plus souvent les murs intérieurs, ou les cloisons, car dans le cas des murs extérieurs il existe très souvent à l'étage inférieur un mur qui empêche le plancher de fléchir ;

- celles d'allure **horizontale** provoquées par l'appui des planchers sur les murs.

Ces fissurations se manifestant essentiellement dans les étages hauts de la construction, surtout le dernier niveau, parfois l'avant-dernier, là où les charges permanentes sont insuffisantes pour s'opposer efficacement à la rotation de l'appui du plancher.

C'est la raison pour laquelle, en maison individuelle où les planchers courants par poutrelles et entrevous ne portent que dans un sens, ces fissures n'intéressent que deux des quatre façades alors qu'en collectif, où les dalles pleines portées sur les quatre côtés sont plus fréquentes, on ne constate pas ce phénomène, mais plutôt une amplification dans les angles où les deux déformations orthogonales se conjuguent. Cette amplification est d'ailleurs aggravée par le retrait différentiel entre face inférieure et face supérieure du plancher béton (c'est l'effet de relèvement des angles ou effet « poulaine » également constaté dans les ouvrages de chape où la rotation d'appui bien entendu n'existe pas).

C'est en raison de cette pathologie qu'ont été introduites au DTU *Maçonnerie* d'abord les prescriptions relatives aux chaînages d'angles puis, plus récemment, celles relatives aux dispositions de raccordement entre murs et planchers destinées à localiser la fissuration, souvent inévitable, évoquée plus haut, de façon linéaire dans une zone d'ombre, donc par suite quasi invisible, mais aussi et surtout protégée de la venue d'eau : de cette façon, elle n'est pas néfaste à la fonction étanchéité à l'eau de la paroi en question (cf. article [C 2 103] *Maçonnerie. Mise en œuvre des ouvrages* de ce traité).

1.2.2.3 Désordres résultant de l'interaction entre murs et charpentes

Ces désordres sont devenus beaucoup plus rares, car les charpentes en bois massif ont été remplacées par des charpentes en fermettes industrialisées dont les sections de bois sont, de beaucoup, moins largement dimensionnées.

Les charpentes en bois massif que l'on utilise cependant encore peuvent donner lieu, si les maçonneries sont étroitement liées avec elles sans jeu possible, à des « poussées de charpente » qui se traduisent par des fissurations généralement ouvertes au voisinage des angles ; afin de pallier ce risque, il suffit généralement de ménager un jeu suffisant entre l'about des fermes et la maçonnerie adjacente.

1.2.3 Conséquences éventuelles des fissurations : dégâts intérieurs par infiltration ou accumulation d'humidité

On a identifié dans les articles précédents de cette rubrique l'occurrence de fissurations traversantes.

■ Dans les cas de **murs sans coupure de capillarité** (murs de type I), si la fissure est infiltrante, c'est-à-dire accessible à la pluie ou au ruissellement, les désordres se manifestant alors côté intérieur et directement au droit de la fissure par des taches, des auréoles et, selon le revêtement intérieur et l'ambiance du local, par des moisissures, des décollements de papiers peints, des cloquages suivis d'écaillages des peintures...

■ Dans le cas de **cloisons avec doublage**, et surtout si l'isolant éventuel est hydrophile (comme les isolants en vrac ou certaines laines minérales non adaptées de faible masse volumique et de faible cohésion), il y a concentration d'humidité au bas des cloisons, l'isolant entretient alors cette humidité et donc la prolifération des moisissures. La coupure de capillarité évite une manifestation directe d'humidité et facilite l'action de la pesanteur : l'eau infiltrée est donc drainée vers le bas du mur. Si des quantités importantes pénètrent et si aucune disposition n'est prévue pour la recueillir et l'évacuer (mur de type III), elle poursuivra son cheminement vers l'intérieur des pièces ; il y aura, comme précédemment, auréoles et moisissures au pied de la cloison, mais aussi sur les revêtements de sol avoisinants.

■ Toutefois, même dans le cas de murs de conception organisée en conséquence (murs de type III), si la base de la **lame d'air** est **obstruée** par des gravais ou que la lame d'air n'est pas continue,

le recueil et l'évacuation des eaux infiltrées n'est pas ou est mal assurée et l'on peut constater des dégâts analogues à ceux décrits antérieurement.

■ Dans **tous les cas**, s'il s'agit d'une fissure d'allure horizontale juste sous le plancher haut, il peut y avoir une pénétration par capillarité dans l'angle supérieur, visible sous forme de taches en haut de mur et dans le plafond.

