GUIDE DE CONCEPTION

DES MAÇONNERIES DÉCORATIVES

Les moucharabiehs & les murs avec briques en saillie

Novembre 2025

1ère partie

AVANT-PROPOS

Le Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction (CTMNC) est un Centre Technique Industriel (CTI).

Les CTI apportent aux entreprises des moyens et outils pour améliorer leur compétitivité : transfert d'information, maîtrise de l'environnement normatif, évaluation de produits et systèmes, formation continue, marquage CE, etc.

L'objectif de ce guide est de rassembler, dans un seul et même document, des informations en lien avec la conception et la mise en œuvre des maçonneries dites décoratives (maçonneries de parement), à fonction non-structurale : les moucharabiehs (murs ajourés) et les murs avec briques en saillie.

Ce document se compose de deux parties :

- La première est consacrée à la description des différents types de maçonneries décoratives, leurs usages, spécificités esthétiques et techniques.

- La seconde partie porte sur le dimensionnement de cas particuliers de moucharabiehs, en tenant compte de leurs caractéristiques propres.

SOMMAIRE

1. Introduction 4
2. Domaine d'application 4
3. Références normatives 6
4. Les matériaux constitutifs des maçonneries décoratives 8
   4.1. Les briques 8
   4.2. Les claustras 12
   4.3. Les mortiers de pose 12
   4.4. Les éléments accessoires 14
5. Les moucharabiehs 15
   5.1. Moucharabiehs réalisés avec des éléments pleins 16
      5.1.1. Moucharabieh standard 16
      5.1.2. Moucharabieh renforcé 17
      5.1.3. Moucharabieh assujetti à des potelets métalliques en face arrière 19
      5.1.4. Moucharabieh avec ossature intégrée 21
      5.1.5. Moucharabieh en maçonnerie renforcée au niveau des joints 22
      5.1.6. Moucharabieh faisant office de garde-corps 22
         5.1.6.1. Moucharabieh avec maçonnerie renforcée en tête 23
         5.1.6.2. Moucharabieh avec ossature métallique faisant office de garde-corps 24
         5.1.6.3. Moucharabieh avec lisse en béton armé en tête 25
      5.1.7. Raccordement des moucharabiehs avec la partie courante de la maçonnerie 26
   5.2. Moucharabiehs réalisés avec des éléments ajourés 28
   5.3. Moucharabiehs intégrés dans des éléments préfabriqués 30
6. Murs avec briques en saillie 31
   6.1. Types de mur visés 31
   6.2. Points de vigilance 32
   6.3. Mise en œuvre des briques 33
      6.3.1. Appareillages 33
      6.3.2. Débords des briques 36
      6.3.3. Autres dispositions 38
      6.3.4. Encorbellements 39
   6.4. Murs en courbe 40
7. Joints de dilatation, de rupture et de fractionnement 42
8. Disposition des renforts dans les joints horizontaux 45
9. Bibliographie 47

1. Introduction

Les maçonneries décoratives en briques de terre cuite offrent une vraie richesse esthétique. Le format des briques, leurs textures, leurs teintes et leurs modes d'appareillage autorisent une grande liberté d'expression architecturale, permettant ainsi de répondre aux enjeux d'esthétisme et de durabilité des façades traditionnelles ou contemporaines.

Ce guide décrit les principaux matériaux et produits utilisés **pour le montage des moucharabiehs** et des **murs avec briques en saillie**. Il recense des configurations issues de réalisations concrètes et explicite leurs détails de mise en œuvre.

2. Domaine d'application

Le présent document vise les ouvrages intérieurs et extérieurs en briques apparentes de terre cuite conformes aux normes NF EN 771-1+A1 et NF EN 771-1+A1/CN.

Il décrit :

- Les moucharabiehs standard et renforcés ;
- L'implantation des briques en saillie dans les murs simples, murs composites ou murs doubles décrits dans le NF DTU 20.1 ;
- L'implantation de briques en saillie dans des murs non porteurs, montés en appareillage dit "américain".

Ce guide vise, par ailleurs :

- Les bâtiments courants, d'une hauteur inférieure ou égale à 28 m ;
- Une localisation en France Métropolitaine, avec les limites d'exposition au vent définies ci-après, conformément à la NF EN 1991-1-4 et NF EN 1991-1-4/NA :
    - Régions de vent : 1, 2 et 3 ;
    - Catégories de rugosité de terrain : II, IIIa, IIIb et IV.
- Risque sismique[1] : ce guide se limite au cas où la catégorie d'importance du bâtiment et / ou la zone de sismicité (voir - Classification des bâtiments Tableau 2 et Figure 1) ne nécessitent pas d'obligation de dimensionnement de l'ouvrage au séisme (voir Tableau 1).

