

Conception des ouvrages

par **Jean-Daniel MERLET**

Ingénieur de l'École centrale de Paris

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

1. Murs en élévation	C 2 102 - 2
1.1 Rappel des fonctions qu'un mur doit assurer	— 2
1.2 Résistance mécanique.....	— 2
1.2.1 Généralités	— 2
1.2.2 Règles simplifiées du DTU 20.1	— 3
1.2.3 Projet d'eurocode 6 : analyse critique et commentaires	— 4
1.2.4 Dispositions constructives minimales	— 4
1.2.5 Règles parasismiques	— 7
1.3 Étanchéité des murs	— 8
1.3.1 Énoncé de la fonction étanchéité à l'eau	— 8
1.3.2 Importance de l'étanchéité à l'air	— 8
1.3.3 Résistance des murs à la pénétration de la pluie et sévérité du site de la construction.....	— 8
1.3.4 Hygrothermique et acoustique.....	— 10
1.3.5 Aspect extérieur et/ou intérieur	— 11
1.3.6 Traitement des points singuliers	— 12
2. Cloisons de distribution et de doublage	— 12
2.1 Énoncé des exigences	— 12
2.2 Cloisons en briques creuses de terre cuite, blocs de béton ou de béton cellulaire autoclavé	— 12
2.2.1 Semelle résiliente	— 12
2.2.2 Dimensions et limites d'emploi des cloisons de distribution et de doublage	— 14
2.2.3 Dispositions complémentaires résultant de la nature des enduits (cas des briques plâtrières seulement	— 14
2.2.4 Règles particulières applicables aux cloisons en surplomb	— 14
2.3 Cloisons en matières autres que les briques creuses de terre cuite et les blocs de béton.....	— 15
2.4 Dispositions relatives aux cloisons séparatives légères	— 15
3. Murs enterrés	— 16
3.1 Murs de sous-sol. Cas particulier des maçonneries utilisées en soubassement.....	— 16
3.2 Murs de soutènement	— 16
3.2.1 Définition. Terminologie.....	— 16
3.2.2 Dispositions relatives aux calculs et vérifications. Dispositions constructives vis-à-vis de l'action de l'eau	— 17
3.3 Jonction avec les dallages sur terre-plein	— 19
4. Annexe 1 : éléments pris en compte dans la définition de l'exposition des murs à la pluie et au vent.....	— 20
4.1 Situation de la construction.....	— 20
4.2 Hauteur de la paroi au-dessus du sol	— 20
4.3 Présence ou absence d'une protection contre le vent de pluie (effet de masque)	— 20
4.3.1 Façades abritées	— 20
4.3.2 Façades non abritées.....	— 21
5. Annexe 2 : relative aux drainages.....	— 21
Pour en savoir plus.....	Doc. C 2 106

C'est à partir du rappel des fonctions dévolues aux divers ouvrages en maçonnerie et de l'énoncé des exigences qui en découlent que les dispositions constructives relatives à ces mêmes ouvrages sont décrites dans cet article. En particulier, pour les murs extérieurs, les principes qui régissent l'étanchéité à l'eau et à l'air, qui ont inspiré l'évolution de la conception des maçonneries ces dernières années, sont définis dans le détail.

1. Murs en élévation

1.1 Rappel des fonctions qu'un mur doit assurer

Les murs et parois, en particulier ceux réalisés en maçonnerie mais cela est vrai indépendamment de la technique considérée, ont à assurer, dans le cas des bâtiments d'usage courant, les diverses fonctions énumérées ci-après :

a) la **stabilité mécanique sous les sollicitations normales**, qu'elles proviennent des charges appliquées ou des déformations imposées par les phénomènes thermiques, climatiques et de retrait résultant de l'environnement de la construction et de la constitution de l'ouvrage (nature des matériaux utilisés...) ;

b) le cas échéant, la **sécurité en cas de séismes ou d'autres sollicitations exceptionnelles** ;

c) la **sécurité en cas d'incendie** ;

d) l'**étanchéité aux intempéries** (pluie, neige fondante) et à l'air ;

e) la satisfaction des **exigences hygrothermiques et acoustiques** auxquelles ces parois contribuent pour une part ;

f) l'**aspect extérieur et/ou intérieur** de la construction auquel ces parois contribuent directement (maçonneries apparentes) ou indirectement (maçonneries support d'enduit ou de façon générale support de revêtements, lesquels ne jouent pas seulement un rôle dans l'aspect, mais contribuent également à la satisfaction d'autres exigences, d'étanchéité à la pluie notamment).

Pour l'essentiel, les notions relatives à la satisfaction des fonctions a) et b) sont décrites au paragraphe 1.2.

1.2 Résistance mécanique

1.2.1 Généralités

La connaissance de la résistance des maçonneries f_k sous l'action de charges verticales constitue, avec celle de l'influence des paramètres structuraux tels que l'élancement et l'excentricité des charges appliquées, un élément fondamental dans la conception des ouvrages porteurs en maçonnerie.

La détermination expérimentale de f_k est lourde à mettre en œuvre en raison de la taille des corps d'épreuve, du coût de l'instrumentation et des précautions à apporter à leur réalisation, de leur nombre élevé compte tenu de la dispersion importante des résultats d'essais généralement constatée, et du temps nécessaire au durcissement du mortier. L'alternative d'une détermination de la résistance par le calcul apparaît donc, plus encore que pour d'autres techniques de construction, d'un intérêt évident.

Contrairement à d'autres techniques de construction pour lesquelles les valeurs théoriques des résistances caractéristiques des matériaux employés peuvent être aisément établies avec une marge d'incertitude satisfaisante, la tâche est plus délicate dans le cas des maçonneries, et cela pour plusieurs raisons :

— les produits de maçonnerie, en France en particulier, présentent des structures internes extrêmement diverses qui induisent

des comportements à la rupture particuliers qu'il est nécessaire d'examiner au cas par cas ;

— la maçonnerie est un matériau composite : sa résistance est fonction non seulement de celle des éléments constitutifs considérés isolément, mais également de certains effets combinés (frettage-contrefrettage entre bloc et joint de mortier par exemple) ; c'est ce qui explique que les phénomènes à la rupture peuvent être différents de ceux observés sur produits seuls.

De plus, toute comparaison entre théorie et expérimentation reste délicate à établir. En effet :

— compte tenu des matériaux utilisés dans la fabrication des produits, les valeurs de résistances à la rupture présentent, comme dit précédemment, des dispersions propres généralement importantes ;

— les caractéristiques mécaniques « intrinsèques », c'est-à-dire ayant la signification physique qu'exigerait leur utilisation dans des modèles de comportement, ne peuvent être connues avec précision en raison du caractère conventionnel des modes expérimentaux de détermination de la résistance des briques ou blocs et du mortier.

En fait, il faut bien reconnaître que l'application de cette technique dans la construction a jusqu'ici été limitée à des bâtiments peu sollicités (maisons individuelles ou bâtiments de faible hauteur). De ce fait, il n'existe pas en France de règles de calcul à proprement parler, mais des « règles simplifiées » définies au chapitre 4 du fascicule « Règles de calcul » du DTU 20.1. Même si cette situation est en train d'évoluer [10], dans la plupart des cas, en effet, le dimensionnement (épaisseur minimale de parois) résultait d'autres considérations que le calcul : efficacité de la protection contre les infiltrations de la pluie, nécessité d'incorporer des chaînages ou autres renforts pour limiter la fissuration (maçonneries enduites et risque de pénétration d'eau pour les murs extérieurs, isolation thermique dans le cas de maçonnerie à base de matériau isolant...).

Il en est pratiquement de même dans les autres pays, même si les applications de maçonnerie porteuses y sont plus développées : en effet le projet d'Eurocode 6, qui vient d'être adopté en tant qu'ENV (norme européenne expérimentale), ne contient pas de véritable modèle applicable à cette technique, mais repose pour l'essentiel sur l'exploitation de résultats d'essais sous la forme de règles empiriques. L'Eurocode 6, dans sa version actuelle, propose pour la détermination de f_k une formule enveloppe dont les coefficients sont déterminés empiriquement à partir d'une compilation des résultats d'expérimentation disponibles pour des familles de maçonneries, elles-mêmes définies de façon descriptive : ce sont les diverses valeurs numériques affectant ces coefficients qui sont censées refléter les singularités des différentes familles de maçonnerie.

Il est vrai que la grande diversité des éléments de maçonnerie, due à une grande variété de nature de matériaux, de dimensions et de structure interne de ces éléments, s'ajoute à une variété également importante des mortiers associés et des modes de montage pratiqués : tout cet ensemble conduit à des comportements mécaniques des murs et parois ainsi réalisés souvent dissemblables et il s'avère pratiquement impossible de rendre compte de cette diversité de façon satisfaisante par un modèle unique.

1.2.2 Règles simplifiées du DTU 20.1

1.2.2.1 Résistance de la maçonnerie

La résistance de la maçonnerie est appréciée sous l'action des sollicitations verticales appliquées uniformément dans son plan ; elle est considérée comme une fonction directe de la résistance des éléments de maçonnerie qui la constituent caractérisés par la valeur de leur résistance normalisée. Cette notion recouvre en fait des réalités diverses ; il s'agit en effet de la résistance des éléments telle que mesurée dans les conditions définies par la norme à laquelle ils sont rattachés dont certaines expriment la prescription correspondante en terme de résistance minimale garantie pour le fragile 5 % [normes relatives aux blocs en béton de granulats courants (NF P 14-301), de granulats légers (NF P 14-304) en béton apparent (P 14-102) et en béton cellulaire autoclavé (NF P 14-306)] et d'autres prescrivent une limite pour la valeur moyenne, assortie d'une valeur minimale pour les valeurs individuelles obtenues à l'essai (NF P 13-301, P 13-304, P 13-305, P 13-306 pour les produits de terre cuite ou encore B 10-510 pour la pierre de taille).

La valeur de la résistance de la maçonnerie représentée par la contrainte admissible est alors obtenue en divisant la valeur normalisée de la résistance de l'élément de maçonnerie utilisé, telle que définie ci-dessus, par un coefficient N spécifique de chaque famille d'élément, appelé **coefficient global de réduction**.

Ce coefficient attribué forfaitairement intègre, outre les différences induites par la définition de la résistance des produits, les influences respectives :

- de la mise en œuvre, des incertitudes de montage et du mortier utilisé, minimisées sur ce dernier point par les prescriptions de dosage proposées dans le DTU qui conduisent à des valeurs de résistance intrinsèque de mortier qui sont relativement élevées, mais certainement indispensables dans le cas d'associations aux produits creux à parois minces qui sont largement répandus dans notre pays ;

- de l'éclatement permettant de passer du matériau maçonnerie à l'ouvrage mur, dans la mesure où celui-ci ne dépasse pas la valeur de 15 ; au-delà de 15 et jusqu'à 30, un abattement supplémentaire d'importance croissante avec l'éclatement est appliqué ; au-delà de 30, il est considéré que l'on n'est plus dans le cas des ouvrages courants visés au DTU et une étude particulière est demandée. L'influence de l'excentricité est appréciée forfaitairement en distinguant simplement deux cas : celui des murs intérieurs à chargement centré et celui des murs extérieurs à chargement excentré : pour ce cas de charge le DTU prescrit une largeur d'appui égale ou supérieure aux 2/3 de l'épaisseur de la paroi porteuse, en imposant par ailleurs des valeurs minimales pour l'épaisseur des murs porteurs extérieurs égales ou voisines de 20 cm ; cette épaisseur minimale résulte en fait de la nécessité de respecter les dispositions constructives minimales (commentées au paragraphe 1.2.4) qui sont elles-mêmes nécessaires pour assurer la conservation de la cohésion de la maçonnerie en tant qu'ouvrage.

1.2.2.2 Évaluation des efforts

L'évaluation des efforts sollicitant les parois est limitée aux forces verticales résultant de l'action de la pesanteur (charges permanentes, charges d'exploitation et charges de neige) et aux seules forces horizontales résultant de l'action du vent sur la façade.

Pour la détermination des charges verticales agissant sur les murs, il est possible d'appliquer la dégression des charges énoncées par la norme NF P 06-001 ; on admet dans cette évaluation que les éléments de planchers sont discontinus au droit des murs.

Pour la résistance au vent perpendiculaire à la façade, on assimile le panneau de mur à une plaque simplement appuyée sur ses côtés ; dans le cas d'une paroi extérieure liée à la paroi interne par des attaches (cas des murs doubles) l'influence des attaches n'est généralement pas prise en compte ; leur rôle est considéré limité au déversement.

Il n'est pas tenu compte des efforts résultant des retraits et dilations, pour lesquels on considère que le respect des dispositions constructives permet de les négliger, ni de ceux résultant de la participation de la maçonnerie au contreventement de l'ouvrage ; c'est bien entendu également le cas des séismes ou des autres sollicitations exceptionnelles (chocs, explosions...) qui ne sont pas considérés par ces règles (cf. § 1.2.5).

1.2.2.3 Vérification de calcul

L'hypothèse prise pour le calcul est celle d'une distribution uniforme des contraintes, sauf pour celles dues aux charges des éléments (planchers, linteaux...) situés immédiatement au-dessus de la section horizontale considérée :

- cas du linteau (isolé ou filant) (figure 1), répartition triangulaire sur une longueur d'appui limitée à une fois la hauteur du linteau ;
- cas d'une dalle ou poutre perpendiculaire au plan moyen du mur (figure 2) : répartition triangulaire ou trapézoïdale en supposant que la largeur d'appui est également limitée à l'épaisseur de la dalle (ou la hauteur de la poutre).

Le calcul consiste en une vérification des contraintes en partie courante (en générale à mi-hauteur) et aux points singuliers (trumeaux, appuis de linteaux, poutres, dalles de planchers...) :

1°) sous l'action des charges verticales seules (figure 3) la contrainte de compression doit être au plus égale à la contrainte admissible ;

2°) sous l'action des charges verticales et du vent perpendiculaire à la façade, la contrainte de compression ne doit pas dépasser les 9/8 de la contrainte admissible.

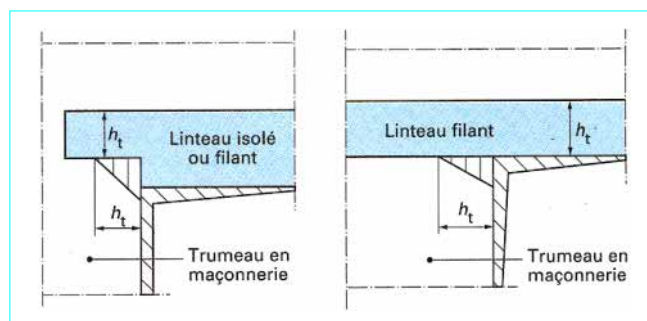


Figure 1 – Linteau : répartition des contraintes

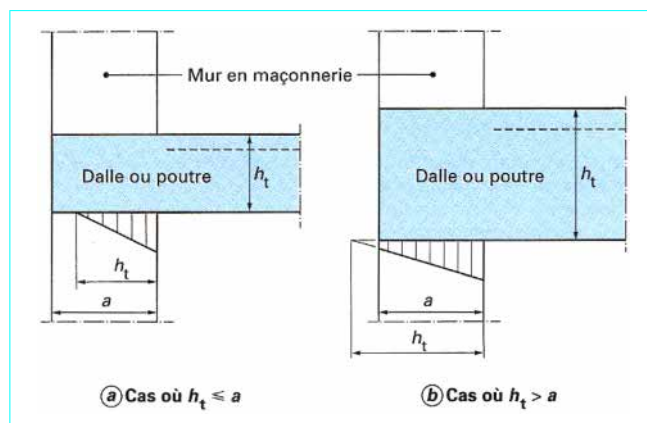


Figure 2 – Dalle ou poutre perpendiculaire au plan moyen du mur : répartition des contraintes

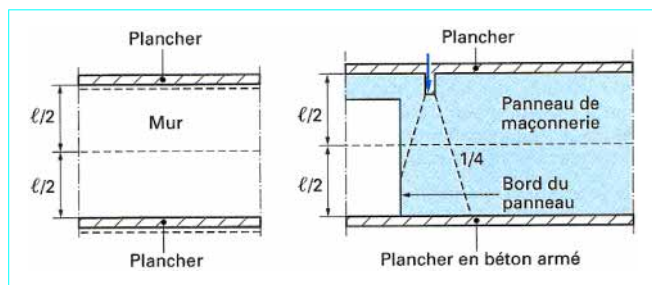


Figure 3 – Répartition des contraintes sous l'action de charges verticales

1.2.3 Projet d'eurocode 6 : analyse critique et commentaires

L'analyse ci-après porte sur la version 1989 du projet qui est la seule disponible à ce jour ; depuis, à l'occasion de l'enquête effectuée dans les différents pays de la Communauté, le projet a fait l'objet de nombreuses observations recueillies et discutées au sein du CEN TC/250 SC6.