Il peut, bien sûr, y avoir conjonction des deux phénomènes : humidification du bas des murs et humidification des plafonds et haut de mur à l'étage inférieur.

Il convient également d'avoir à l'esprit qu'il existe bien d'autres causes d'humidification parmi lesquelles :

- la fuite en terrasses (défaut de la terrasse ou des chéneaux) ;
- les fuites d'appareils sanitaires (baignoires, bacs à douches ou tuyauteries) ;
- les remontées capillaires, qui peuvent affecter indifféremment murs extérieurs ou intérieurs, cloisons... ;
- les condensations, souvent localisées au droit des ponts thermiques (raccordement des murs extérieurs avec les refends ou planchers) ou dans des endroits mal ventilés (derrière des meubles accolés aux parois).

2. Pathologie des ouvrages intérieurs de plâtrerie

2.1 Généralités

Cette pathologie est liée aux **caractéristiques du matériau plâtre** et, par suite, des éléments à base de plâtre utilisés pour la réalisation de ces ouvrages.

■ **Le plâtre est un matériau dit fragile** : son module de déformation est élevé sans que sa résistance en traction soit elle-même très élevée ; il en résulte que son élongation à la rupture est faible. Les éléments en plâtre pur, comme les carreaux de plâtre à parement lisse, conduisent par suite à des ouvrages très sensibles aux mouvements de la structure dans laquelle ils se trouvent insérés ; les fissurations, sauf précautions particulières aux jonctions, sont alors difficiles à éviter et elles altèrent les performances des parois correspondantes, outre l'aspect bien sûr, leur étanchéité à l'air et par suite l'isolement acoustique et la résistance au feu.

Ce défaut est compensé, dans les plaques de parement en plâtre, par la présence du carton de parement qui joue en quelque sorte le rôle d'armature dans la résistance en traction (la rupture en flexion d'une plaque de parement en plâtre est bien de type ductile) et, de fait, les ouvrages correspondants sont de loin beaucoup moins sujets à fissuration.

■ **Le plâtre est un matériau sensible à l'eau liquide** : en effet, l'eau à l'état de vapeur n'a, par contre, pas d'influence notable sur les caractéristiques du plâtre. Ce dernier, en effet, sèche même en atmosphère à humidité très élevée proche de la saturation ; il est considéré à ce titre, à condition qu'il ne soit pas revêtu d'un écran pare-vapeur, comme un régulateur d'hygrométrie. Le plâtre est soluble dans l'eau et une humidification prolongée, surtout avec un ruissellement, provoque une érosion par dissolution, donc des dégâts irréversibles. Le plâtre perd par ailleurs très vite pratiquement 50 % de ses caractéristiques mécaniques lors de son humidification, mais les retrouve par séchage, à condition que la durée d'humidification soit brève, sinon on se retrouve dans l'hypothèse précitée (érosion, dissolution).

L'humidification se traduit, en outre, par une altération des finitions, le cloquage des peintures, le décollement des papiers, voire des revêtements céramiques, pour peu que ceux-ci soient eux aussi sujets au gonflement à l'humidité.

Les désordres peuvent, de plus, être la conséquence de **défauts de réalisation des ouvrages**.

● Lors de l'application des finitions :

- renouvellement des papiers peints lorsque l'impression préalable au premier encollage n'a pas été effectuée ;
- fantômes des joints visibles sous les peintures appliquées sur ouvrages en carreaux de plâtre par défaut des travaux d'enduisage général pourtant explicitement prévus aux travaux de peinture ;
- fissuration au droit des rebouchages de saignées ou autres percements effectués par d'autres corps d'état (électricien, plombier...), lorsque ces rebouchages ne sont pas exécutés avec les matériaux adéquats.

● Lors des fixations d'équipements lorsque l'un des principes ci-après n'est pas respecté lors du choix du mode de fixation :

- compatibilité de la fixation en cause avec la nature du support : il existe quasiment toujours un dispositif spécialement adapté chevilles « parapluie », chevilles à larges filets, chevilles à expansion lors du vissage... voire scellement au plâtre, au mortier, scellement chimique... ;
- évaluation de la capacité de chaque point de fixation et détermination du nombre et de l'emplacement de ces points (en respectant un espacement minimal) ;
- mise en place de renfort éventuel (emplacement prévu à l'avance et permettant le renfort lors du montage de l'ouvrage support) ;
- dispositif de répartition des sollicitations (plaque métallique intermédiaire par exemple).