Tableau 1 - Domaines d'application visés sans dispositions particulières vis-à-vis du risque sismique

Catégories d'importance du bâtiment		I	II	III	IV
Zones de sismicité	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
Vert : pas de dispositions particulières ; Rouge : non visé					

[1] https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000022941755/ : Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »

Tableau 2 - Classification des bâtiments

Catégories d'importance	Types de bâtiment
I	Sans activité humaine de longue durée
II	Habitations individuelles, ERP 4ème et 5ème catégories (à l'exception des établissements scolaires) Habitations collectives ≤ 28m Bâtiments à usage commercial ou de bureaux non ERP ≤ 28 m et ≤ 300 personnes Bâtiments industriels ≤ 300 personnes Parkings ouverts au public
III	Etablissements scolaires, ERP 1ère, 2ème et 3ème catégorie Bâtiments d'habitation collective ≥ 28 m ou bureaux ≥ 28 m Bâtiments à usage commercial non ERP > 300 personnes Bâtiments industriels > 300 personnes Bâtiments sanitaires et sociaux Bâtiments de production d'énergie
IV	Bâtiments de sécurité civile et de défense Bâtiments contribuant au maintien des communications Bâtiments de contrôle de circulation aérienne Etablissements de santé Bâtiments de production ou stockage d'eau potable Centres météorologiques

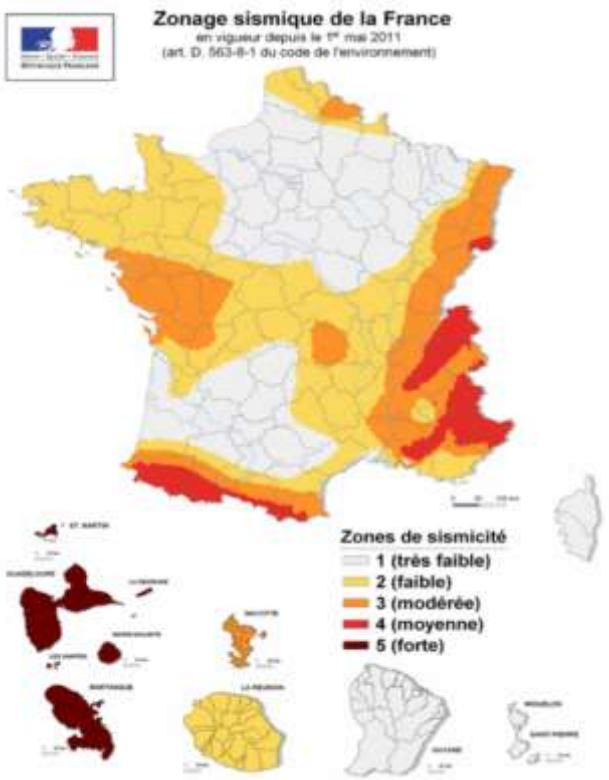


Figure 1 - Carte de zonage sismique de la France

- Classes d'exposition : sont visés les ouvrages correspondant aux classes d'exposition MX1, MX2 ou MX3 de la NF DTU 20.1.

Ne sont pas traités dans ce document :

- Les moucharabiehs reprenant des charges autres que les charges gravitaires (poids propre) ou celles du vent et des chocs éventuels ;
- Les murs utilisant des éléments de maçonnerie autres que les briques, mulots et claustras en terre cuite ;
- Les ouvrages ou sections d'ouvrages soumis à des contraintes particulières/non courantes, comme les stades (mouvement de foules), ou les installations industrielles ;
- La fixation de charges (mâts, enseignes, etc.) dans les maçonneries considérées ;
- Les ouvrages soumis à un dimensionnement parasismique, selon zone de sismicité et catégorie d'importance (*cf. Tableau 1, Tableau 2 et Figure 1 du point Risque sismique*).