Mais, pour l'essentiel, beaucoup de remarques formulées sont relatives à l'application aux maçonneries de produits creux d'usage courant en France. Ce sont ces remarques qui sont brièvement exposées ci-après.

■ Caractéristiques mécaniques du matériau maçonnerie

Comme déjà indiqué au paragraphe 1.2.1 les maçonneries constituent un ensemble très divers en Europe et il est difficile de trouver une formule unique qui puisse représenter valablement, pour cet ensemble hétérogène, la relation entre la résistance du matériau composite qu'est la maçonnerie et la résistance des matériaux élémentaires constitutifs.

Ce constat a été mis en évidence par la campagne d'essais menée en France à cette occasion, qui a permis de formuler une contre-proposition qui se prête à l'adaptation aux différents cas particuliers ; les modèles proposés ont depuis été affinés, sous la forme d'une première proposition de modèle analytique susceptible de s'adapter aux maçonneries françaises et décrite dans [11].

Cette campagne d'essais a également montré que la loi de comportement de type parabole rectangle calquée sur celle utilisée pour le béton armé (cf. rubrique spécialisée dans ce traité) ne convient pas pour la plupart des maçonneries, notamment celles dont les éléments, du fait de leur structure interne largement alvéolée, ont un comportement de type fragile.

Il y a là une divergence de fond dans l'approche de la formulation d'un modèle : approche analytique d'une part et, d'autre part, approche empirique fondée sur l'expérimentation en nombre, systématique, tendant à la détermination, par groupes de maçonnerie, des paramètres d'une formule unique : cette démarche présente le double inconvénient de nécessiter une expérimentation préalable très lourde et donc d'être évolutive en fonction de l'avancement de cette expérimentation. Elle est aussi réductrice et pénalisante, mais peut être dangereuse par regroupement abusif ou définition insuffisante des limites d'application du modèle.

■ Détermination de la charge verticale à l'état limite ultime

La méthode de calcul proposée pour l'excentricité n'est pas satisfaisante : elle propose pour certains éléments du calcul des valeurs forfaitaires trop importantes, notamment pour l'excentricité des charges transmises par le plancher haut.

La fonction de flambement proposée, du type simplifié, séparant l'influence de l'excentricité et celle de l'élancement, est assortie de coefficients « correcteurs » fixés arbitrairement qui n'ont aucune

chance de convenir pour l'ensemble des maçonneries. Elle repose par ailleurs sur l'hypothèse d'un diagramme rectangulaire des contraintes à l'état ultime ; cette hypothèse est, elle aussi, très éloignée de la réalité des maçonneries d'usage courant en France telle que nous la connaissons par l'expérimentation ; elle peut d'ailleurs être dangereuse : à supposer qu'elle convienne pour certaines familles de maçonneries (éléments pleins de petites dimensions), son domaine d'application devrait donc être défini de façon précise.

Dans ce cas encore, toute latitude devrait être laissée pour les autres cas d'utiliser des modèles mieux établis et adaptés, ou encore des méthodes de calcul numérique de fondement scientifique plus certain.

■ Charges concentrées

Dans ce cas, non plus, une formule générale unique ne peut décrire convenablement le comportement sous charges concentrées de maçonneries aussi variées que celles utilisées en Europe allant d'éléments pleins de petites dimensions à d'autres éléments de grandes dimensions et à structure largement alvéolée.

1.2.4 Dispositions constructives minimales

1.2.4.1 Généralités

Ces dispositions sont, rappelons-le, nécessaires, indépendamment des calculs de stabilité mécanique eux-mêmes destinés au dimensionnement de l'ouvrage mur, pour assurer la conservation de la cohésion du mur vis-à-vis des sollicitations provenant des charges appliquées ou des déformations imposées par les phénomènes thermiques, climatiques et de retrait.

Elles s'appliquent à la maçonnerie proprement dite et aux éléments de béton armé (chainage, linteaux) qui y sont incorporés ; on y ajoute d'autres dispositions concernant d'autres éléments en béton armé parfois également associés aux maçonneries (bandeaux, balcons, corniches) afin de limiter les variations dimensionnelles différentielles entre ces éléments et la maçonnerie adjacente.

1.2.4.2 Joints de dilatation et de retrait

Des joints de dilatation et de retrait doivent être prévus dans les maçonneries ; la distance entre deux joints successifs, ou entre l'extrémité du bâtiment et le premier joint, est à apprécier en fonction des éléments ci-après :

- le fait qu'il s'agit de maçonneries porteuses ou de maçonneries de remplissage ;
- la conception générale du bâtiment ;
- la nature du matériau utilisé.

Il est à noter à cet égard que des règles de conception et de calcul des ouvrages en béton armé actuellement en vigueur (Règles BAEL) admettent que l'on peut ne pas tenir compte, pour les bâtiments courants (bâtiments d'habitation et à usage de bureaux), des effets du retrait et des variations de la température extérieure, dès lors que ces bâtiments sont recoupés par des joints dont la distance ne dépasse pas :

- 25 m dans les régions sèches ou à forte opposition de température ;
- 50 m dans les régions humides et tempérées.

Pour la France métropolitaine un commentaire de ces mêmes règles admet les distances maximales ci-après entre joints (cf. article *Ouvrages en béton. Pathologie et réparation* [C 2 317] dans ce traité) :

- 25 m dans les départements de la Méditerranée ;
- 30 à 35 m dans les régions de l'Est, les Alpes et le Massif central ;
- 40 m dans la région parisienne ;
- 50 m dans les régions de l'Ouest.

Il est toutefois bien précisé, dans ces mêmes règles, que cette tolérance ne s'applique qu'aux bâtiments ayant une ossature complète en béton armé, reposant sur des supports normalement flexibles (ce qui est le cas des poteaux courants en béton armé).

Or, lorsque le support des planchers en béton armé est constitué par des panneaux de maçonnerie, ou lorsque des panneaux en maçonnerie viennent en remplissage d'une ossature porteuse en béton armé, ces panneaux n'ont en général pas une déformabilité suffisante, et il en résulte, dans les maçonneries, des sollicitations de traction et de cisaillement. C'est la raison pour laquelle les distances entre joints de fractionnement doivent être réduites dans le cas où les murs sont en maçonnerie (tableau 1).

Tableau 1 – Distances entre joints dans les ouvrages en maçonnerie

	Maçonnerie porteuse	Maçonnerie de remplissage
Départements de la Méditerranée	≤ 20 m	20 à 25 m
Régions de l'Est, Alpes et Massif central	≤ 25 m	25 à 35 m
Région parisienne	≤ 30 m	30 à 40 m
Régions de l'Ouest	≤ 35 m	35 à 50 m

Pour les maçonneries de remplissage il appartient au projeteur de fixer la valeur maximale entre joints en fonction de la conception générale du bâtiment et de la nature des matériaux (en fonction des indications du tableau 1) :

— à titre indicatif, la limite supérieure peut être retenue lorsque les maçonneries de remplissage sont homogènes sur toute la longueur du bâtiment et lorsque le point d'ancrage du plancher (cage d'escalier, cage d'ascenseur) se trouve sensiblement au centre de l'élément entre joints ;

— par contre, la limite inférieure est à retenir lorsqu'il existe, à l'extrémité du bâtiment, un point d'ancrage (cage d'escalier, murs en maçonnerie lourde ou en béton : figure 4a) tel que les effets du retrait et de la dilatation ne s'exercent que dans une seule direction ;

— de même, les solutions dans lesquelles il existe, aux deux extrémités du bâtiment, des maçonneries lourdes ou des murs en béton banché (figure 4b) impliquent presque toujours la création d'un joint, même lorsque la longueur du bâtiment est inférieure aux valeurs indiquées dans le tableau 1.

Un fractionnement complémentaire, intéressant seulement la maçonnerie de remplissage, par des joints calfeutrés après coup avec un mastic, distant de 5 à 15 m selon la conception et les conditions d'exposition de la façade, doit être éventuellement prévu à tous les étages lorsque la maçonnerie est constituée de matériaux à fortes variations dimensionnelles (blocs en béton de granulats légers ou très légers, béton cellulaire autoclavé...).

En outre, lorsque des éléments chauffants sont incorporés aux planchers, l'espacement des joints doit être réduit ; en aucun cas il ne peut dépasser la distance séparant, dans les bâtiments d'habitation, deux cages d'escalier consécutives.

Enfin, pour faciliter le bon comportement des maçonneries sous plancher-terrasse en béton armé, il est opportun de recouper, le cas échéant, le gros œuvre de la toiture et les maçonneries porteuses dans la hauteur du dernier étage par des joints supplémentaires, appelés joints « diapason », et prévus de telle sorte que la distance entre joints de fractionnement successifs ne dépasse pas 20 m dans les départements de la Méditerranée et 25 m dans le reste de la France.

1.2.4.3 Chaînages horizontaux

Un chaînage horizontal continu, fermé, en béton armé, ceinture les façades à chaque étage, au niveau des planchers ainsi qu'au couronnement des murs, et les relie au droit de chaque refend (figure 5).

La section transversale du béton de ces chaînages est limitée en façade (figure 6c) : en effet, les sections importantes de béton sont, si aucune précaution particulière n'est prise, une source de désordres dans les maçonneries. En général, la hauteur d'un chaînage de façade est celle du plancher qui lui est associé (figure 6a). Dans le cas de planchers autres que les planchers en béton armé (par exemple planchers à solivage en bois ou en métal, certains planchers en béton précontraint ne comportant pas d'armatures dépassant en about...), des chaînages plats peuvent être réalisés (figure 6b).

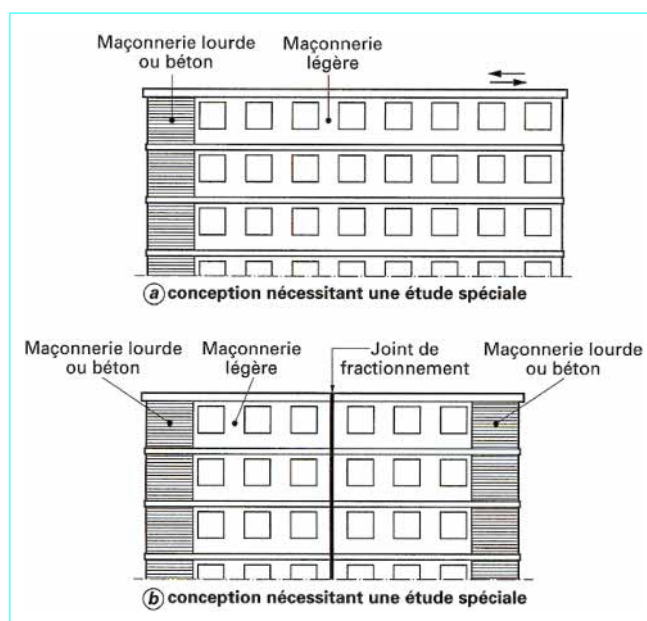


Figure 4 – Maçonnerie de remplissage

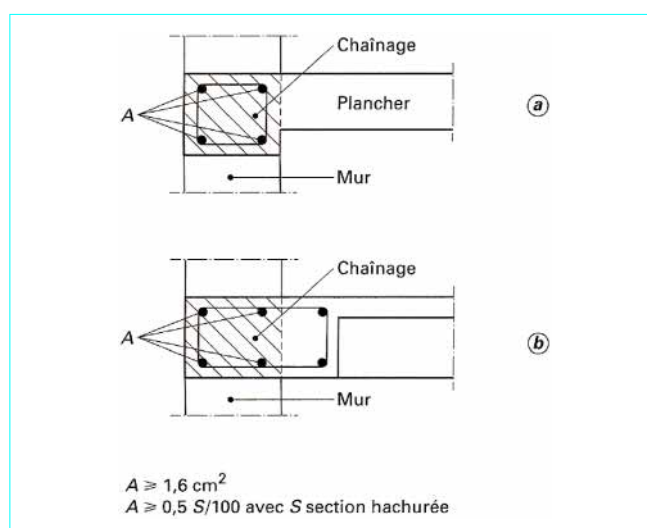


Figure 5 – Armatures minimales des chaînages (acier Fe E 400)

Dans le cas particulier des maçonneries enduites, il convient en outre de prendre des précautions supplémentaires pour tenir compte du risque de fissuration de l'enduit à la jonction entre la maçonnerie et les chaînages en béton armé. Ce risque résulte principalement des retraits et dilatations différentiels développés en ces points du fait du comportement thermo-hygrométrique différent des deux matériaux, et en particulier du fait que les températures superficielles de l'enduit ne sont pas les mêmes au droit de la maçonnerie et du chaînage en béton armé. Ces précautions appartiennent à l'une des deux catégories ci-après :

- limiter les hétérogénéités des températures superficielles dans l'enduit en habillant extérieurement les chaînages d'un matériau mince, de préférence de même nature que la maçonnerie courante ou, à défaut, de caractéristiques voisines ;

- marquer le joint à la liaison entre mur et plancher en dessous de ce dernier et, ayant ainsi localisé la fissure à cet endroit, éviter les conséquences des mouvements en assurant une protection contre les infiltrations (cf. article *Maçonnerie. Mise en œuvre des ouvrages* [C 2 103]).

1.2.4.4 Linteaux

La longueur d'appui des linteaux sur la maçonnerie se détermine en appliquant les prescriptions du paragraphe 1.2.2. En tout état de cause, elle ne peut être inférieure à 0,20 m pour les linteaux isolés.

Les habillages extérieurs des linteaux en béton armé sont traités selon les mêmes principes que les chaînages horizontaux. Ces habillages peuvent être réalisés en utilisant des éléments de coffrage spéciaux (cf. article *Maçonnerie. Mise en œuvre des ouvrages* [C 2 103]).

1.2.4.5 Chaînages verticaux

Les chaînages verticaux constituent de simples liaisons et n'interviennent pas comme des poteaux d'ossature : ils ont pour but de s'opposer aux efforts de traction exercés par les planchers sur les maçonneries sous-jacentes (retrait hydraulique et retraits différentiels de séchage se manifestant en angles de dalles) qui sont la source de fissuration horizontale (cf. article *Maçonnerie. Pathologie* [C 2 105]).

Lorsque les murs porteurs sont en maçonnerie légère et lorsque les planchers sont en béton armé ou précontraint, des chaînages verticaux sont réalisés dans les angles saillants et rentrants des maçonneries, ainsi que de part et d'autre des joints de fractionnement du bâtiment (figure 7).

Nota : on entend par « maçonneries légères » :

- les briques creuses de terre cuite (à face de pose continue ou à rupture de joint) à perforations horizontales (norme NF P 13-301) ;
- les blocs perforés de terre cuite à perforations verticales à enduire (NF P 13-305) ;
- les blocs creux de béton de granulats lourds (norme NF P 14-301) ;
- les blocs creux de béton, de granulats légers (norme NF P 14-304) ;
- les blocs en béton cellulaire autoclavé (norme NF P 14-306).

Les chaînages sont placés :

- dans la hauteur des deux derniers étages dans le cas des planchers-terrasses en béton armé ou en béton précontraint (figure 8a) ;

- dans la hauteur du dernier étage dans le cas où le plancher en béton armé (ou précontraint) surmontant ce dernier étage n'est pas un plancher-terrasse (par exemple : plancher de comble, figure 8b).

1.2.4.6 Trumeaux porteurs

En règle générale, les trumeaux porteurs doivent être de largeur suffisante, au regard de la dimension des éléments constitutifs, pour pouvoir réaliser un ouvrage de maçonnerie : 2 fois la longueur de l'élément et au moins 0,80 m, sauf pour de très grands éléments (pierre de taille, brique creuse, blocs en béton cellulaire autoclavé) et sur justification.