Enfin, il convient de vérifier que le moment de renversement global introduit dans l'ouvrage (cloison, doublage ou habillage) ne dépasse pas les capacités correspondantes dudit ouvrage.

À défaut, les conséquences peuvent en effet aller bien au-delà de la simple dégradation du support, mais toucher à la sécurité des occupants.

2.2 Prévention des dégradations dues aux effets de l'eau

Ces effets résultent de deux modes d'action éventuelle de l'eau : les remontées capillaires en cas de stagnation au voisinage des ouvrages en plâtre, et en particulier en pied, et le ruissellement sur les parois adjacentes aux appareils sanitaires (baignoires, douches...) ou ménagers (évier) ainsi qu'au raccordement avec ces mêmes équipements ; enfin, du fait du mode d'entretien du sol et du mur fréquemment effectué à l'eau, les traversées ou pénétrations des ouvrages même bien protégés en parement doivent être soigneusement calfeutrées.

Les précautions à prendre sont de deux ordres :

— respecter les limitations d'emploi des produits ou systèmes à base de plâtre en fonction de la plus ou moins grande sévérité des sollicitations dues à l'eau dans les locaux considérés (tant en intensité qu'en durée d'humidification) : on distingue généralement trois catégories de locaux humides :

- les locaux humides (cuisines et salles d'eau) à usage privatif tels que logement où l'humidification, du fait de l'occupation, est à la fois peu intense et peu fréquente,
- à l'autre extrême, les locaux à usage collectif et intensif comme les buanderies, douches de locaux publics (tels que piscines, sauna...) dont les produits à base de plâtre sont exclus,
- entre les deux, les locaux à usage collectif mais moins intensif comme les douches de vestiaires sportifs ou d'usine, les cuisines collectives, pour lesquels des systèmes ont récemment été mis au point : ces derniers constituent des ensembles fermés dans lesquels les différents produits associés sont désignés, les limites d'emploi clairement indiquées, et surtout les conditions particulières d'exécution des points singuliers définies de façon précise et illustrées par des croquis et coupes de détail pour chacun d'eux : ces systèmes encore peu nombreux relèvent d'avis techniques particuliers ;

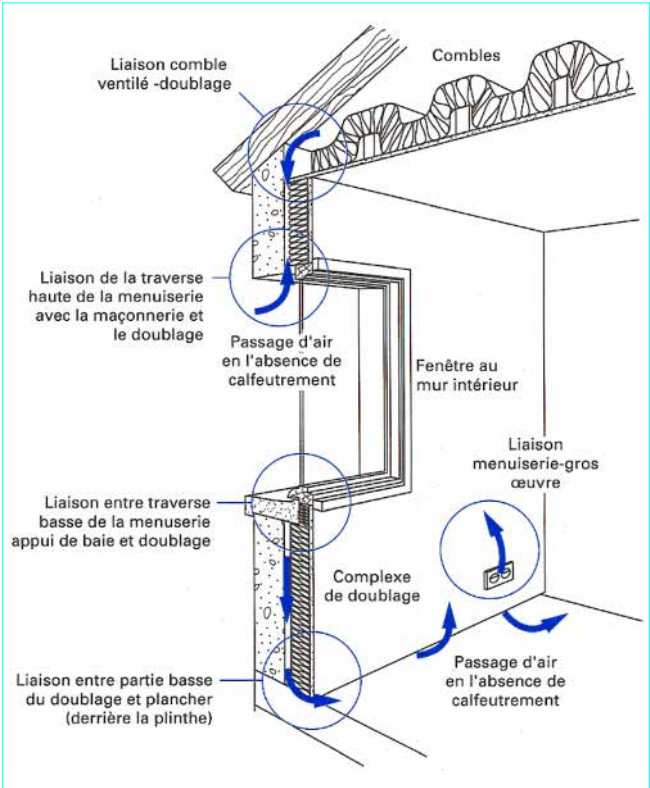


Figure 4 – Points sensibles à traiter pour éviter les fuites d'air (cas des doublages d'isolation thermique par l'intérieur)

— respecter les dispositions particulières de protection en partie courante des parements contre le ruissellement et vis-à-vis des infiltrations au droit des points singuliers (en pied de paroi, au raccordement avec les appareils, traversées de canalisations, fixations...).