3. Références normatives

- NF EN 771-1+A1 : Spécifications pour éléments de maçonnerie — Partie 1 : Briques de terre cuite (2015) ;
- NF EN 771-1+A1/CN : Complément national à la NF EN 771-1+A1:2015. (2017) ;
- NF P 13-304 : Briques en terre cuite destinées à rester apparentes (2018) ;
- NF EN 772-22 : Méthodes d'essai des éléments de maçonnerie — Partie 22 : détermination de la résistance au gel/dégel des éléments de maçonnerie en terre cuite (2018).
- NF EN 998-2 : Définitions et spécifications des mortiers pour maçonnerie — Partie 2 : Mortiers de montage d'éléments de maçonnerie (2016) ;
- NF EN 459-1 : Chaux de construction — Partie 1 : Définitions, spécifications et critères de conformité (2015) ;
- NF EN 845-1+A1 : Spécifications pour composants accessoires de maçonnerie — Partie 1 : Attaches, brides de fixation, étriers de support et consoles (2016) ;
- NF EN 845-3+A1 : Spécifications pour composants accessoires de maçonnerie — Partie 3 : Treillis d'armature en acier pour joints horizontaux (2016) ;
- NF DTU 20.1 : Travaux de bâtiment — Ouvrages en maçonnerie de petits éléments — Parois et murs (2020) ;
- NF EN 1996-1-1+A1 : Eurocode 6 — Calcul des ouvrages en maçonnerie — Partie 1-1 : Règles générales pour ouvrages en maçonnerie armée et non armée (2013) ;
- NF EN 1996-2 : Eurocode 6 — Calcul des ouvrages en maçonnerie — Partie 2 : Conception, choix des matériaux et mise en œuvre des maçonneries (2006) ;
- P 08-302 : Murs extérieurs des bâtiments — Résistance aux chocs — Méthodes d'essais et critères (1990) ;

- NF EN 1991-1-4 : Eurocode 1 : Actions sur les structures — Partie 1-4 : Actions générales — Actions du vent (2005) ;
- NF EN 1991-1-4/NA : Eurocode 1 : Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4:2005. (2008) ;
- FD P 18-326 : Béton — Zones de gel en France (2016) ;
- NF DTU 44.1 : Étanchéité des joints de façade par mise en œuvre de mastics (2012) ;
- NF P01-012 : Dimensions des garde-corps — Règles de sécurité relatives aux dimensions des garde-corps et rampes d'escalier (1988) ;
- NF P01-013 : Essais des garde-corps — Méthodes et critères (1988) ;
- NF A35-020-1 : Produits en acier - Dispositifs de raboutage et dispositifs d'ancrage d'aciers pour béton armé à verrous ou à empreintes - Partie 1 : exigences (2025)
- NF A35-020-2-1 : Produits en acier - Dispositifs de raboutage et dispositifs d'ancrage d'aciers pour béton armé à verrous ou à empreintes - Partie 2-1 : méthodes d'essai pour dispositifs de raboutage (2025)
- NF A35-020-2-2 : Produits en acier - Dispositifs de raboutage et dispositifs d'ancrage d'aciers pour béton armé à verrous ou à empreintes - Partie 2-2 : méthodes d'essai pour les dispositifs d'ancrage et les coupleurs à souder (2025)

4. Les matériaux constitutifs des maçonneries décoratives

4.1. Les briques

Figure 2 - Exemples de briques et mulots de type U

Les briques sont des éléments préformés destinés à être utilisés pour la réalisation d'ouvrages de maçonnerie. Les briques standard sont de forme parallélépipédique. Il existe des briques spéciales, de formes diverses, permettant d'obtenir des aspects particuliers.

Les mulots sont des éléments similaires aux briques, mais dont la largeur est réduite par rapport à ces dernières.

Ces deux types d'éléments sont fabriqués avec des terres argileuses cuites. Les terres argileuses peuvent être différentes selon les carrières mais elles renferment toutes une forte proportion d'argile qui leur confère leur aptitude au façonnage, et leurs propriétés mécaniques après cuisson.

Les briques et mulots utilisés dans les montages traités dans ce guide sont conformes aux normes NF EN 771-1+A1 et NF EN 771-1+A1/CN, et font l'objet d'un marquage CE.

Dans les applications extérieures (avec exposition à la pluie et aux remontées capillaires, aux risques de gel, etc.), les critères spécifiques aux briques de type U (briques utilisées dans les maçonneries non-protégées) s'appliquent.

Les éléments courants (Figure 2) sont les suivants :

- Briques pleines ;
- Briques avec évidement ;
- Briques perforées ;
- Mulots pleins ;
- Mulots perforés.

Note 1 : La norme NF P 13-304 apporte des informations complémentaires sur les briques de terre cuite destinées à rester apparentes.

Une grande diversité de briques et mulots existe. Les aspects de surface varient également (briques moulées main, extrudées, sablées, flamées, émaillées…). Il est possible d'obtenir une large palette de couleurs en contrôlant la composition de la matière première, les conditions de cuisson, et en ajoutant des pigments ou des additifs spéciaux (Figure 3).