Dans le cas contraire un renfort par éléments en béton armé incorporé et prolongé jusqu'au chaînage inférieur est nécessaire.

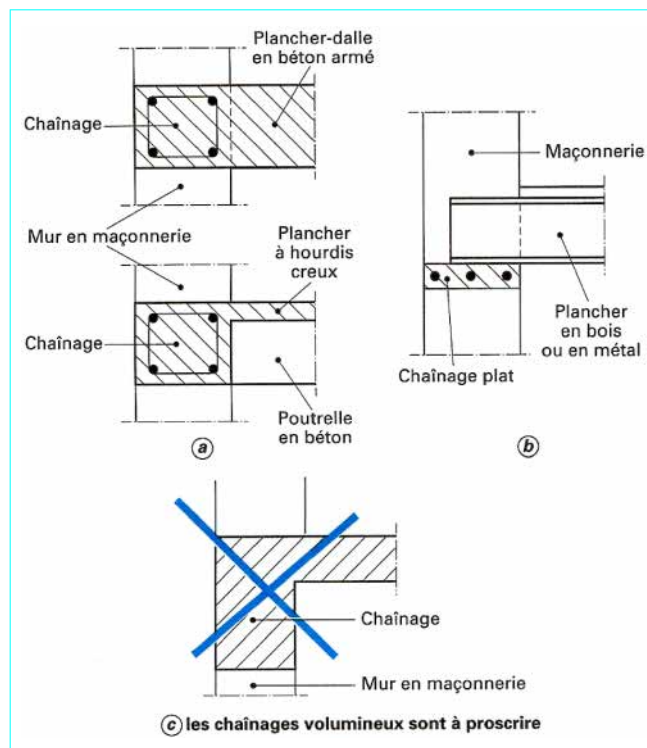


Figure 6 – Chaînages

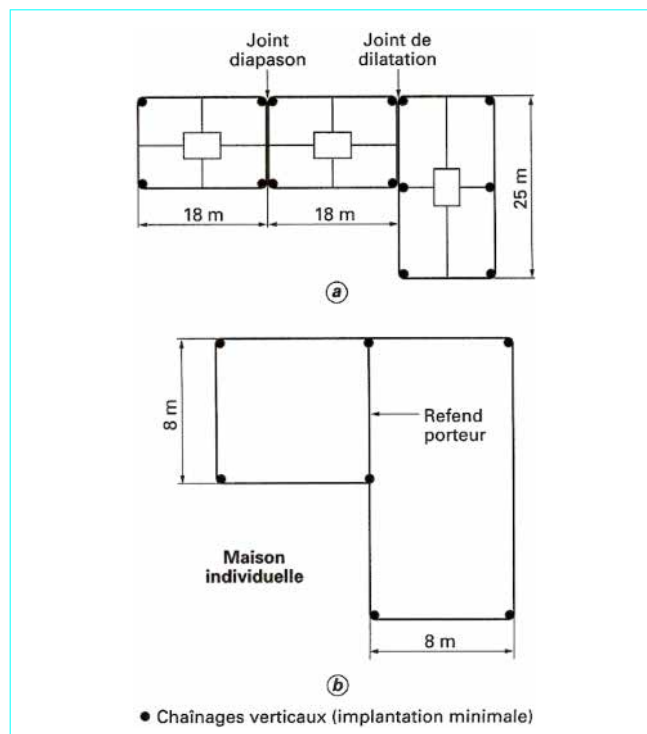


Figure 7 – Implantation des chaînages verticaux (coupe horizontale)

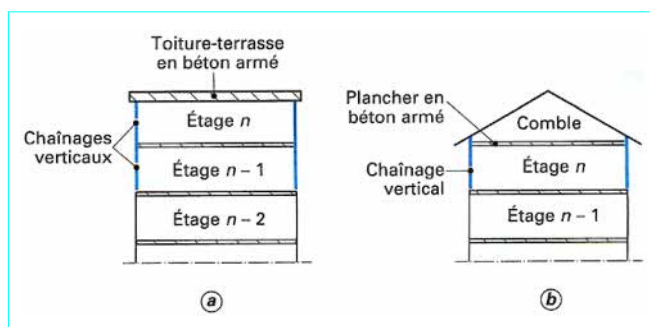


Figure 8 – Implantation des chaînages verticaux (coupe verticale)

En cas de sollicitations conduisant à un dépassement des contraintes admissibles par la maçonnerie, une semelle de réparation ou un renforcement du chaînage est à prévoir.

1.2.4.7 Allèges et appuis de baies

Afin de tenir compte des efforts de cisaillement développés au raccord entre trumeaux porteurs et allèges du fait du chargement différent de la maçonnerie :

- si les allèges et les trumeaux sont constitués de **matériaux de même nature** normalement appareillés à joints croisés, on peut disposer, dans l'épaisseur du joint situé sous l'appui de baie, une armature débordant de 50 cm au moins de part et d'autre de cet appui ;
- si les allèges et les trumeaux sont constitués de **matériaux de natures différentes**, on réalise, au raccord des deux matériaux, un joint de coupe vertical qui est calfeutré, après mise en charge de la maçonnerie, par un mastic plastique.

Les allèges doivent être protégées par un appui de baie mettant la maçonnerie à l'abri des pénétrations d'humidité (cf. article *Maçonnerie. Mise en œuvre des ouvrages* [C 2 103]).

Les appuis de baies en béton armé de grande longueur (supérieure à 1,50 m) doivent comporter un pourcentage d'armatures longitudinales suffisant pour tenir compte des effets du retrait (au moins 0,25 %).

1.2.4.8 Prescriptions particulières aux maçonneries de remplissage

La fonction de chaînage des maçonneries est assurée par l'ossature. Ceci implique que les armatures longitudinales des poutres aient une section au moins égale à celle indiquée au paragraphe 1.2.4.3 pour les chaînages horizontaux.

La jonction entre l'ossature et la maçonnerie doit être conçue pour éviter les risques d'infiltration d'eau au droit des liaisons (feuilure, calfeutrement par mastic).

1.2.5 Règles parasismiques

1.2.5.1 Documents de référence spécifique

Les règles parasismiques générales en vigueur en France sont les règles PS 69 et leurs addenda 82 (cf. article *Constructions parasismiques* [C 3 290] dans ce traité).

Il convient en outre de respecter l'arrêté du 16 juillet 1992 relatif aux mesures préventives et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la catégorie dite « à risque normal » en application du décret n° 91-461 du 14 mai 1991, et de l'article 41 de la loi n° 87-565 du 22 juillet 1987.

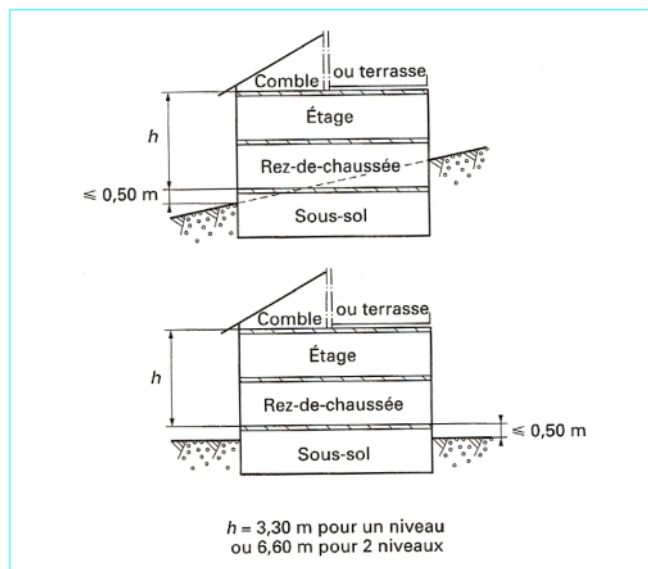


Figure 9 – Petites constructions relevant des règles PS-MI

Cet arrêté vise également le document, appelé « Règles PS-MI 89, révisées 92 », qui énonce des règles simples de substitution permettant, dans certaines conditions, à de petits bâtiments de résister de façon satisfaisante à des séismes dont le niveau d'agression est défini dans l'arrêté précédent, sans pour autant qu'il soit nécessaire d'avoir recours cas par cas aux vérifications des règles générales (actuellement PS 69/82).

Les Règles PS MI 89 étaient un DTU (référence AFNOR DTU P 06-008). Elles ont été révisées en 1992 et sont parues à nouveau sous forme d'une norme : NF P 06-014.

1.2.5.2 Domaine d'application des Règles PS-MI

Ces règles sont en particulier applicables aux petites constructions en maçonneries, telles que définies ci-après (figure 9) :

- ces constructions respectent les règles de l'art applicables en situation normale (notamment le DTU 20.1 pour les maçonneries) : les règles PS-MI viennent donc en complément ;
- ces constructions comportent au plus un niveau enterré, un rez-de-chaussée et un étage avec une toiture-terrasse éventuellement accessible ou un comble éventuellement aménageable ;
- les constructions sont situées en zone de sismicité Ia, Ib et II, telles que définies par le décret 91-461 du 14 mai 1991.

1.2.5.3 Contenu des Règles PS-MI

Le bon comportement d'une construction soumise à une secousse sismique dépend d'un certain nombre de facteurs liés, pour les principaux d'entre eux :

- à la nature géologique du site ;
- à l'implantation de la construction sur le site ;
- à l'organisation d'ensemble de la construction ;
- aux dispositions constructives à prévoir dès la conception ;
- à la bonne exécution des travaux.

Les trois premiers points sont traités au paragraphe 2 de la norme NF P 06-014 qui contient des informations sur les documents à consulter (§ 1 du document) ainsi que des illustrations décrivant à la fois les dispositions acceptables, mais aussi des exemples de ce qu'il convient d'éviter :

- dispositions des éléments de contreventement et distribution des masses ;

- joints de fractionnement ;
- éléments fonctionnant en console.

Au paragraphe 3.2 de la norme sont décrites les dispositions relatives aux fondations et aux liaisons à établir entre fondations et structures, le choix de la coupure de capillarité qui doit être une chape de mortier et non constituée de membranes d'étanchéité qui ne sauraient ni transmettre les efforts horizontaux ni permettre le passage des liaisons précitées.

Le paragraphe 3.3 de la norme est consacré aux structures en maçonnerie. Des exemples cotés des liaisons horizontales et verticales à établir illustrent ce paragraphe.

1.2.5.4 Dispositions spécifiques à la maçonnerie

Les dispositions intéressant les ouvrages en maçonnerie proprement dits sont décrites au paragraphe 3.3 de la norme NF P 06-014 ; elles concernent principalement :

- les caractéristiques structurelles des éléments de maçonnerie utilisés (résistance garantie, structure interne...) ;
- les dispositions (localisation et espacement) des chaînages en béton armé associé (réalisés après l'exécution de la maçonnerie) ;
- les dimensions limites des panneaux ainsi délimités par les chaînages précédents : épaisseur, longueur ou largeur, surface et longueur de la diagonale (rapportée à l'épaisseur) ;
- l'importance relative et la répartition des panneaux pris en compte dans le contreventement : ce sont obligatoirement des trumeaux aveugles d'au moins 1,10 m de largeur ;
- la constitution (dimensions et armatures) des chaînages horizontaux et verticaux ainsi que leurs liaisons réciproques ;
- les dispositions à prendre pour l'encadrement des baies situées dans les panneaux autres que ceux pris en compte dans le contreventement.

Une partie de ce chapitre est enfin consacrée aux dispositions applicables aux maçonneries armées dans les joints horizontaux.

Ces maçonneries également chaînées comme les maçonneries non armées comportent en plus dans certains joints horizontaux des armatures pour lesquelles sont indiquées :

- constitution minimale et sections d'aciers ;
- liaison et ancrage dans les chaînages verticaux ;
- espacement vertical ;
- enrobage minimal par le mortier des joints.

1.2.5.5 Autres éléments à prendre en compte

Les Règles PS-MI visent également d'autres techniques que la maçonnerie et tout particulièrement les dispositions relatives aux autres parties d'ouvrage que les murs qu'il y a lieu de consulter pour concevoir convenablement l'ensemble du bâtiment :

- les planchers ;
- les toitures ;
- les ouvrages non structuraux : cloisons, plafonds, escaliers, petits éléments en consoles verticales (souches de cheminées, acrotères en béton armé...).

1.3 Étanchéité des murs

1.3.1 Énoncé de la fonction étanchéité à l'eau

Un mur est réputé étanche à l'eau lorsqu'il constitue une barrière suffisante pour empêcher que l'eau arrivant sur sa face extérieure ne puisse cheminer jusqu'à la face intérieure visible, et cela sans que les infiltrations correspondantes dans l'épaisseur du mur n'affectent de façon sensible ses caractéristiques (isolation thermique par exemple) ou sa conservation dans le temps.

1.3.2 Importance de l'étanchéité à l'air

L'étanchéité des murs concerne à la fois l'étanchéité à l'eau, notamment à la pluie fouettante, mais aussi à la neige fondante, et l'étanchéité à l'air à laquelle est bien souvent liée l'étanchéité à l'eau (phénomène d'entraînement de l'eau par l'air).

Il convient de noter que l'étanchéité à l'air des parois opaques, souvent moins bien maîtrisée que celle des parois vitrées, probablement parce que diffuse entre de nombreux ouvrages ou parties d'ouvrage et donc de nombreux corps d'état, intervient également dans les problèmes de thermique du bâtiment (déperditions mais aussi confort de l'occupant, par ses incidences sur les températures de l'air en particulier, perception de courant d'air froid par exemple) et d'aspect (salissures des moquettes de couleur claire au droit des plinthes par exemple).

La satisfaction des exigences relatives à ces fonctions est à examiner tant en partie courante (§ 1.3.3) qu'aux points singuliers de la construction que constituent ces liaisons avec les ouvrages adjacents (§ 1.3.5).

Les problèmes d'étanchéité à l'air sont particulièrement sensibles pour les murs à double paroi, y compris les murs avec bardage, pour lesquels l'étanchéité à l'air se trouve reportée :

- d'une part dans le plan de la paroi intérieure lorsque la paroi extérieure a été conçue, pour d'autres raisons, de façon telle qu'elle ne peut assurer cette fonction (par exemple, mise en communication avec l'extérieur pour rejeter les eaux d'infiltration éventuelles) ;
- d'autre part, une fois encore, aux liaisons de la paroi intérieure avec d'autres ouvrages (baies, coffres de volets roulants, refends, planchers, incorporations électriques...).

1.3.3 Résistance des murs à la pénétration de la pluie et sévérité du site de la construction

Afin de pourvoir à la satisfaction de la fonction étanchéité à l'eau, il convient d'associer un mur, défini par sa résistance à la pénétration de la pluie fouettante, à la sévérité du site où se trouvera implantée la construction envisagée ; la sévérité est elle-même caractérisée par la situation, l'exposition au vent et à la pluie et l'environnement général du site.

Nous allons donc définir successivement les éléments de ces deux classements (cf. DTU 20.1 annexe « Guide pour le choix des types de murs de façade en fonction du site » et [13]).