2.3 Prise en compte de la perméabilité à l'air des ouvrages opaques

Cette notion n'est prise véritablement en compte que depuis peu, et c'est la raison pour laquelle seuls les DTU récents en traitent de façon explicite : c'est le cas du DTU 25.42 concernant les doublages, habillages et plafonds réalisés en panneaux isolant/plaque de parement en plâtre et celui du DTU 31.2 relatif aux constructions à ossature bois auxquels on pourra se reporter utilement sur ce sujet.

Afin d'illustrer l'importance des débits d'air parasite et leur localisation, trois exemples sont donnés :

- le tableau 1 présente une synthèse des résultats obtenus lors d'une campagne de mesures effectuées sur un échantillon de constructions individuelles et collectives détaillant les débits d'air correspondant respectivement aux circuits d'air « maîtrisés » (perméabilité des ouvrants de fenêtres et des entrées d'air de ventilation) et aux circuits dits « parasites », qui sont donc par essence non maîtrisés [18] ;
- la figure 4 indique, dans le cas d'application du DTU 25.42, les différents points sensibles qu'il convient de traiter pour éviter les fuites : jonction mur-doublage-plafond A, jonction doublage-plancher B (derrière la plinthe), jonction avec les baies C (point de rencontre maçonnerie, menuiserie, doublage et, le cas échéant, coffre de volets roulants, percement dans le doublage D ;

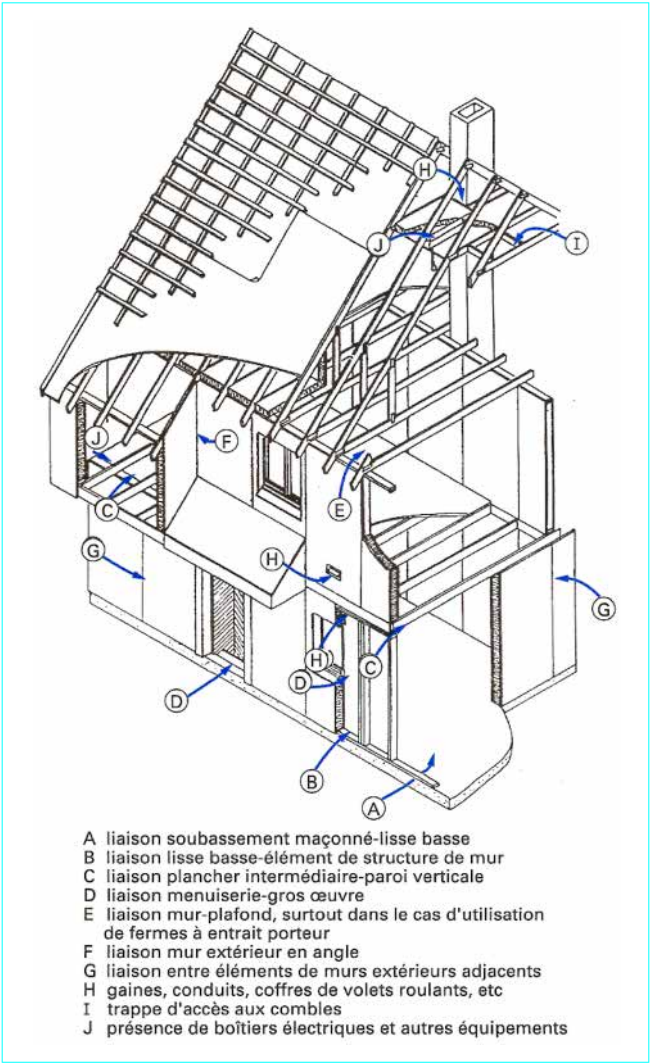


Figure 5 – Principales causes d'absence d'étanchéité à l'air d'une construction à ossature bois

— la figure 5 recense, dans le cas des maisons à ossature bois, une dizaine de causes d'absence d'étanchéité à l'air réparties sur l'ensemble de la construction.

Tableau 1 – Répartition des débits d'air (d'après [18])					
	Logement en collectif		Maison individuelle		
Perméabilité des ouvrants :					
— coffre de volets roulants	21	} 45 %		} 33 %	
— fenêtres et portes-fenêtres...	24				11
— portes (sur l'extérieur et sur sous-sol)					22
Défauts d'étanchéité :					
— parois opaques	39	} 55 %	59	} 67 %	
— divers (tuyaux, gaines...)	16				8

3. Conclusions. Tendances et perspectives

Les évolutions perceptibles sont de natures très différentes, mais elles sont le reflet d'évolutions notables des modes de construction touchant tout à la fois la conception des ouvrages, l'organisation du chantier, le travail du maçon proprement dit ou, plus globalement, les relations entre les divers intervenants de la construction tout entière.