Figure 3 - Exemples de briques de type U – En haut, briques apparentes perforées ; en bas, briques apparentes pleines

Les briques sont disponibles en différentes tailles standard, ou en dimensions et formes spéciales. Le Tableau 3 présente une liste, non-exhaustive, des dimensions standard de briques et mulots :

Tableau 3 - Dimensions standard de briques et mulots

Type	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)
Briques pleines ou perforées	210	100	50
	220	90	60
	220	105	40
	220	105	50
	220	105	55
	220	105	60
	220	105	70
	250	120	65
Mulots pleins ou perforés	220	50	40
	220	50	50
	220	55	60
	220	55	70
	220	60	60

Dans ce document, les briques et mulots de longueur supérieure ou égale à 280 mm sont considérés comme étant de grand format. Le Tableau 4 en donne quelques exemples :

Tableau 4 - Briques et mulots de grands formats

Type	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)
Briques pleines ou perforées	280	105	50
	330	90	50
	330	105	55
	400	105	50
	490	115	40
	495	100	38
Mulots pleins ou perforés	280	50	50
	285	50	50

Les catégories de plages dimensionnelles des briques de type U, et celles de leurs tolérances dimensionnelles, sont données dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 5 - Catégories de plages dimensionnelles des briques de type U – NF EN 771-1+A1/CN

	Longueur	Largeur	Hauteur
Briques U calibrées	≤ 3 % et ≤ 10 mm		≤ 3 mm
Briques U spéciales	-	-	≤ 5 mm

Tableau 6 - Catégories de tolérances dimensionnelles des briques de type U – NF EN 771-1+A1/CN

	Longueur	Largeur	Hauteur
Briques U calibrées	x = ± 3 % et ± 2 mm ≤ x ≤ ± 10 mm		± 3 mm
Briques U spéciales	-	-	Si *h* ≤ 200 mm, ± 4 mm Si *h* > 200 mm, ± 2 %

Outre leurs caractéristiques d'aspect (couleur, texture de surface), les briques sont choisies sur la base de critères de résistance mécanique (comme la résistance à la compression), et de durabilité (cette dernière étant évaluée sur la base de la tenue aux cycles de gel/dégel).

Le panachage des briques avant leur mise-en-œuvre est à envisager afin d'obtenir des aspects particuliers, ou d'obtenir un parement homogène, le cas échéant.

Note 2 : Des exigences spécifiques (catégories de plages dimensionnelles, tolérances, ...) peuvent s'appliquer à des projets particuliers (cf. NF EN 771-1).

Résistances :

Les maçonneries de briques doivent résister aux charges auxquelles elles sont soumises :

- Cas des moucharabiehs : Ces ouvrages n'ont pas de rôle structurel. Dans le cas général, les charges à considérer sont le poids propre, les charges de vent, et les charges accidentelles (cas des ouvrages exposés aux risques de chocs).

- Cas des murs avec briques en saillie : Ces murs sont susceptibles d'avoir un rôle structural.

- **Résistance à la compression :**

Le classement des briques de parement selon leurs résistances à la compression figure dans le Tableau 7.

Tableau 7 - Catégories de résistance à la compression des briques pleines

Catégorie	Résistance à la compression	
	Moyenne (MPa)	Minimale (MPa)
Ordinaires	12,5	10
BP 20	20	16
BP 30	30	24
BP 40	40	32

- **Résistance aux cycles de gel/dégel :**

  Selon les conditions d'exposition de l'ouvrage considéré, les briques choisies doivent correspondre aux catégories d'exposition F1 (risque de gel modéré) ou F2 (risque de gel sévère). L'évaluation de leur performance se fait sur la base des normes NF EN 772-22 : 2018 (essai de type initial) et NF EN 771-1/CN (essais de suivi).

- **Panachage visant à homogénéiser l'aspect des maçonneries :**

  Le panachage permet d'obtenir des parements uniformes. On procède en prélevant les briques de trois palettes simultanément, en diagonale, comme illustré sur la Figure 4.

  L'utilisation de briques d'un même lot, ou de lots de fabrications proches, est recommandée pour réduire la variabilité. Il est envisageable de juger l'aspect fini de l'ouvrage sur la base d'une maquette représentative.