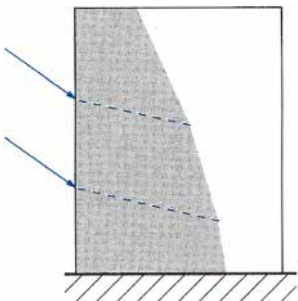
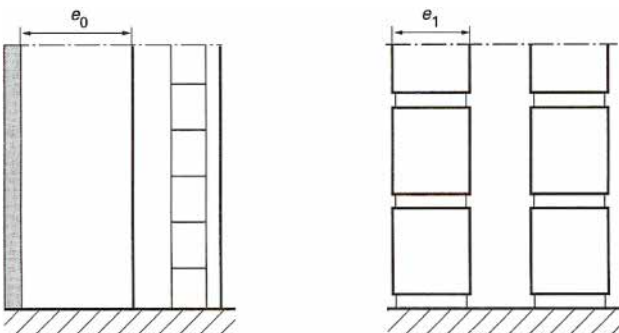
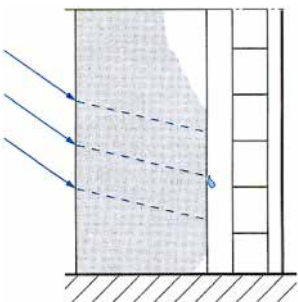
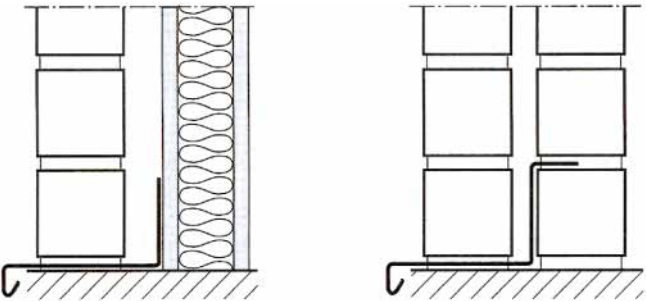
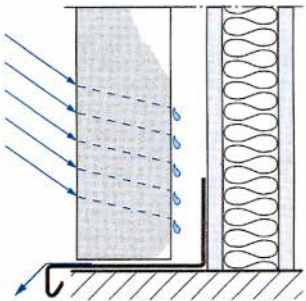
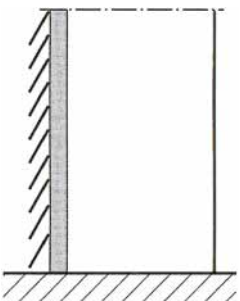
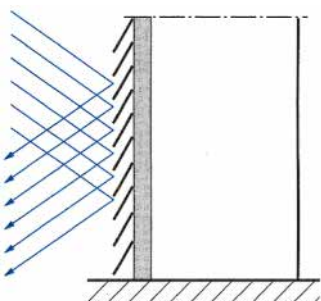
1.3.3.1 Classement des murs en fonction de leur résistance à la pluie

La résistance opposée par un mur en maçonnerie à la pénétration de l'eau de pluie repose essentiellement sur les dispositifs adaptés dont est pourvu ce mur du fait de sa conception (tableau 2). En effet, dans le cas le plus simple d'un mur à simple paroi (mur de type I), qui ne comporte de ce fait ni coupure de capillarité dans son épaisseur ni revêtement étanche sur son parement extérieur, la résistance à la pénétration est donc liée directement à la susceptibilité de la paroi à absorber l'eau : celle-ci dépend de l'épaisseur de la paroi et de la capacité d'absorption d'eau de ses matériaux constitutifs. Elle est bien entendu directement dépendante de la conservation du bon état de la paroi en maçonnerie elle-même (absence de fissuration notamment).

Une première solution couramment utilisée pour s'opposer à la pénétration de l'eau est de disposer, dans l'épaisseur du mur, une coupure de capillarité continue (panneaux isolants non hydrophiles ou bien lame d'air).

Dans un tel cas, la conservation de la fonction étanchéité est encore dépendante de la conservation du bon état de la maçonnerie, mais la coupure de capillarité est suffisante pour arrêter le cheminement vers l'intérieur d'éventuelles infiltrations à condition

Tableau 2 – Classement des murs en fonction de leur résistance à la pluie

		<p>Type I Mur à simple paroi</p> <p>L'efficacité dépend :</p> <ul style="list-style-type: none"> — de l'épaisseur e du mur ; — de la capillarité des matériaux, des éléments de maçonnerie et du mortier des joints ; — lorsque c'est le cas, de l'enduit appliqué côté extérieur.
		<p>Type II Mur à double paroi</p> <p>L'efficacité dépend :</p> <ul style="list-style-type: none"> — de l'épaisseur e_0 ou e_1 de la paroi extérieure ; — de l'espace régnant entre les deux parois qui joue le rôle de coupure de capillarité.
		<p>Type III Mur à double paroi</p> <p>Même constitution que le mur de type II, mais une bande d'étanchéité disposée en pied recueille l'eau qui traverse la paroi extérieure et la rejette à l'extérieur.</p>
		<p>Type IV Mur revêtu d'un bardage côté extérieur</p> <p>Le bardage empêche la pénétration de l'eau dans le mur en l'arrêtant en avant de la face externe.</p>

qu’elles restent limitées pour pouvoir être absorbées par les zones non saturées. Ainsi se trouvent définis les **murs de type II**.

Dans la mesure où les eaux d’infiltration, du fait de la sévérité du site, sont trop abondantes pour pouvoir être absorbées, une partie peut atteindre la base de la lame d’air ; celle-ci doit être munie, en pied, d’un dispositif étanche formant gouttière de recueil et rejetant vers l’extérieur les eaux ainsi collectées au moyen d’exutoires qui complètent la constitution des **murs de type III**.

Il convient de tenir compte également de la position, dans l’épaisseur du mur, de la coupure de capillarité, en avant ou au contraire côté intérieur de la paroi principale en maçonnerie qui constitue volant d’absorption.

Mais le moyen le plus efficace d’éviter l’infiltration de trop grandes quantités d’eau lorsque les sites sont fortement exposés consiste encore à arrêter la pluie en avant de la paroi en maçonnerie par un revêtement étanche disposé côté extérieur de celle-ci, constituant de la sorte des **murs de type IV**.

Pour tous les types de murs, on peut accroître leur résistance à la pénétration de l’eau de pluie (tableau 3)

1.3.3.2 Éléments pris en compte dans la définition de l’exposition des murs à la pluie et au vent

En règle générale les principales données à prendre en considération sont :

- d’une part, la durée et la fréquence des séquences « vent + pluie » ainsi que l’hygrométrie ambiante moyenne de l’air, au lieu de la construction, qui conditionnent les alternances d’humidification et de séchage ;
- d’autre part, les facteurs qui influent sur le risque de pluie fouettante et la pression dynamique du vent sur la maçonnerie qui conditionnent la sévérité de la séquence humidification.

Concernant l’hygrométrie moyenne de l’air ou les durées et fréquences des séquences « vent + pluie », les données météorologiques ne sont pas suffisamment précises pour permettre de distinguer des régions géographiques bien délimitées. À titre indicatif on peut consulter, pour la France, la carte mentionnant la vitesse du vent moyen (accompagné de pluies) atteinte en moyenne une fois tous les 10 ans.

Concernant la pluie fouettante et la pression dynamique du vent, les éléments pris en compte sont :

- la situation de la construction (depuis celle correspondant à l’intérieur des grands centres urbains jusqu’à celle du bord de mer) ;
- la hauteur au-dessus du sol ;
- la présence ou l’absence de protection contre le vent (masque).

Les critères liés à l’environnement de la construction sont donnés dans l’annexe 1 du présent article.

Pour simplifier la tâche du concepteur, les définitions relatives à ces éléments ont été calquées sur celles retenues pour le choix des fenêtres, d’ailleurs également utilisées pour le calcul des déperditions thermiques dues à l’influence du vent (Règles Th).

Compte tenu de l’imprécision, rappelée précédemment, des données en matière de pénétration de la pluie dans les murs qui ne justifie pas une classification aussi diversifiée, un certain nombre de regroupements ont permis de la simplifier quelque peu, mais il appartient en dernier ressort au maître d’œuvre d’apprécier l’ensemble de ces données en fonction de sa connaissance du climat local et de l’expérience acquise en la matière pour des constructions analogues déjà présentes dans la région.

1.3.4 Hygrothermique et acoustique

Les exigences relatives à ces fonctions dépendent étroitement de la destination des bâtiments, elles font, de plus, intervenir d’autres éléments que les seules parois en maçonnerie et l’examen de leur satisfaction doit faire l’objet d’un traitement global. Il est enfin à noter que les liaisons entre ouvrages adjacents ont, de ce point de vue, également une grande importance et que leur traitement – ponts thermiques et ponts acoustiques – doit faire l’objet du plus grand soin.

Pour le calcul des caractéristiques thermiques des parois on se réfère au DTU Règles Th-K.

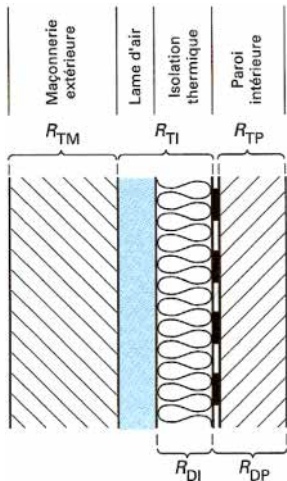
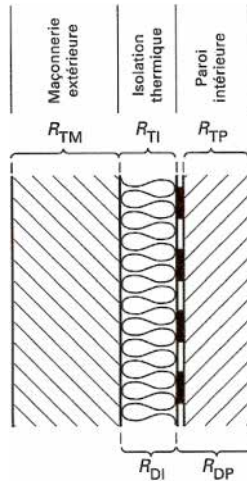
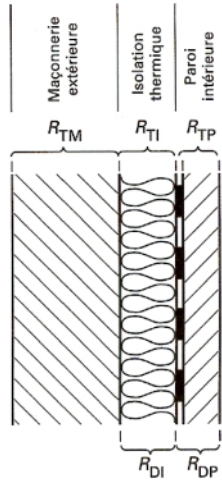

Pour le choix des parois on peut se référer aux « Exemples de solutions pour faciliter l’application du Règlement de construction pour l’isolation » [14] :

- pour l’isolation thermique : Titre II Hygrothermique ;
- pour l’isolation acoustique : Titre III Acoustique.

Tableau 3 – Accroissement de la résistance des murs à la pénétration de l’eau de pluie en fonction de sa conception

Type I	Type II	Type III	Type IV

Tableau 4 – Règles applicables aux maçonneries avec isolation intérieure rapportée (d'après DTU 20.1)

	Il y a une lame d'air entre l'isolant et la maçonnerie extérieure	Pas de lame d'air entre l'isolant et la paroi extérieure	
		Paroi intérieure autoportante (cloison)	Paroi intérieure non autoportante (plaque)
Dispositions constructives			
Règles applicables	1 3,1 ou 3,2	1 2 3,1	1 2 3,1
R_T résistance thermique e/λ (avec λ conductivité thermique) R_{TM} résistance thermique de la paroi extérieure en maçonnerie R_{TI} résistance thermique de l'isolant, lame d'air incluse R_{TP} résistance thermique de la paroi interne, pare-vapeur exclu		R_D résistance à la diffusion e/π (avec π perméabilité à la vapeur) R_{DI} résistance à la diffusion de l'isolant, pare-vapeur éventuel exclu R_{DP} résistance à la diffusion de la paroi interne, pare-vapeur éventuel inclus  Barrière de vapeur (pare-vapeur) éventuelle	
Énoncé des règles			
1. Règle pour éviter la condensation sur la face intérieure de l'isolant :			
$R_{TI} > 3 R_{TP}$			
2. Règle pour éviter la condensation dans l'épaisseur de l'isolant, dans le cas de locaux à forte hygrométrie :			
$\frac{1}{R_{DP}} < 0,06 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$			
3. Règles pour limiter les effets de la condensation sur la paroi extérieure (cas où $R_{TI} + R_{TP} > R_{TM}$) :			
3.1 limiter le flux de vapeur :			
Si $R_{TM} < 0,086 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$:			
$\frac{1}{R_{DP} + R_{DI}} < 0,06 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$			
zone très froide (1)			
$\frac{1}{R_{DP} + R_{DI}} < 0,015 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$			
3.2 récupérer l'eau en bas du mur et l'évacuer + protection en pied de l'isolant.			
(1) Sont considérées comme zones très froides :			
— les zones où la température de base, calculée conformément au titre II des Règles Th est inférieure à -15°C ;			
— les zones d'altitude supérieure à 600 m situées en zone climatique H1 uniquement, telle qu'elle est définie par l'arrêté du 24 mars 1982.			

Pour prévenir les risques de condensation, et pour le cas des parois extérieures comportant une isolation thermique rapportée sur leur face interne, les règles à respecter sont définies dans les « Règles de calcul » du DTU n° 20.1 (cf. tableau 4 résumant ces Règles). Voir également [14] [15].

1.3.5 Aspect extérieur et/ou intérieur

Le parement extérieur n'a pas seulement un rôle esthétique, il assume en effet la plupart du temps un rôle important dans la résistance à la pénétration de l'eau de pluie.

Ce parement étant directement exposé aux chocs thermiques, les dispositions qui tendent à accentuer ces chocs sont à proscrire : c'est en particulier le cas des revêtements de couleurs foncées qui sont à cet égard à éviter pour les façades ensoleillées.

De même, des fissurations et décollements sont à craindre lorsque des revêtements rigides sont mis en œuvre par scellement sur des maçonneries à bas module d'élasticité : en conséquence de telles dispositions sont à éviter.

D'une manière générale, le sommet des murs en maçonnerie doit être protégé de la pluie afin de limiter ruissellement et infiltration. De la même façon il convient d'éviter les fissurations des parois elles-mêmes.

Les phénomènes de fissurations des maçonneries sont souvent imputables, en dehors des effets de sollicitations normales dues aux charges de services, aux conséquences des dilatations et retractions différentiels qui se développent en cas d'association de matériaux de natures et caractéristiques différentes et notamment d'éléments en béton armé inclus à la maçonnerie (chainages, linteaux, corniches, acrotères...).

Il est donc important de respecter, en particulier pour les murs en maçonnerie à simple paroi, qui de surcroît sont destinés à servir de support à des revêtements adhérents (enduits en mortier de liants hydrauliques notamment), les dispositions qui ont pour but de limiter le risque de fissuration de la maçonnerie et/ou d'améliorer le comportement de ces revêtements adhérents, étant entendu que de toute façon ces derniers ne sont pas capables de s'accommoder de la fissuration de leur support :

- **fractionnement de la maçonnerie** en panneaux de dimensions d'autant plus faibles que les conditions ambiantes sont plus contrastées et sévères et/ou que les matériaux constitutifs sont susceptibles de variations dimensionnelles propres plus élevées ;

- **renfort de la résistance en traction du matériau maçonnerie** par la disposition d'armatures concentrées (chainages horizontaux ou verticaux) ou bien réparties (maçonnerie faiblement armée dans le lit de mortier des joints horizontaux par exemple) ;

- **dimensionnement au plus juste de la section des éléments** de béton armé associés à la maçonnerie et habillage de ces derniers côté extérieur par des éléments de maçonnerie homogènes avec ceux de la maçonnerie en partie courante afin d'offrir aux enduits une continuité convenable de support ;

- dans le cas où la fissuration apparaît inévitable (au droit d'appuis de planchers du fait de la rotation de ces derniers), **mise en place de dispositifs permettant de localiser cette fissuration** et de la rendre peu (ou cas) gênante : modénature ou profilé rapporté empêchant l'eau de ruissellement d'atteindre la fissure (cf. article *Maçonnerie. Mise en œuvre des ouvrages* [C 2 103]).

1.3.6 Traitement des points singuliers

Comme d'une manière générale pour toute construction, indépendamment de la technique considérée, un bâtiment réalisé en maçonnerie doit pour l'exécution de ses points singuliers faire l'objet d'un soin particulier dès la conception. Ce sont en effet en ces points, lieu fréquent de rencontre de plusieurs corps d'état, que se posent, souvent avec acuité, les problèmes de continuité pour l'ensemble des fonctions que les ouvrages adjacents ont à remplir ; c'est aussi là que l'exécution est rendue plus délicate et que la satisfaction des fonctions peut être aléatoire si elle n'a pas été convenablement examinée lors de la conception.

Les quelques exemples ci-après illustrent certains des problèmes qui se posent et les éléments de réponse qui peuvent y être apportés :

- l'interaction entre étanchéité à l'eau et étanchéité à l'air est particulièrement sensible au droit des baies, notamment lorsque celles-ci se trouvent inscrites dans un mur à double paroi ; elle montre que le fait de passer, pour la partie courante, d'un mur à simple paroi à un mur double, s'il accroît sensiblement l'efficacité de l'ouvrage en partie courante vis-à-vis du risque de pénétration de la pluie, complique notablement les liaisons avec les baies ;

- de même, un mur à simple paroi revêtu d'un enduit extérieur adhérent présente une étanchéité à l'air de construction alors qu'un mur double, au contraire, même s'il est lui aussi enduit extérieurement, présente un vide de construction dont il faut pallier la présence vis-à-vis de cheminements parasites de perméabilité à l'air ;

- la liaison entre murs perpendiculaires sollicités différemment (murs porteurs et non porteurs par exemple) doit être traitée en conséquence en désolidarisant les deux parties pour assurer, sans risque de fissuration, une transmission des efforts horizontaux (contreventement) sans pour autant pénaliser l'isolement acoustique à cet endroit (défaut d'étanchéité à l'air au droit de la fissuration éventuelle).