C'est ainsi que l'on peut noter simultanément sur quelques exemples illustrant notre propos.

■ Pour les **blocs creux en béton**, l'abaissement progressif et sensible des épaisseurs de parois, afin de diminuer le poids unitaire ou bien d'augmenter les dimensions (hauteur par exemple) sans changer le poids du produit ; les maçonneries correspondantes présentent maintenant, de ce fait, un comportement mécanique à tendance fragile marqué, se rapprochant en cela de la famille des produits creux en terre cuite qui compte depuis longtemps des produits largement alvéolés et à parois très minces.

■ Pour les **produits de terre cuite**, la tendance est, toute proportion gardée, la même (produit de plus grandes dimensions) ; en parallèle, l'allègement recherché se double d'un objectif de performances thermiques accrues ; après les blocs et briques G apparus dans les années 70, l'effort est porté sur l'allègement du tesson.

■ Pour l'**ensemble des produits**, on constate une demande forte de produits apparents qui se conjugue, avec la diversification des débouchés de la maçonnerie pour l'ensemble des constructions avec une élévation du niveau des performances demandées pour les bâtiments à usage industriel, agricole ou commercial.

■ L'**évolution des conceptions d'ouvrages** (séparation des fonctions, parois multicouches, notion de systèmes...) conduit à des produits à plus forte valeur ajoutée, intégrant à eux-mêmes, les fonctions multiples, ou bien, au contraire, à des produits monofonctions dont la singularité réside dans la simplification de leur mise en œuvre.

■ Afin de limiter l'**hétérogénéité** de la maçonnerie **due aux joints**, plusieurs pistes sont explorées :

— la **pose à sec**, qui pour l'instant semble plutôt un idéal difficile à satisfaire de façon pratique, mais de nature à ouvrir la voie à des solutions plus réalistes ;

— la **pose à joints minces**, qui implique une recherche menée de pair sur les produits de joints et les éléments de maçonnerie afin d'adapter la formulation des premiers aux possibilités de précision dimensionnelle des seconds, selon qu'ils sont simplement moulés ou bien rectifiés (avant ou après cuisson pour la terre cuite, selon la nature des agrégats pour le béton) ;

— l'**utilisation de très grands éléments** (dimensions voisines du mètre et masse de l'ordre de plusieurs centaines de kilogrammes), ce qui implique l'usage de moyens de manutention sur le chantier et, pratiquement conduit à la FAO (fabrication assistée par ordinateur, à partir d'un calepinage du projet, fabrication, découpe, marquage et conditionnement pour approvisionnement sur le site), comme c'est le cas pour certaines fabrications de silico-calcaires ou de béton cellulaire autoclavé.

■ L'**élaboration d'une méthode de calcul fondée sur un modèle analytique** permettant d'intégrer la plupart des singularités précitées devrait conduire à optimiser les conditions d'utilisation des maçonneries dans leur rôle structurel, jusqu'ici passablement négligé en France.

Maçonnerie

par **Jean-Daniel MERLET**

Ingénieur de l'École centrale de Paris

Directeur technique du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)