2. Cloisons de distribution et de doublage

2.1 Énoncé des exigences

Elles sont attachées à la fonction de partition et sont différentes selon qu'il s'agit de cloison de distribution ou de doublage ou bien encore de parois séparatives légères entre logements ou entre logements et circulations communes ; elles remplacent alors les parois en maçonnerie ou en béton qui ont d'autres fonctions à remplir, fonctions porteuses ou de contreventement lorsqu'il s'agit de murs de refend par exemple, fonctions que ne peuvent bien entendu pas assurer les systèmes légers en question (cf. § 2.4).

Elles concernent principalement :

- la **stabilité mécanique sous les sollicitations de chocs accidentels**, (chocs de grand corps mou 50 kg, cf. NF P, 08-301, d'énergie 240 J) ; on considère que la stabilité au vent est assurée si la stabilité aux chocs l'est ; c'est de cette exigence que dépendent les limites d'emploi en dimensions (cf. § 2.2.2) ;

- l'**isolement acoustique** : compte tenu de la faible épaisseur des ouvrages courants fonctionnant en paroi simple, la masse surfacique qui est également faible ne permet qu'un isolement médiocre (tableau 5) ; il n'y a d'ailleurs pas, pour le logement, d'exigence réglementaire en la matière et il convient, si l'on veut améliorer le confort à l'intérieur du logement, de compter plutôt sur la disposition des pièces, la présence de dégagements, placards formant sas... À noter l'influence de ces cloisons, du fait de leur principe de liaison à la structure, par leur effet de rayonnement : les cloisons en plaques de parement en plâtre sont de ce point de vue moins critiques que les cloisons de type maçonnées (briques plâtrières ou planelles en béton enduites, carreaux de plâtre). Il n'y a pas non plus d'exigence en matière de **sécurité incendie** dans le logement : les performances de ces cloisons de ce point de vue et pour d'autres usages que le logement sont cependant relativement élevées à concurrence de la proportion de plâtre qu'elles contiennent (tableau 6).

Les cloisons de doublage participent (comme on l'a vu au § 1.3) à la résistance à la pénétration de la pluie ; elles participent également à l'**isolation thermique et acoustique** du mur doublé (tableaux 5 et 6).

Il est cependant possible d'obtenir des performances acoustiques relativement élevées pour ces parois en combinant vide de construction et amortissement de ce vide avec un matelas isolant spécifique (voir tableau 6 sur les parois séparatives légères).

2.2 Cloisons en briques creuses de terre cuite, blocs de béton ou de béton cellulaire autoclavé

2.2.1 Semelle résiliente

Lorsque les cloisons en briques creuses sont mises en œuvre entre deux planchers, ou entre un dallage et un plancher, il est nécessaire d'interposer, entre la base de la cloison et l'ouvrage de gros œuvre qui lui sert de support, une semelle en matériau résilient permettant, par son élasticité propre, d'éviter la mise en charge excessive de la maçonnerie de briques (figure 10).

Tableau 5 – Caractéristiques des cloisons à base de plâtre

Type de cloison	Épaisseur (mm)	Masse surfacique (kg/m ²)	Indice d'affaiblissement acoustique <i>R</i> (dB (A))	Résistance thermique utile (m ² · °C/W)	Degré coupe-feu CF
Carreaux de plâtre	50 60 70 100	45 à 50 55 à 60 63 à 70 90 à 100	32 33 34 38	0,14 0,17 0,20 0,29	2 h 2 h 3 h 6 h bande résiliente en pied ou en tête
Brique plâtrière 5 cm enduit 2 faces	70	70	35	0,16	1 h

Tableau 6 – Cloisons à base de plaques de parement en plâtre

Tableau 6 – Cloisons à base de plaques de parement en plâtre										
Système et épaisseur	Hauteur limite d'emploi		Composition	Masse surfacique	Indice d'affaiblissement acoustique <i>R</i>		Résistance thermique utile		Classement de résistance au feu CF-PF	
	(m)				(kg/m ²)	(dB (A))		(m ² · °C/W)		
Cloisons distributives										
Panneaux en plaques sur réseau :										
50 mm	2,50		BA 10 + Réseau + BA 10	17	31		0,30		0 h 15	
60 mm	3,00		BA 10 + Réseau + BA 10	17	31		0,30		0 h 15	
72 mm	3,20 (3,60)		BA 13 + Réseau + BA 13	21	33		0,30		0 h 30	
Plaques épaisses :.50 mm 72 mm 100 mm					Sans isolant	Avec isolant	Sans isolant	Avec isolant	1 h 1 h 30 1 h 30	
					34		0,13			
					32	38	0,22	0,60		
					42	48	0,24	0,77		
Plaques sur ossature :72 mm 100 mm 120 mm 130 mm 98 mm 120 mm 140 mm 150 mm	Montants		BA 13 + Oss48 + BA 13 BA 15 + Oss70 + BA 10 BA 15 + Oss70 + BA 15 BA 15 + Oss100 + BA 15 2BA 13 + Oss48 + 2BA 13 2BA 13 + Oss70 + 2BA 13 2BA 13 + Oss90 + 2BA 13 2BA 13 + Oss90 + 2BA 13	22 26 26 27 42 43 43 47	Isolant		Isolant		Parement	
	0,60	0,40			Sans	Avec	Sans	Avec	Plaque standard	Plaque feu
	2,60	3,00			36	42	0,24	1,08	0 h 30	1 h
	3,40	3,70			38	45	0,24	1,24	0 h 30	1 h
	3,85	4,25								
	4,00	4,45								
	3,00	3,60			43	49	0,32	1,16	1 h	1 h 30
	4,00	4,40								
	4,60	5,10			47	52	0,32	1,32	1 h	1 h 30
	4,75	5,25								
Cloisons séparatives										
Plaques épaisses : 98 mm	3,00		2BD25 + Vide25 + 1BD25	60	52		0,69		2 h	
140 mm	3,00		BA 10 + BD25 + Vide20 + BD25 + BA 10	68	63		1,42		2 h	
169 mm	3,00		BA 13 + BD25 + Vide94 + BD25 + BA 10	74	67		3,15		2 h	
Plaques sur ossature métallique :160 mm 180 mm 200 mm 225 mm	Ossature		2BA 13 + 2Oss70 + 2BA 13 2BA 13 + 2Oss90 + 2BA 13 2BA 13 + 2Oss100 + 2BA 13 2BA 15 + 1BA 13 + 2Oss70 + 2BA 15 + 1BA 13	46 46 46 70	50 62 63 69		1,32 1,32 1,32		1 h 30 1 h 30 1 h 30 1 h 30	
	3,10	3,70								
	3,60	4,20								
	3,80	4,50								
	3,10	3,10								
BA : bord aminci BD : bord droit Oss : ossature Exemple BA 10 : bord aminci, épaisseur 10 mm.										

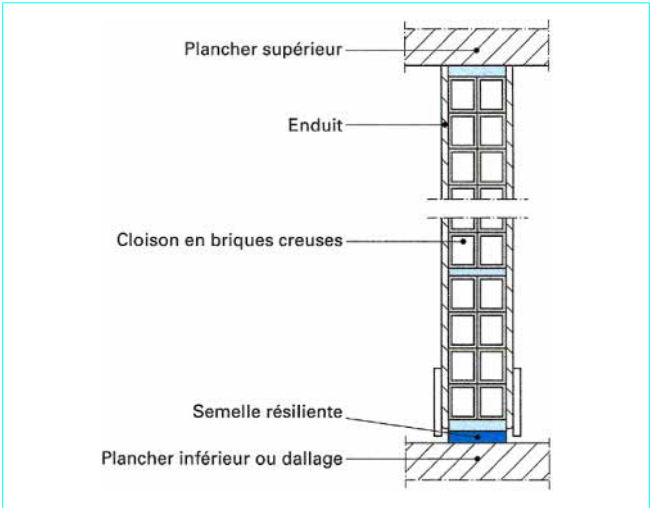


Figure 10 – Semelle résiliente

Il en résulte que la semelle résiliente n’est pas obligatoire lorsque la cloison n’est pas bloquée en tête sous un plancher et lorsqu’elle repose sur un ouvrage peu déformable ; par contre, même en l’absence de blocage en tête, la semelle peut se justifier lorsque la cloison repose sur un ouvrage flexible dont il s’agit d’absorber une partie des déformations.

L’épaisseur de cette semelle est fonction du matériau qui la constitue mais elle ne peut en aucun cas être inférieure à 10 mm.

Toutefois, dans le cas où, en plus de la semelle résiliente, il est disposé une lisse résiliente en partie supérieure de la cloison, cette épaisseur minimale s’applique à la somme des épaisseurs des deux éléments résilients.

2.2.2 Dimensions et limites d’emploi des cloisons de distribution et de doublage

Les épaisseurs minimales brutes des cloisons de doublage entre éléments raidisseurs (cloisons perpendiculaires, retour de la cloison ou poteaux d’inertie, de résistance suffisante pour pouvoir jouer le rôle de raidisseurs) sont indiquées dans le tableau 7.

Les hauteurs maximales indiquées peuvent être dépassées si la distance entre éléments raidisseurs est telle que la surface de la cloison entre raidisseurs ne dépasse pas les valeurs indiquées dans le tableau 7.

2.2.3 Dispositions complémentaires résultant de la nature des enduits (cas des briques plâtrières seulement)

Lorsque les cloisons sont constituées de briques creuses comportant une seule rangée verticale d’alvéoles :

- si elles sont enduites sur les deux faces, les enduits doivent être de même composition sur chaque face ;
- si elles sont enduites sur une seule face (cas des doublages), l’enduit doit être en plâtre ; en effet, un enduit en plâtre exécuté sur une face et un enduit au mortier de liants hydrauliques sur l’autre face amorcent les déformations des cloisons et favorisent le flambage.

S’il n’en est pas ainsi, il convient de renforcer la cloison brute : briques à deux rangées verticales d’alvéoles et d’épaisseur minimale brute de 7 cm.

Dans le cas de cloison de doublage on peut aussi disposer des attaches à mi-hauteur, tous les mètres environ pour s’opposer au flambage.

2.2.4 Règles particulières applicables aux cloisons en surplomb

Lorsque les ouvrages de cloisons sont implantés en rive de plancher et se trouvent en surplomb d’une hauteur voisine de celle d’un étage (cage d’escalier, cloison délimitant des espaces à niveaux décalés, etc.), pour lesquels le risque pour l’occupant est évidemment plus élevé que dans le cas de cloison délimitant des locaux de même niveau, la résistance aux chocs est renforcée en augmentant l’épaisseur minimale portée à 5 cm pour la brique creuse ou le bloc en béton, 7 cm pour le béton cellulaire.

Ces épaisseurs permettent de satisfaire l’exigence de sécurité sous l’action de chocs d’énergie 400 J (corps de chocs de 50 kg, sphéro-conique, hauteur de chute 0,80 m) appliqués en leur centre (les cloisons ne sont ni traversées, ni rompues, ni détériorées de façon dangereuse pour l’occupant).

Tableau 7 – Dimensions et limites d’emploi des cloisons en briques creuses de terre cuite, blocs de béton ou de béton cellulaire autoclavé [d’après DTU 20.1]			
Épaisseur brute de la cloison (cm)	Hauteur maximale (1) (m)	Distance horizontale maximale entre raidisseurs (m)	Surface maximale entre éléments raidisseurs (m ²)
Briques creuses de terre cuite et blocs en béton			
3,5	2,60	5,00	10
4 à 5,5	3,00	6,00	14
6 à 7,5	3,50	7,00	20
8 à 11	4,00	8,00	25
Blocs en béton cellulaire autoclavé			
7,0 et 7,5	2,60	5,00	10
10,0	3,20	6,00	15
12,5	3,80	7,00	20

(1) Pour les cloisons sous rampant, ces valeurs s’appliquent à la hauteur moyenne.

Les liaisons en périphérie avec le gros œuvre doivent être adaptées, notamment en pied, du fait de la nécessité de réaliser une fixation efficace et durable à proximité de la rive du plancher (figure 11).

2.3 Cloisons en matières autres que les briques creuses de terre cuite et les blocs de béton

Les dispositions constructives à respecter pour assurer la stabilité transversale et éviter une mise en charge excessive des cloisons par les mouvements du gros œuvre sont définies par les documents suivants :

- DTU 25.31 pour les carreaux de plâtre à parement lisses (tableau 8) ;
- DTU 25.41 pour les cloisons ou plaques de parement en plâtre sur ossature (tableau 9) ;
- DTU 36.1 pour les cloisons ou contre-murs en menuiserie traditionnelle ;
- avis technique correspondant au système utilisé (tableau 10) pour les cloisons ou contre-murs relevant d'un avis technique.

Tableau 8 – Dimensions et limites d'emploi des cloisons en carreaux de plâtre [d'après DTU 25.31]

Épaisseur de la cloison (mm)	Hauteur maximale (m)	Distance horizontale maximale entre éléments raidisseurs (poteau, paroi perpendiculaire ou retour de cloison) (m)
50 et 60	2,60	5,00
70	3,00	6,00
100 et au-delà	4,00	8,00

Tableau 9 – Hauteur limite des plaques de parement en plâtre sur ossature [d'après DTU 25.41]

Entre-axes (mm)	Parement simple (cloison de 72 mm)	Parement double (cloison de 98 mm)
0,60	2,60 m	3,00 m
0,40	2,80 m	3,30 m

Tableau 10 – Hauteur limite des panneaux en plaques sur réseau carton (avis technique)

Épaisseur de la cloison (mm)	Hauteur maximale (m)
50 (parements BA 10)	2,60
60 (parements BA 10 ou 15)	3,00
72 (parements BA 13 ou 15) (1)	3,20

BA : bord aminci.

(1) Les panneaux de 72 mm peuvent être utilisés jusqu'à 3,60 m de hauteur lorsque la distance maximale entre raidisseurs dans la cloison considérée ne dépasse pas trois panneaux.

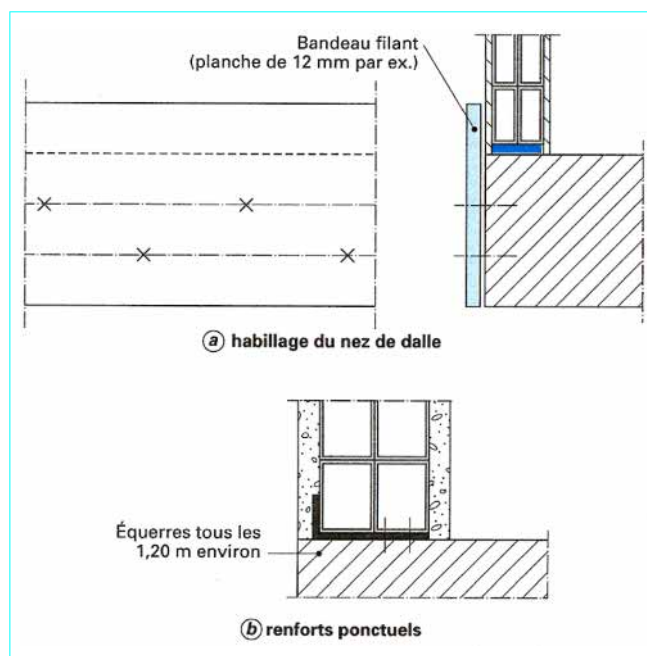


Figure 11 – Cloisons en surplomb. Renforts en pied

Parmi les dispositions définies dans ces textes, on peut citer l'obligation de placer des bandes résilientes en tête des cloisons en carreaux de plâtre, c'est-à-dire dans une position qui certes complique l'exécution, mais qui a toute chance d'être d'une meilleure efficacité, puisque continues sur tout le développé de l'ouvrage et non interrompues par les montants d' huisserie si elles se trouvaient disposées en pied des cloisons.