Références bibliographiques

- [1] *Historique des DTU*. Cahiers du CSTB. Livraison 364, nov. 1995.
 - [2] *Revêtements céramiques collés*. Liste des avis techniques des GS n°s 12 et 13. Cahiers du CSTB n° 365, déc. 1995.
 - [3] *Cahier des prescriptions techniques d'exécution des revêtements muraux intérieurs collés au moyen de ciments-colles à base de caséine*. Cahiers du CSTB, supplément 255.2, déc. 1984 ; avenant n° 1, supplément 274.5, nov. 1986 ; avenant n° 2, cahier 2 366, oct. 1989.
 - [4] *Cahier des prescriptions techniques d'exécution des revêtements muraux intérieurs collés au moyen d'adhésifs sans ciment*. Cahiers du CSTB, supplément 255.4, déc. 1984 et avenant n° 1, supplément 274.6, nov. 1986.
 - [5] *Enduits extérieurs d'imperméabilisation de mur à base de liants hydrauliques*. Cahier des prescriptions techniques d'emploi et de mise en œuvre. Cahiers du CSTB n° 2477, mars 1991.
 - [6] LEJEUNE (Ch.). – *L'enduit monocouche, complément indispensable de façades*. CSTB Magazine n° 43, avril 1994.
 - [7] *Revêtements par carrelage*. Cahiers du CSTB n°s 2234, 2236, 2238.
 - [8] *Systèmes d'isolation extérieure enduits sur isolants*. Cahiers du CSTB n°s 2131, 2132, janv. fév. 1987.
 - [9] LOGEAIS (L.). – *L'étanchéité des façades*. Fascicule 1 : *Exigences et moyens*. Collection AQC (Agence Qualité Construction).
 - [10] *Enquête sur les constructions en maçonnerie 1990-1991*. Cahiers du CSTB n° 2623, déc. 1992.
 - [11] Cahiers du CSTB n° 2553, janv. fév. 1992.
 - [12] Règles parasismiques 1969 et annexes, et addenda (DTU P06-003) (1982).
 - [13] *Conditions générales d'emploi des systèmes d'isolation thermique de façade par l'extérieur faisant l'objet d'un avis technique*. Cahiers du CSTB n° 1833, mars 1983.
 - [14] *Exemples de solution pour faciliter l'application du règlement de construction. Titre I : Hygrothermique*. Cahiers du CSTB n° 1152, déc. 1972.
 - [15] BERTHIER (J.). – REEF Tome II.
 - [16] MAURICE (P.). – *Les maçonneries dans leur fonction porteuse*. Annales de l'ITBTP n° 290, fév. 1992. Supplément Série gros œuvre n° 13.
LOGEAIS (L.). – *Les maçonneries dans leur fonction de paroi*. Annales de l'ITBTP n° 303, mars 1973. Supplément Série gros œuvre n° 16.
- Ces deux ouvrages ont également été publiés dans la revue *Bâtir* : n° 8, nov. 1971 ; n° 9, déc. 1971 ; n° 10, fév. 1972 pour le premier ; n°s 16 à 20, oct. 1972 à mars 1973 pour le second.
- [17] LOGEAIS (L.). – *L'étanchéité à l'eau des façades lourdes*. Collection Pathologie et recommandations. Agence Qualité Construction. 4 fascicules :
— Exigences et moyens, oct. 1988 ;
— Statistiques et pathologie, 1^{re} partie, juil. 1989 ;
— Statistiques et pathologie, 2^e partie, janv. 1990.
— Prévention et remèdes, juil. 1990.
 - [18] MOYÉ (Cl.). – Cahiers du CSTB n° 2019, sept. 1985.
 - [19] *Exemples d'usages des propriétés certifiées des isolants thermiques du bâtiment*. ACERMI (Association pour la certification des matériaux isolants).
 - [20] LOGEAIS (L.). – *Les murs de soutènement*. Agence qualité Construction (1992).
 - [21] Cahiers du CSTB n° 2235, avril 1988.
 - [22] BERNSTEIN (D.), CHAMPETIER (J.-P.) et PEIFFER (F.). – *La maçonnerie sans fard*. Éd. du Moniteur, mars 1982.

Normalisation

Association française de normalisation (AFNOR)

NF B 10-502	5.80	Pierres calcaires. Mesure de l'absorption d'eau par capillarité.
NF B 10-510	8.73	Pierres calcaires. Essai de flexion.
B 10-601	11.95	Produits de carrières. Pierres naturelles. Prescriptions générales d'emploi des pierres naturelles.
NF B 12-300	12.87	Gypse et plâtre. Plâtres. Généralités. Clauses et conditions générales.
NF B 12-301	12.87	Gypse et plâtre. Plâtres pour enduits intérieurs à application manuelle ou mécanique de dureté normale ou de très haute dureté. Classification, désignation, spécifications.
NF ISO 1927	10.86	Matériaux réfractaires non façonnés (denses et isolants). Classification (B 40-003).
NF P 06-001	6.86	Bases de calcul des constructions. Charges d'exploitation des bâtiments.
NF P 06-014	3.95	Constructions parasismiques des maisons individuelles et des bâtiments assimilés. Règles PS-MI 89 révisées 92.
NF P 08-301	4.91	Ouvrages verticaux des constructions. Essais de résistance aux chocs.

P 10-202-1	4.94	Travaux de bâtiment. Ouvrages en maçonnerie de petits éléments. Parois et murs. Partie 1 : Cahier des clauses techniques (DTU 20.1).
P 10-202-2	4.94	Travaux de bâtiment. Ouvrages en maçonnerie de petits éléments. Parois et murs. Partie 2 : Règles de calcul et dispositions constructives minimales (DTU 20.1).
P 10-202-3	4.94	Travaux de bâtiment. Ouvrages en maçonnerie de petits éléments. Parois et murs. Partie 3 : Guide pour le choix des types de murs de façades en fonction du site.
NF P 13-301	12.74	Briques creuses de terre cuite.
NF P 13-304	10.83	Briques en terre cuite destinées à rester apparentes.
NF P 13-305	10.83	Briques pleines ou perforées et blocs perforés en terre cuite à enduire.
NF P 13-306	10.83	Blocs perforés en terre cuite destinés à rester apparents.
P 14-102	4.94	Blocs en béton destinés à rester apparents. Définitions. Spécifications. Méthodes d'essai. Conditions de réception.
NF P 14-301	9.83	Blocs en béton de granulats courants pour murs et cloisons.
NF P 14-304	9.83	Blocs en béton de granulats légers pour murs et cloisons.

MAÇONNERIE

NF P 14-306	2.86	Blocs en béton cellulaire autoclavé pour murs et cloisons.	P 84-402	6.89	Isolants thermiques de bâtiment manufacturés. Peintures et vernis. Façades. Méthodes d'essai.
NF P 14-402	9.83	Blocs en béton pour murs et cloisons. Dimensions.	NF T 30-700	3.83	Peintures. Revêtements plastiques épais. Spécifications.
NF P 16-302	12.87	Tuyaux d'évacuation en amiante-ciment pour canalisations de bâtiment non enterrées. Spécifications. Méthodes d'essai.	T 30-701	2.83	Isolants thermiques de bâtiment manufacturés. Peintures et vernis. Détermination du complément d'imperméabilité à l'eau de ruissellement.
NF P 18-201	5.93	Travaux de bâtiment. Exécution des travaux en béton. Cahier des clauses techniques (DTU 21).	T 30-702	2.83	Isolants thermiques de bâtiment manufacturés. Peintures et vernis. Évolution de l'adhésivité cohésion sous l'effet d'agents climatiques.
NF P 18-210	5.93	Travaux de bâtiment. Murs en béton banché. Cahier des clauses techniques (DTU 23.1).	T 30-704	2.83	Isolants thermiques de bâtiment manufacturés. Peintures et vernis. Essai de susceptibilité au cloquage et mesure éventuelle de la transmission de vapeur d'eau.
NF P 51-301	8.74	Briques de terre cuite pour la construction de conduits de fumée.	T 30-705	2.83	Isolants thermiques de bâtiment manufacturés. Peintures et vernis. Détermination du comportement du revêtement appliqué sur support alcalin.
NF P 51-302	11.75	Briques réfractaires pour la construction de conduits de fumée.	T 30-706	2.83	Isolants thermiques de bâtiment manufacturés. Peintures et vernis. Détermination de la sensibilité à l'eau. Essai de pelage.
NF P 51-311	9.88	Fumisterie. Boisseaux de terre cuite pour conduits de fumée individuels. Spécifications. Méthodes d'essai. Conditions de réception.	T 30-708	2.83	Isolants thermiques de bâtiment manufacturés. Peintures et vernis. Préparation des éprouvettes d'essai. Application des produits.
NF P 51-321	7.83	Boisseaux en béton pour conduits de fumée.	Documents techniques unifiés (DTU)		
NF EN 121	12.91	Carreaux et dalles céramiques étirés à faible absorption d'eau ($E \leq 3\%$). Groupe A I (P 61-401).	DTU 12	6.64	Terrassement pour le bâtiment.
NF EN 176	11.91	Carreaux et dalles céramiques pressés à sec, à faible absorption d'eau ($E \leq 3\%$). Groupe B I (P 61-405).	DTU 13.11	3.88	Fondations superficielles.
NF EN 177	12.91	Carreaux et dalles céramiques pressés à sec, à absorption d'eau $3\% < E \leq 6\%$. Groupe B II A (P 61-406).	DTU 13.12	3.88	Règles pour le calcul des fondations superficielles (DTU P 11-711).
NF EN 178	12.91	Carreaux et dalles céramiques pressés à sec, à absorption d'eau $6\% < E \leq 10\%$. Groupe B II B (P 61-407).	DTU 14.1	5.93	Travaux de cuvelage (NF P 11-221).