Les dispositions relatives aux cloisons en surplomb (exigence de sécurité aux chocs portée à 400 J et liaisons en périphérie) sont également applicables à ces autres techniques de cloisons et ont été introduites dans les documents correspondants (DTU ou avis techniques).

2.4 Cloisons séparatives légères

Ces systèmes, directement dérivés des techniques utilisées pour les cloisons de distribution, ne peuvent prétendre, du fait de leur constitution, jouer un rôle structural dans la construction (fonction porteuse ou de contreventement) : elles ont à satisfaire leur fonction de partition entre deux logements ou entre un logement et des circulations communes :

- un isolement acoustique satisfaisant la réglementation ;
- un niveau de déformabilité côté opposé aux chocs d'occupation normale, suffisamment faible pour préserver l'intimité des occupants.

Ces exigences doivent être satisfaites pour une durée compatible avec la durée de vie escomptée de la construction, compte tenu des sollicitations d'usage courant (chocs, déformation sous pression répartie due au vent) pour lesquelles les parois ne doivent pas être détériorées (perçement, fissure...).

Les solutions types sont de ce fait doubles parois indépendantes dont l'espace intermédiaire est amorti par un matelas absorbant et dont les liaisons avec le reste du gros œuvre sont adaptées pour atténuer les transmissions indirectes. Les rigidités et résistances aux chocs des deux parois sont par ailleurs adaptées pour satisfaire les exigences d'intimité sous les chocs et la durabilité globale.

3. Murs enterrés

3.1 Murs de sous-sol. Cas particulier des maçonneries utilisées en soubassement

On se reportera aux DTU 12, 13.11, 13.12, 14.1 et à la rubrique *Géotechnique. Mécanique des sols et des roches* de ce traité.

Les particularités sont ici liées à la partie **enterrée** de ces murs.

■ Il convient, de façon générale, de s'assurer au préalable que les **précautions**, ci-après ont été prises :

- les fondations sont conçues de façon à éviter, sous l'action des venues d'eau, les tassements différentiels qui entraîneraient des fissurations susceptibles de compromettre la satisfaction des fonctions de soubassement, notamment d'étanchéité : les fissures correspondantes seraient en effet d'amplitude nettement supérieure à ce que les enduits habituels pourraient supporter ;

- le niveau bas du sous-sol se trouve, en cas de terrain baigné par une nappe phréatique de niveau variable, au-dessus du niveau supérieur que cette dernière pourrait atteindre ;

- en dehors de l'exécution d'un cuvelage, il ne risque pas d'y avoir accumulation, pendant une assez longue durée, des eaux le long des murs périphériques du soubassement, ce qui risque d'être le cas si ces conditions suivantes sont réunies :

- le bâtiment est fondé sur un terrain peu perméable ,
- d'importantes venues d'eau sont susceptibles de survenir (eaux de ruissellement et terrain en pente, eaux circulant dans une nappe située au-dessus de ce terrain) ,
- il n'est pas prévu de réseau de drainage.

■ Exigences d'utilisation des locaux ainsi délimités

On distingue 3 catégories :

- 1^{re} catégorie : aucune trace d'humidité n'est acceptée sur la face intérieure : c'est le cas des locaux habitables situés en sous-sol ;

- 2^e catégorie : des infiltrations limitées peuvent être acceptées : c'est le cas des locaux de types chaufferie, garage, de certaines caves... ;

- 3^e catégorie : le mur n'a d'autre fonction que sa résistance mécanique : c'est le cas des murs de vides sanitaires ou des murs périphériques de terre-plein.

■ Dispositions particulières

Dans le cas où l'étude préalable conduit à l'inutilité d'un drainage (lorsque le bâtiment est fondé sur un terrain perméable), seuls les murs de catégorie 1 doivent être revêtus extérieurement (enduit en mortier et éventuellement produits noirs, mais en aucun cas ces derniers seuls).

Dans le cas où le drainage est prévu (et réalisé), il doit être mis en place sur les murs de catégorie 1 un système permettant d'éviter l'apparition d'humidité sur la face intérieure (membrane appliquée sur enduit de dressage ou systèmes de drains verticaux en liaison avec le drainage horizontal) ; pour les murs de catégorie 2 le système à mettre en place dépend des exigences d'occupation des locaux délimités.

Il est rappelé qu'un drainage, pour être efficace, doit pouvoir évacuer de manière effective les eaux collectées (voir paragraphe 5 Annexe 2 relative aux regards d'eaux pluviales et réseaux de drainage extrait du DTU 20.1 *Règles de calcul et dispositions constructives minimales* à la fin de cet article).

3.2 Murs de soutènement

3.2.1 Définition. Terminologie

On désigne par murs de soutènement les ouvrages verticaux réalisés pour s'opposer à la poussée des terres et les contenir ; ces ouvrages appartiennent à deux catégories bien distinctes par leur fonctionnement :

- les **murs intégrés à une construction** qui délimitent les sous-sols enterrés (cf. § 3.1 sur les problèmes liés à la présence d'eau) ; ces ouvrages de murs doivent leur stabilité au fait qu'ils sont maintenus en tête par le plancher supérieur du sous-sol (figure 12) et le plus souvent par des appuis verticaux sur des murs perpendiculaires (refend ou pignons) ;

- les **murs le plus souvent indépendants de toute construction**, même s'ils sont parfois accolés à un bâtiment, et donc prévus « autostables », sauf cas, il est vrai peu fréquent dans le domaine du bâtiment, où, ils se trouvent maintenus par des tirants d'ancrage (figure 13) ; on distingue dans cette catégorie :

- les **murs-poids** (figure 14) fonctionnant par leur masse et constitués d'une paroi en maçonnerie ou en béton fondée sur une semelle en béton non armé ou faiblement armé ; à cette catégorie on rattache les murs en petits éléments simplement empilés, pleins ou creux ; le blocage de l'un à l'autre se faisant par redent ou simple frottement ; si elles sont creuses les alvéoles sont remplies de terre végétale et peuvent servir de bacs à végétation décorative ,

- les **murs lestés** (figure 15) qui utilisent le poids de la terre sur la partie amont de la semelle comme élément complémentaire de stabilité.

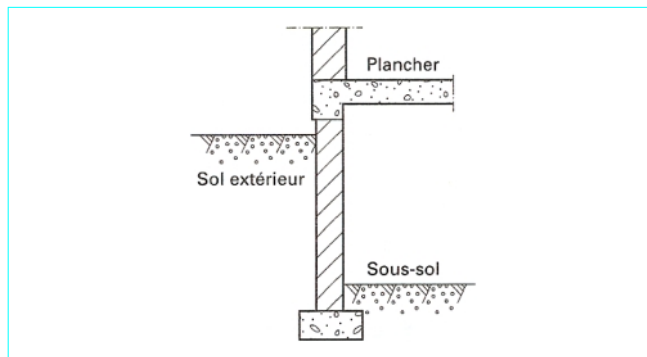


Figure 12 – Mur périphérique de sous-sol formant soutènement des terres

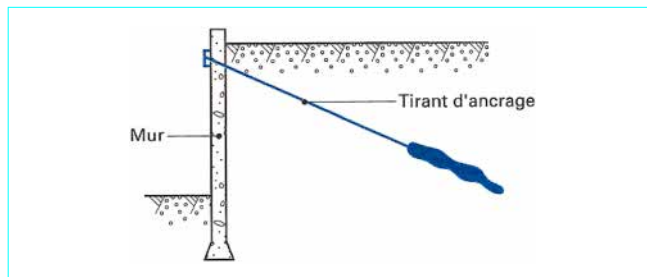


Figure 13 – Paroi de soutènement en béton maintenue par des tirants d'ancrage

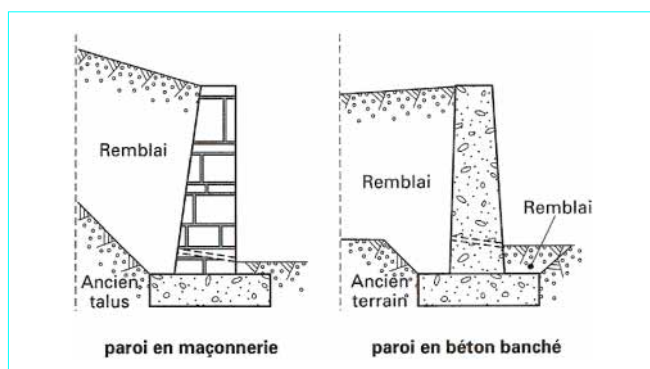


Figure 14 – Exemples de murs-poids

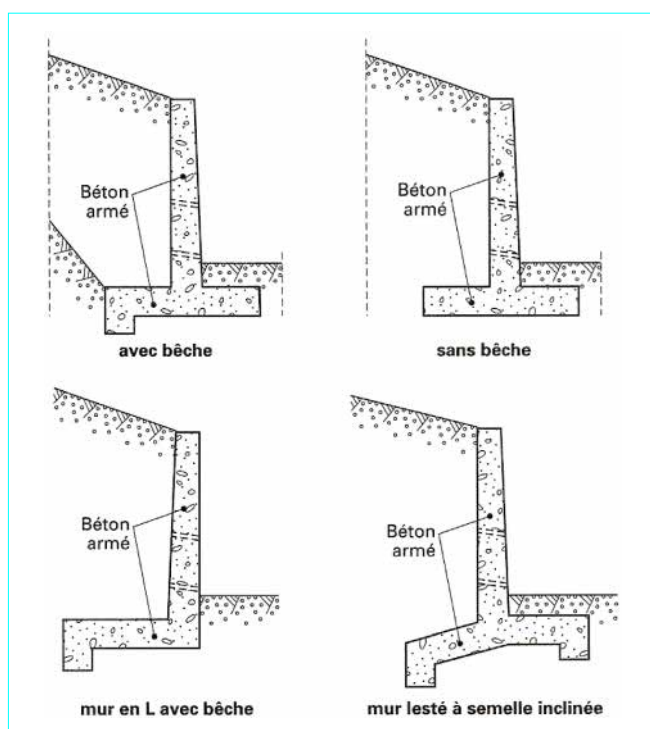


Figure 15 – Exemples de murs lestés en béton armé

D'une façon générale, en ce qui concerne les murs de sous-sol, qui dans le passé ont posé des problèmes lors de remblaiement sans précaution notamment du fait d'actions mal contrôlées sur le remblai proprement dit ou de l'engin utilisé dans ce cas, le fait qu'ils soient liés au reste de la construction atténue le risque de désordre grave. Par contre, le risque présenté par les murs indépendants est important, d'autant que beaucoup de constructeurs n'en ont pas conscience et, par suite, ne prennent pas les dispositions décrites au paragraphe 3.2.2.

Les murs lestés sont le plus souvent des ouvrages en béton armé, et l'on ne considérera ici que les ouvrages courants de soutènement en petits éléments en maçonnerie ou par petits éléments empilés, les grands ouvrages de soutènement relevant plutôt du génie civil et nécessitant, outre les vérifications selon les mêmes principes que ceux énoncés au paragraphe 3.2.2, une véritable étude géotechnique menée au préalable.

3.2.2 Dispositions relatives aux calculs et vérifications. Dispositions constructives vis-à-vis de l'action de l'eau

Comme on l'a vu précédemment, on doit avoir à l'esprit que ce type d'ouvrage présente des risques particuliers ; il est donc impératif que les murs de soutènement fassent l'objet d'une étude tant pour la détermination des forces agissantes que pour la vérification de la stabilité de l'ouvrage (cf. DTU 12, 13.11, 13.12, 14.1 et à la rubrique *Géotechniques. Mécaniques des sols et des roches* de ce traité).

Forces agissantes

Elles sont de trois sortes :

- la **poussée des terres** en prenant les hypothèses les plus défavorables : prise en compte de l'humidité des terres d'une part, et absence de butée du côté aval du mur d'autre part ;
- les diverses **charges d'exploitation** applicables aux terres soutenues : charges de stockage, circulation de véhicules ;
- la **poussée hydrostatique** : de ce point de vue, l'expérience et la pathologie sur le sujet l'a largement mis en évidence, un mur calculé pour la seule poussée des terres sera incapable de résister à des poussées hydrostatiques. Or si l'on voulait prendre en compte à la fois la poussée des terres, les charges d'exploitation et l'eau, on aboutirait, pour des murs de soutènement autostables, à des ouvrages énormes. Il convient donc, pour des raisons de réalisme économique, d'éviter l'accumulation de l'eau en amont du mur et de prendre cependant en compte l'action additionnelle due à ce que l'on nomme la pression de courant résultant de la circulation de l'eau à travers l'ouvrage et qui vient s'ajouter à la poussée des terres.

Vérification de la stabilité

Cette partie de l'étude comporte quatre phases principales :

- la résistance mécanique du mur proprement dit ;
- sa stabilité au renversement ;
- sa stabilité au glissement sur le sol d'assise ;
- sa stabilité au sol d'assise lui-même ainsi qu'éventuellement une vérification d'ensemble de l'équilibre général mur et terrain soutenu : cela concerne l'analyse du risque de rupture profonde entraînant un grand glissement circulaire (figure 16).

La démarche précédente est suffisante pour ce que l'on peut appeler les **murs courants** (figure 17), selon la définition donnée par L. Logeais [20].

Un mur est dit « courant » lorsque les sept conditions ci-après sont simultanément réunies :

- la hauteur H du soutènement est inférieure ou égale à 4 m ;
- la pente du terrain soutenu au-dessus de l'horizontale ne dépasse pas 10 % ;
- les charges d'exploitation sur les terres soutenues sont au plus égales à 175 daN/m² ;
- le remblaiement derrière le mur est effectué uniquement avec des matériaux perméables (sables propres, mélanges de sables et graviers, tout-venant, ballast ou déblais rocheux, tous ces matériaux ne comportant qu'un faible pourcentage de fines), les remblais argileux étant exclus ;
- le terrain d'assise est sensiblement horizontal et n'est constitué ni d'argile molle, ni de vase, ni de tourbe, ni de sols compressibles ;
- il existe un dispositif d'évacuation des eaux amont. Ce dispositif (barbacanes, filtre) est décrit ci-après ;
- des dispositions sont prises pour éloigner des fondations du mur les eaux qui peuvent franchir l'ouvrage ou s'évacuer par les barbacanes (cf. paragraphe 5 Annexe 2 à la fin de cet article).

Tous les murs ne répondant pas simultanément à ces sept conditions sont considérés comme « non courants », et doivent faire l'objet de justifications.

Quant aux murs courants, il est possible de leur donner des dimensions empiriques, qui sont indiquées sur la figure 18.

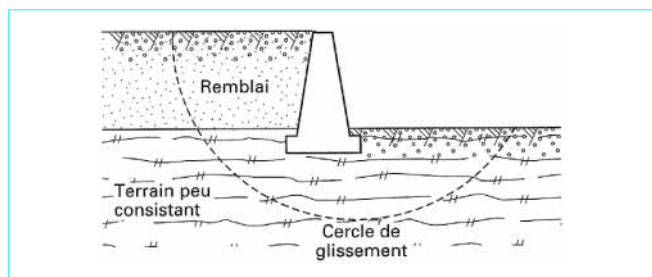


Figure 16 – Mécanisme d'un grand glissement par rupture profonde

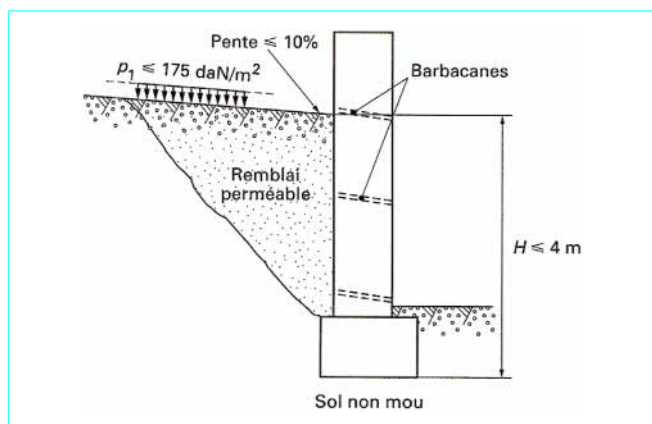


Figure 17 – Exemple de mur courant

Ce qui a été dit concernant les poussées hydrostatiques suppose que les dispositions constructives soient prises pour les éviter : on peut à cet effet soit **collecter l'eau et l'évacuer**, soit **l'empêcher d'arriver** jusqu'au mur, soit enfin combiner les deux.

● 1^{re} disposition

— Lorsqu'il est possible d'évacuer l'eau à travers le mur (il peut en effet exister des contraintes de voisinage), il convient de disposer dans le mur des orifices d'évacuation : les barbacanes (figure 19) ; faute de pouvoir les calculer, leur section et répartition doivent conduire à un dimensionnement large de leur débit :

- section totale d'au moins le 1/500^e de la surface du mur ;
- au moins une barbacane pour 4 m², soit par exemple : tuyaux de diamètre supérieure à 100 mm disposés selon une maille de 1,5 à 2 m de côté.

Si le remblai est perméable les barbacanes sont suffisantes ; dans le cas contraire (remblai à grains fins), le mur n'est plus courant et il faut alors collecter les eaux : drains, bandes épaisses de matériaux filtrant non tissé, bandes de géotextile (figure 20).

— Si l'eau doit impérativement être collectée en amont du mur, la disposition d'un drain (figure 21) doit s'accompagner de la mise en place de dispositifs de surveillance (regards) afin de détecter à temps tout colmatage éventuel (voir paragraphe 5 Annexe 2, à la fin de cet article, relative au drainage). Afin de limiter, les risques qui augmentent avec le pourcentage d'éléments fins du terrain soutenu, il convient :

- de prévoir à la fois drain et barbacanes s'il s'agit de terrain à éléments fins ;
- de prévoir un drain de débit plus largement dimensionné s'il s'agit de terrain argileux.

Le remblaiement à l'aide de matériaux perméables est à conseiller car :

- il diminue les poussées ;
- il facilite l'évacuation de l'eau ;

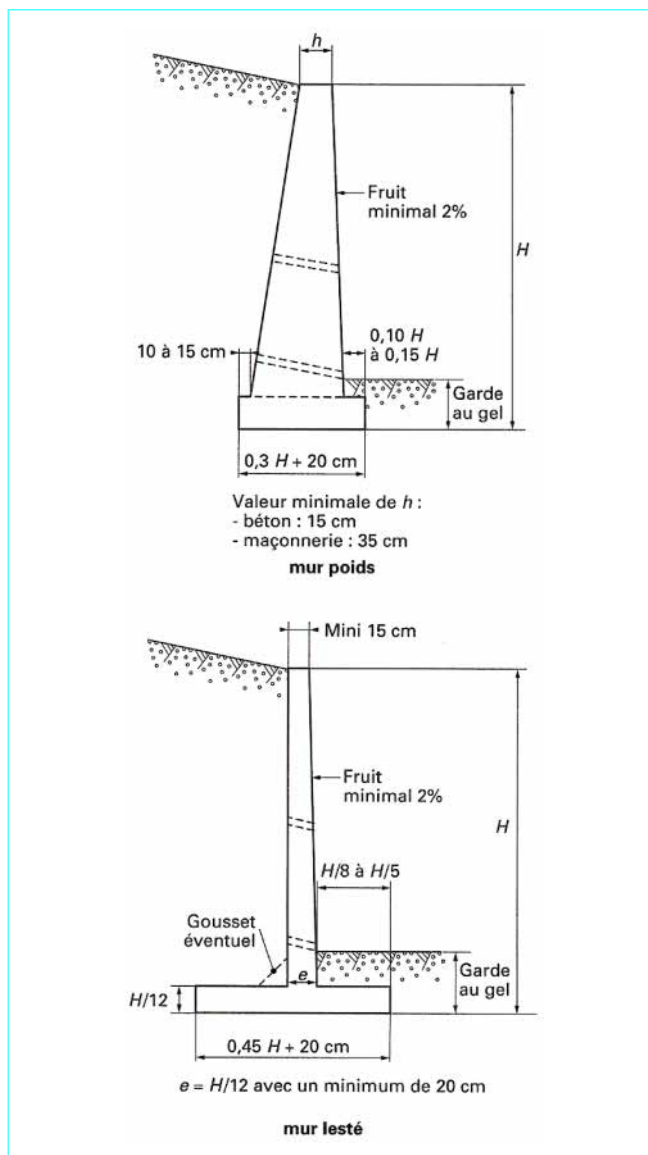


Figure 18 – Dimensions usuelles des murs courants

— il limite les risques de gel du terrain soutenu, au voisinage du mur.

● 2^e disposition

Afin de ne pas dépasser les possibilités des dispositifs d'évacuation, en cas d'obstruction des orifices ou de précipitations violentes et répétées, il y a toujours intérêt à réaliser, surtout sur les terrains en pente, des revêtements peu perméables sur le talus amont (figure 22).

Il convient simultanément de protéger le terrain d'assise, en aval, par un revêtement étanche en légère pente éloignant les eaux de ruissellement de la fondation du mur.

En effet, il existe un risque d'affouillement du terrain d'assise ou de ramollissement de ce dernier qui pourrait affecter la stabilité du mur.

Il est rappelé que l'on doit, pour éviter le gel du sol de fondation, respecter une « garde au gel » correspondant à la région où l'ouvrage se trouve implanté.

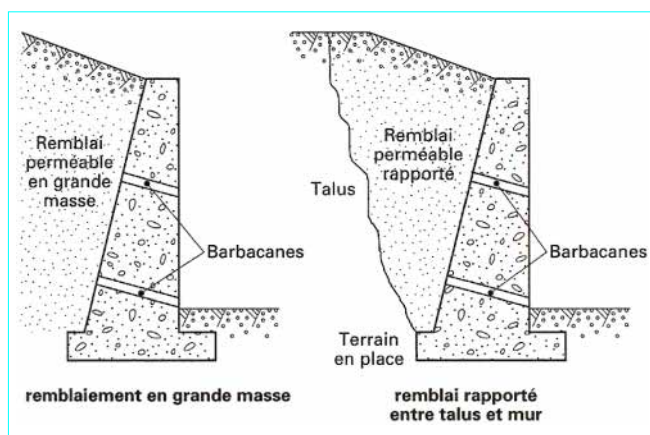


Figure 19 – Évacuation de l'eau par barbacane. Terrain perméable

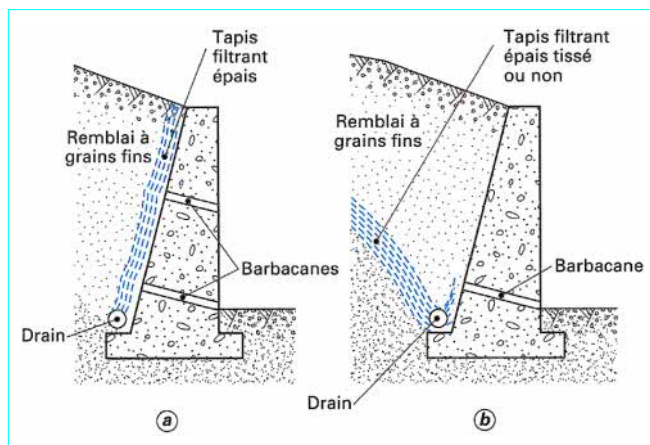


Figure 20 – Évacuation de l'eau par barbacane. Terrain à grains fins

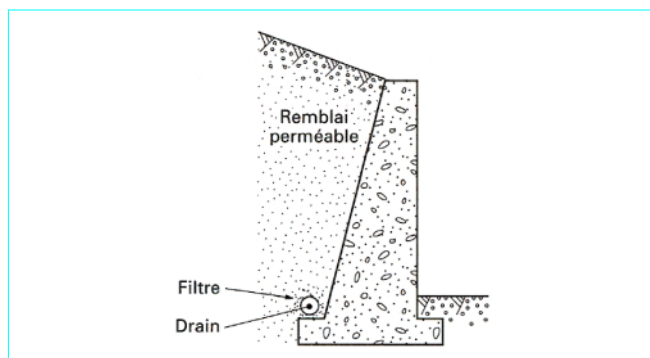


Figure 21 – Collecte des eaux par drain

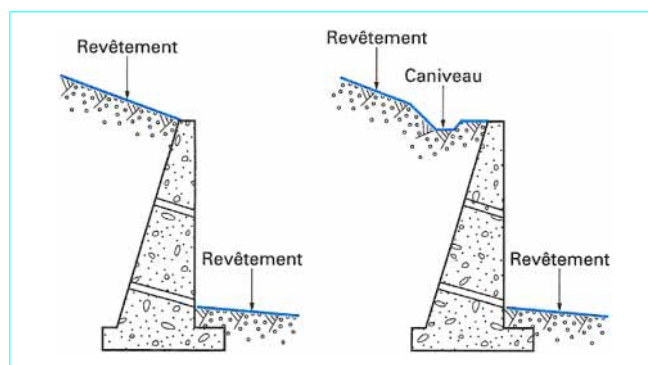


Figure 22 – Revêtement complémentaire sur talus amont

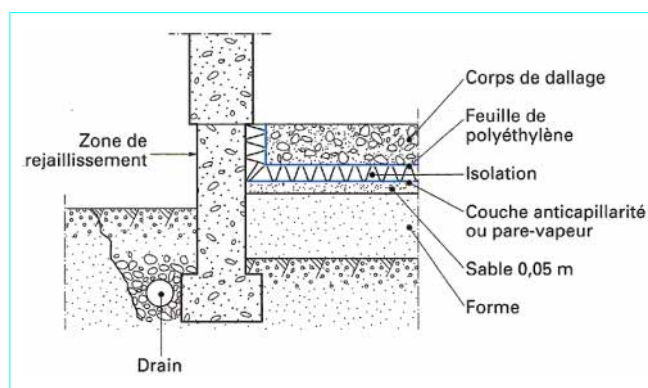


Figure 23 – Dallage avec couche d'isolation

3.3 Jonction avec les dallages sur terre-plein

Il est rappelé que ce type d'ouvrage (figure 23) est constitué d'une forme disposée directement sur le sol, d'épaisseur telle que la construction se trouve à l'abri des venues d'eau, surmontée d'un corps de dallage supportant le revêtement de sol éventuel. Entre ces deux parties principales sont interposées du bas vers le haut :

- une couche de sable évitant le poinçonnement de la barrière ci-après ;
- une barrière anti-capillarité (et pare-vapeur en cas d'isolant) constituée, par exemple, d'une feuille de polyéthylène de 150 μm d'épaisseur ;
- la couche d'isolation thermique éventuelle ;
- une feuille de polyéthylène interposée avant coulage du béton du corps de dallage sur l'isolant.

Le corps du dallage est :

- soit indépendant des murs (figure 24) (cas notamment des maçonneries lourdes) ;
- soit lié aux bèches périphériques (cas des maçonneries légères) ; il est alors renforcé à la périphérie et au droit des murs de refend (figure 25) par des nappes d'armatures structurales différentes de celles disposées pour limiter les effets du retrait.

En cas de dallage indépendant, celui-ci est bordé, à sa périphérie, par des bèches descendant jusqu'aux fondations (semelle ou longrine sur plots) également implantées sous les murs de refend (figure 24).

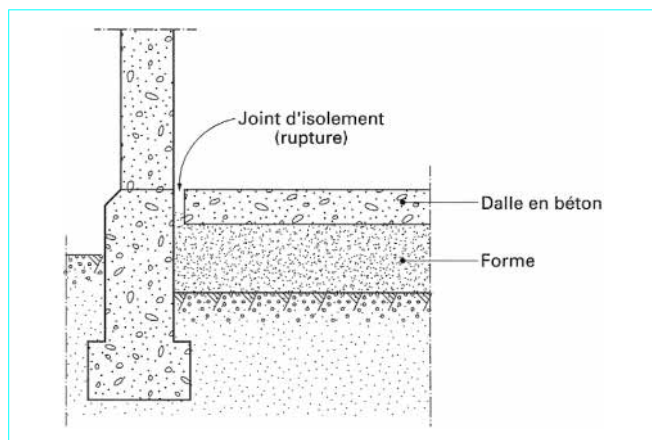


Figure 24 – Corps de dallage indépendant

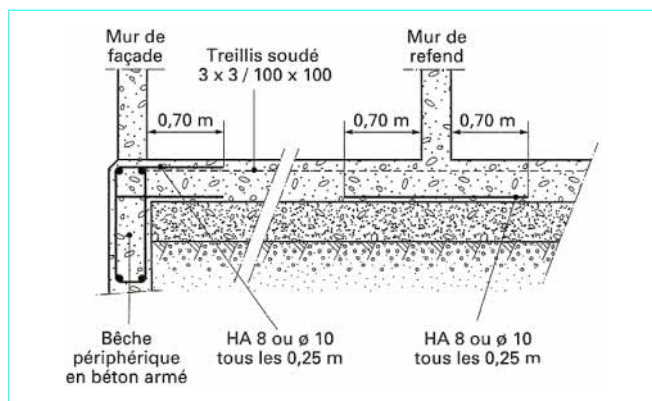


Figure 25 – Armatures de dallage supportant murs de façade et de refend

Cela suppose que les dispositions ont été prises pour éviter les venues d'eau importantes ou prolongées : implantations hors zones inondables et niveau du dallage au-dessus du niveau des plus hautes eaux de la nappe phréatique.

4. Annexe 1 : éléments pris en compte dans la définition de l'exposition des murs à la pluie et au vent

Cette annexe est extraite du Guide de choix du DTU 20.1 Maçonnerie.

4.1 Situation de la construction

On distingue quatre situations :

- a) constructions situées à l'intérieur des grands centres urbains (villes où la moitié au moins des bâtiments ont plus de 4 niveaux) ;
- b) constructions situées dans les villes petites et moyennes ou à la périphérie des grands centres urbains ;
- c) constructions isolées en rase campagne ;

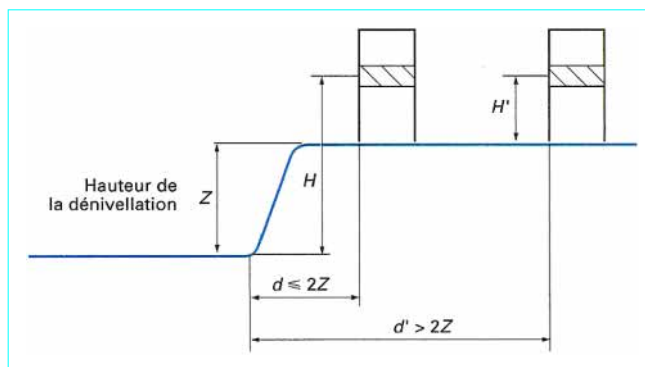


Figure 26 – Hauteur de la paroi au-dessus du sol

d) constructions isolées en bord de mer ou situées dans les villes côtières, lorsque ces constructions sont à une distance du littoral inférieure à une limite à fixer en fonction des conditions climatiques locales et de leur hauteur réelle. Cette limite qui doit, dans les meilleures conditions, être au moins égale à 15 fois la hauteur réelle du bâtiment au-dessus du sol peut, dans les zones ou régions particulièrement exposées, telles les zones non abritées du littoral de l'ouest et du nord de la France ou du golfe du Lion, atteindre 5 à 10 km.

4.2 Hauteur de la paroi au-dessus du sol

On distingue, de ce point de vue, les parois dont la partie supérieure, à une hauteur d'étage près, se situe :

- à moins de 6 m au-dessus du sol ;
- entre 6 et 18 m ;
- entre 18 et 28 m ;
- entre 28 et 50 m ;
- entre 50 et 100 m.

Les bâtiments de plus de 100 m de hauteur sont à étudier cas par cas.

Lorsque la construction est située au-dessus d'une dénivellation de pente moyenne supérieure à 1, la hauteur au-dessus du sol doit être comptée à partir du pied de la dénivellation, sauf si la construction est située à une distance de celle-ci supérieure à deux fois la hauteur de cette dénivellation, tel qu'illustré sur l'exemple de la figure 26.

4.3 Présence ou absence d'une protection contre le vent de pluie (effet de masque)

Les façades sont classées en deux catégories :

- les façades abritées ;
- les façades non abritées.