NF EN 159	12.91	Carreaux et dalles céramiques pressés à sec, à absorption d'eau $E > 10\%$. Groupe B III (P 61-408).	DTU 20.1	4.94	Parois et murs en maçonnerie de petits éléments (P 10-202-1,2 et 3).
NF EN 186-1	12.91	Carreaux et dalles céramiques étirés à absorption d'eau $3\% < E \leq 6\%$. Groupes A II A. Partie 1 (P 61-402-1).	DTU 21	5.93	Exécution des travaux en béton (NF P 18-201).
NF EN 186-2	2.92	Carreaux et dalles céramiques étirés à absorption d'eau $3\% < E \leq 6\%$. Groupes A II A. Partie 2 (P 61-402-2).	DTU 21.3	10.70	Dalles et volées d'escalier préfabriquées, en béton armé, simplement posées sur appuis sensiblement horizontaux.
NF EN 187-1	12.91	Carreaux et dalles céramiques étirés à absorption d'eau $6\% < E \leq 10\%$. Groupe A II B. Partie 1 (P 61-403-1).	DTU 25.1	5.93	Enduits intérieurs en plâtre (NF P 71-201-1 et 2).
NF EN 187-2	12.91	Carreaux et dalles céramiques étirés à absorption d'eau $6\% < E \leq 10\%$. Groupe A II B. Partie 2 (P 61-403-2).	DTU 25.231	5.93	Plafonds suspendus en éléments de terre cuite (NF P 68-202).
NF EN 188	12.91	Carreaux et dalles céramiques étirés à absorption d'eau $E > 10\%$. Groupes A III (P 61-404).	DTU 25.31	4.94	Ouvrages verticaux de plâtrerie ne nécessitant pas l'application d'un enduit en plâtre. Exécution des cloisons en carreaux de plâtre (NF P 72-202-1,2 et 3).
P 72-301	12.83	Carreaux en plâtre d'origine naturelle à parements lisses pour cloison de distribution ou de doublage.	DTU 25.41	5.93	Ouvrages en plaques de parement en plâtre (plaques à faces cartonnées) (NF P 72-203-1 et 2).
NF P 72-302	10.81	Plaques de parement en plâtre. Définition. Spécifications et essais.	DTU 25.42	4.94	Ouvrages de doublage et habillage en complexes et sandwichs plaques de parement en plâtre isolant (NF P 72-204-1 et 2).
NF P 72-321	10.90	Éléments en plâtre et produits de mise en œuvre. Liants-colles et colles de blocage à base de plâtre. Définition. Spécifications. Essais.	DTU 25.51	9.94	Plafonds en staff (NF P 73-201-1 et 2).
P 72-322	10.93	Mortiers adhésifs à base de plâtre pour complexes d'isolation thermique, plaque de parement en plâtre/isolant.	DTU 26.1	5.93	Enduits aux mortiers de ciments, de chaux et de mélange plâtre et chaux aériennes (NF P 15-201-1 et 2).
NF P 73-301	9.91	Staff et stuc. Éléments en staff. Plaques, éléments pour décoration.	DTU 31.2	5.93	Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois (NF P 21-204-1 et 2).
NF P 75-302	12.87	Isolants thermiques de bâtiment manufacturés. Détermination de l'absorption d'eau par gravité des isolants rigides et semi-rigides.	DTU 36.1	12.84	Menuiserie en bois (et annexe).
NF P 75-303	12.87	Isolants thermiques de bâtiment manufacturés. Détermination de l'absorption d'eau par aspersion des isolants rigides et semi-rigides.	DTU 55	4.61	Revêtements muraux scellés destinés aux locaux d'habitation, bureaux et établissements d'enseignement.
NF P 75-304	12.87	Isolants thermiques de bâtiment manufacturés. Détermination de l'absorption d'eau par capillarité des isolants rigides et semi-rigides.	DTU 55.2	5.93	Revêtements muraux attachés en pierre mince (NF P 65-202-1 et 2).
P 84-401	6.89	Isolants thermiques de bâtiment manufacturés. Peintures et vernis. Façades. Revêtement à base de polymères utilisés en réfection des façades en service. Définitions et vocabulaire.	DTU 58.1	7.93	Plafonds suspendus (NF P 68-203-1 et 2).
			DTU 59.2	5.93	Revêtements plastiques épais sur béton et enduits à base de liants hydrauliques (NF P 74-202-1 et 2).
			Règles PS 69	1969	Règles parasismiques 1969, annexes, addenda (1982).
			Règles Th-K	11.77	Règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction – et mises à jour – (DTU P 50-702).