4.3.1 Façades abritées

Une façade (ou une partie de façade) ne peut être considérée comme abritée que si elle répond simultanément aux deux conditions suivantes :

- sa hauteur au-dessus du sol ne dépasse pas 28 m. Une façade située à plus de 28 m au-dessus du sol ne peut être considérée comme abritée que tout à fait exceptionnellement et sur justification ;
- elle se trouve dans l'un des trois cas explicités ci-après :

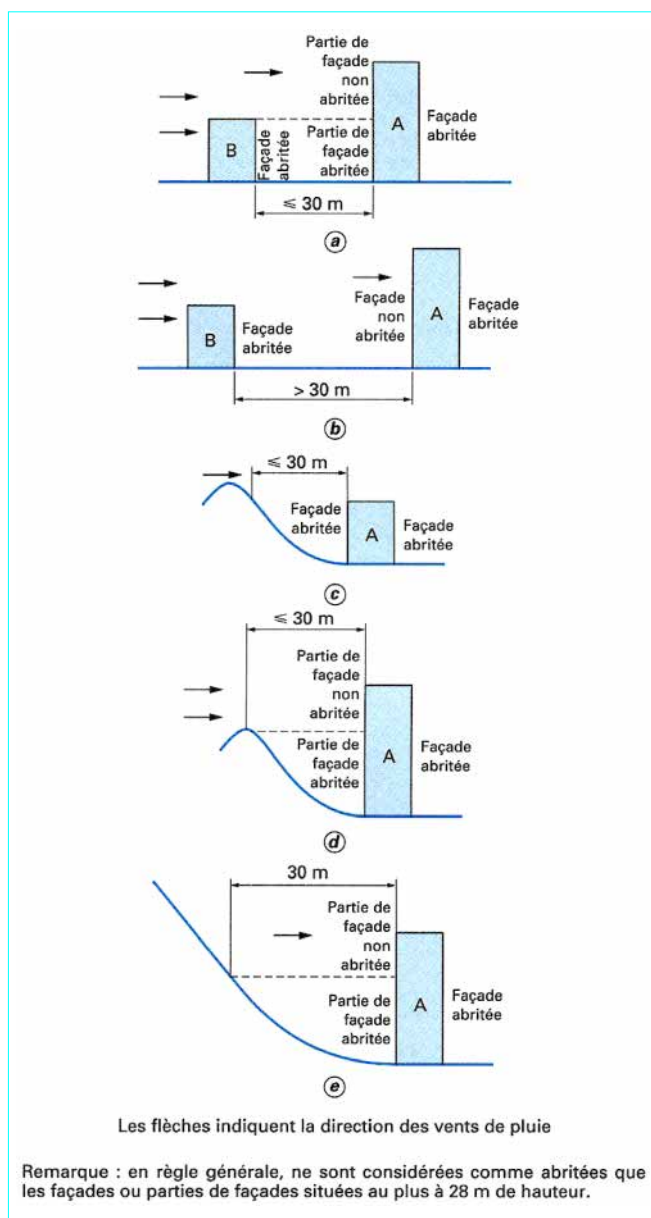


Figure 27 – Façades abritées

1) façades opposées à la direction des vents de pluie, dans les régions où ceux-ci ont une direction bien déterminée ,

2) façades donnant sur rue (la notion de rue supposant la continuité des constructions en bordure) ou sur une courette qui, bien qu'elles soient situées face à la direction des vents de pluie, sont protégées de ceux-ci par des constructions placées en vis-à-vis et situées au plus à 30 m. Dans ce cas, seule est considérée comme abritée la partie de façade située à une hauteur au plus égale à celle de la construction placée en vis-à-vis (figure 27a) ce qui n'est plus le cas lorsque la distance entre bâtiments excède 30 m (figure 27b) ,

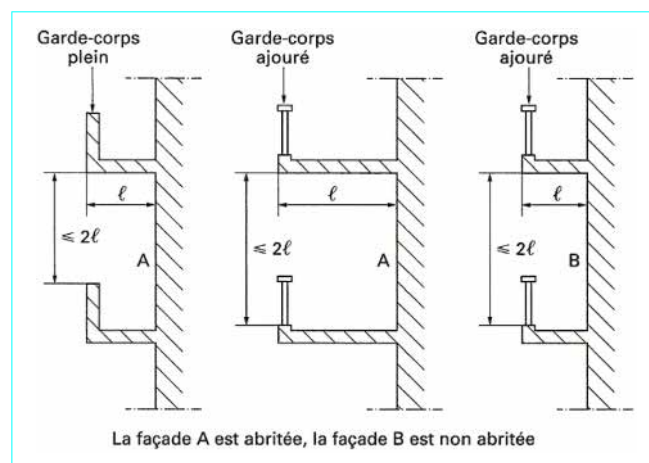


Figure 28 – Façades avec balcons continus ou loggias

3) façades ou parties de façades qui, bien qu'elles soient situées face à la direction des vents de pluie, sont protégées de ceux-ci par les reliefs naturels, pour autant que leur pérennité puisse être garantie et que les conditions de distance et de hauteur mentionnées en 2 ci-dessus soient respectées (figures 27c, d et e).

● Cas particulier des parties de façades comportant des balcons continus ou des loggias

Les parties de façades situées en fond de balcon ou de loggia et orientées face à la direction des vents de pluie peuvent être considérées comme abritées lorsqu'elles respectent les dispositions de la figure 28, sauf si elles se trouvent :

- en front de mer ;
- à plus de 18 m de hauteur, dans les autres cas.

4.3.2 Façades non abritées

Les façades ne répondant pas aux conditions fixées pour les façades abritées sont réputées non abritées, cas notamment des façades situées à plus de 28 m.

5. Annexe 2 : relative aux drainages

L'importance de l'action de l'eau vis-à-vis de l'exigence d'étanchéité des parois de sous-sol enterrées ou encore de la stabilité des murs de soutènement souligne l'attention qu'il faut porter à la réalisation des drainages au voisinage des constructions.

Pour le détail des dispositions relatives à la conception et à la réalisation des ouvrages associés aux maçonneries enterrées on pourra utilement se reporter à l'annexe au fascicule « Règles de calcul et dispositions constructives minimales » du DTU 20.1.

Il est cependant indiqué ici les principaux points qu'il convient de prendre en compte à cet effet :

- la nature des terrains de fondation et celles des remblais entre fouille et construction ou en amont du mur de soutènement (figure 29) ;

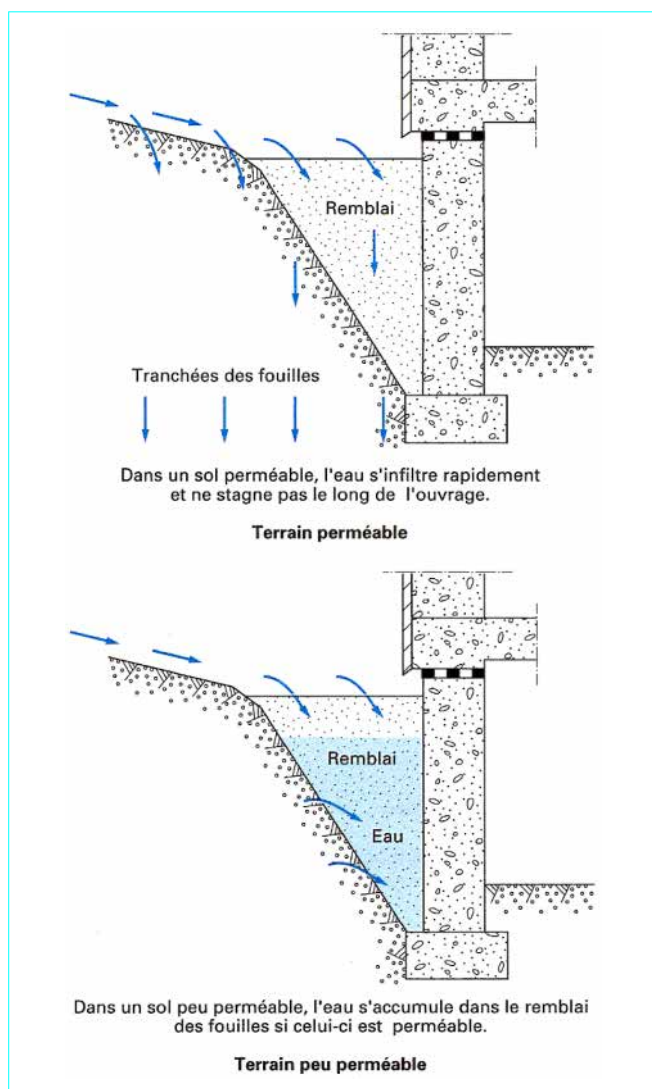


Figure 29 – Nature des terrains de fondation

- la présence de nappe phréatique (faisabilité d'une solution de drainage) ;
- la possibilité d'évacuation des eaux collectées sans laquelle la mise en place d'un drainage est illusoire ;
- le relief du terrain ainsi que le nombre et la densité des bâtiments implantés sur celui-ci (voir figures 30 et 31), ce qui montre à l'évidence l'utilité d'une étude au cas par cas ;
- la conception de la tranchée drainante (figure 32) et l'implantation des drains, des regards permettent de surveiller les colmatages éventuels, la collecte et l'évacuation des eaux drainées (figure 33).

Le nombre élevé des paramètres illustre bien l'attention qu'il faut apporter à traiter de cette question qui, faute de faire l'objet d'un document codificatif spécifique et bien qu'elle ne soit nullement propre aux ouvrages de maçonnerie, a été incluse en annexe du DTU 20.1.

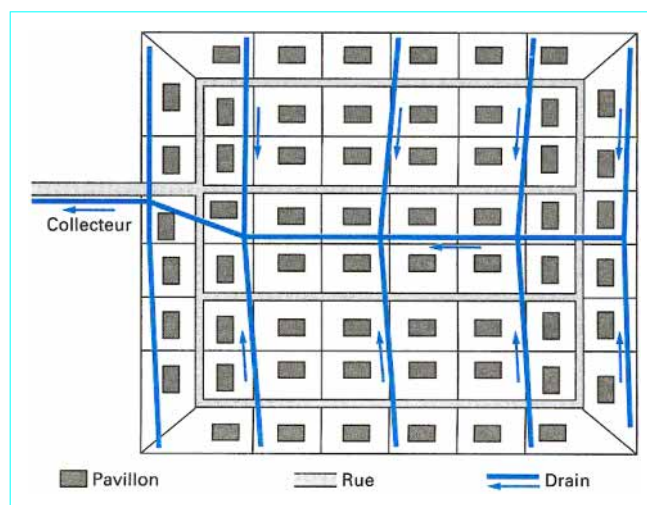


Figure 30 – Exemple de drainage collectif d'un lotissement sur un terrain sensiblement plat

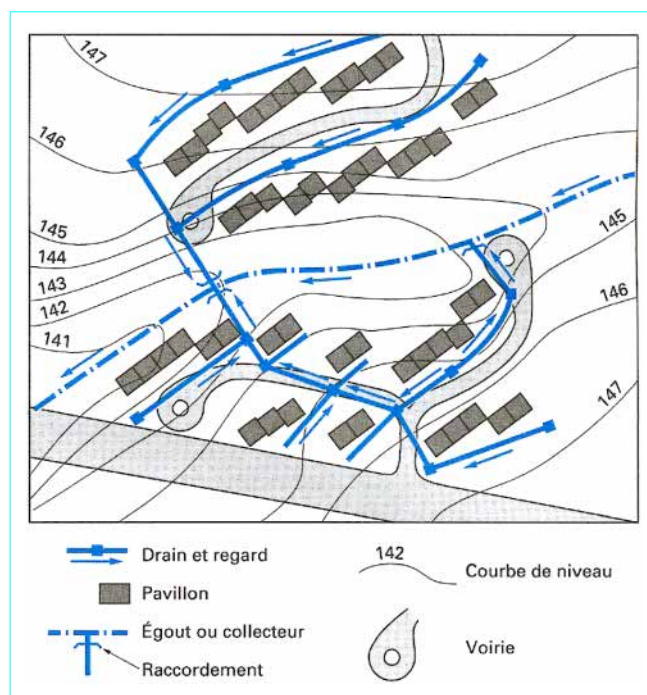


Figure 31 – Exemple de drainage collectif d'un lotissement sur un terrain en pente.

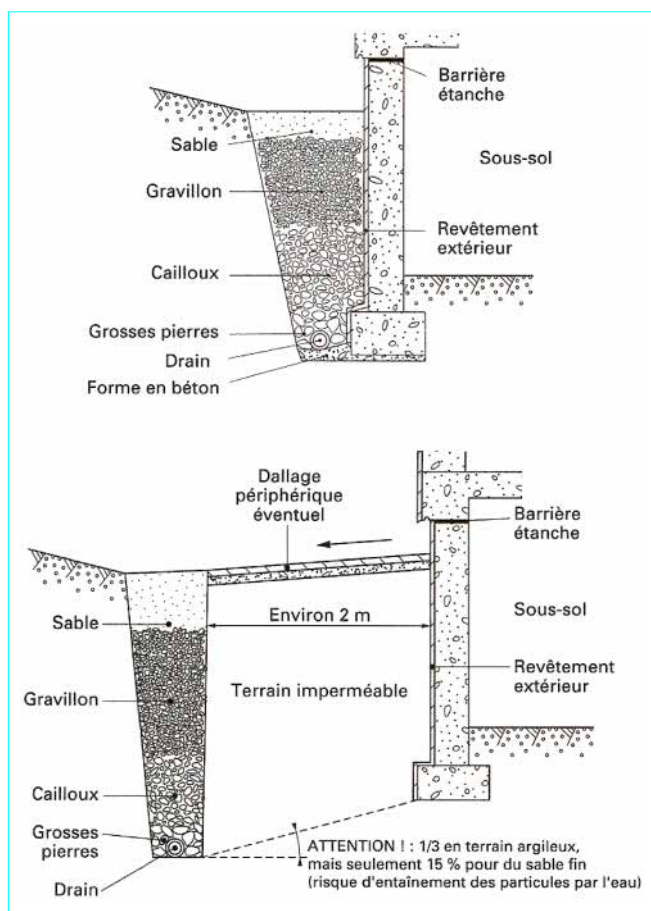


Figure 32 - Solutions de drainage

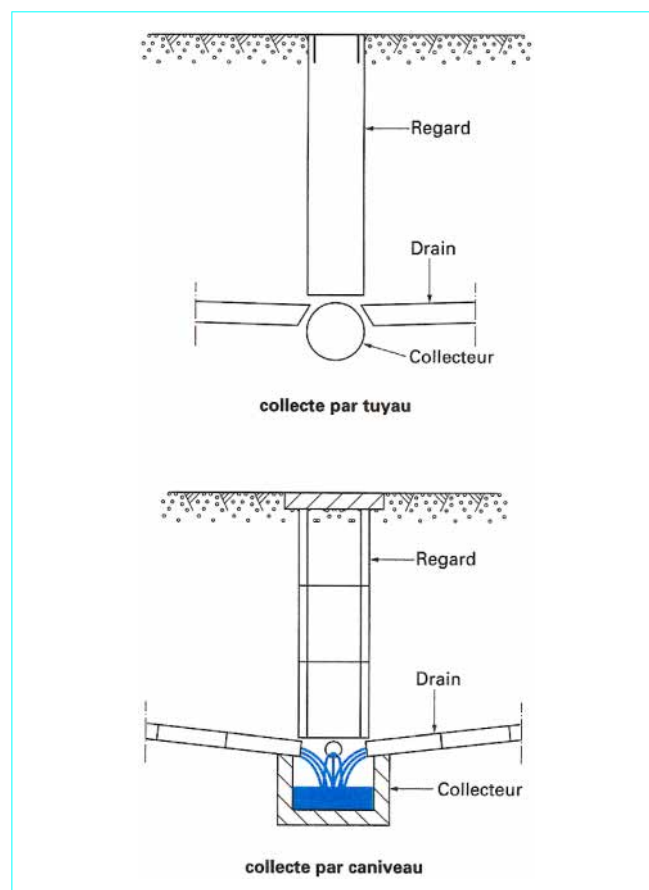


Figure 33 - Collecteurs

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).