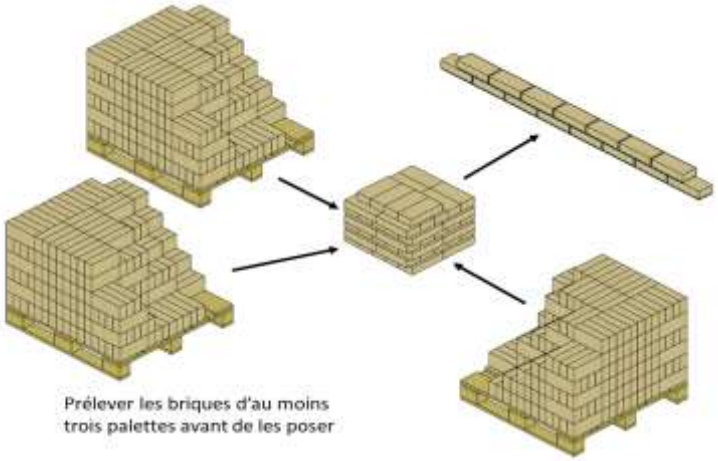


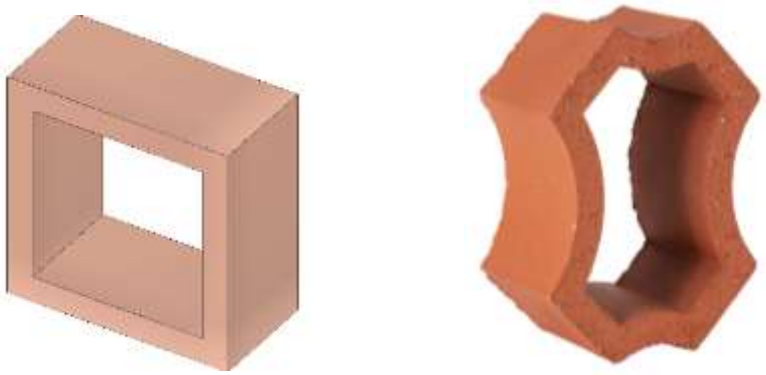
Figure 4 - Panachage des briques

4.2. Les claustras

Les claustras sont des éléments ajourés en terre cuite, fabriqués le plus souvent par extrusion.

Leur forme la plus courante est le carré (Figure 5a), bien qu'une grande variété de formes et de motifs soient disponibles (le claustra byzantin en est un exemple (Figure 5b)).

Les dimensions sont également variables ; des dimensions courantes de claustras carrés sont données dans le Tableau 8.



a) b)

Figure 5 – Exemples de Claustras a) Claustra carré b) Claustra byzantin

Tableau 8 - Dimensions de claustras standards, carrés

Type	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)
Claustras	170	100	170
	200	100	200
	200	200	200

4.3. Les mortiers de pose

Les mortiers doivent garantir une liaison suffisante entre les éléments de maçonnerie ; ils présentent un niveau de résistance et une adhérence aux éléments de maçonnerie compatibles avec l'utilisation. Leur durabilité doit être considérée sur la base des classes d'exposition de l'ouvrage à réaliser, comme indiqué dans les normes NF DTU 20.1 et NF EN 1996-2.

Les mortiers considérés dans ce document sont conformes à la norme NF EN 998-2. Ils sont du type G (mortiers d'usage courant), et peuvent être :

- De recette :

  Exemples de composition :
  - 1 : 1 : 6 (ciment : chaux : sable)
  - 1 : 2 : 9 (ciment : chaux : sable)
- Performanciels : Mortiers de catégories M 5, M 10 ou M 15.

Les mortiers à base de chaux :

Les définitions et spécifications des différents types de chaux de construction sont données dans la norme NF EN 459-1.

A titre d'information, les résistances à la compression de quelques mortiers à base de chaux hydraulique naturelle (NHL) sont données dans le Tableau 9 [1] :

Tableau 9 – Composition de mortiers à base de chaux NHL

Mortiers prescrits (vol. NHL / vol. sable)			**Résistance à la compression (MPa à 91 jours)**
NHL 2	**NHL 3.5**	**NHL 5**	
-	1 : 1	1 : 2	5,0
-	1 : 1 ½	1 : 2 ½	3,5
-	1 : 2	1 : 3	2,5
1 : 2	1 : 3	-	1,0

Les mortiers à base de chaux possèdent des avantages spécifiques :

- Meilleure plasticité : la chaux améliore l'ouvrabilité du mortier frais, qui devient plus facile à mettre en œuvre. Cela améliore la qualité des joints (risques moindres de mauvaise liaison à l'interface brique - mortier), et réduit le risque de gaspillage du mortier [2].
- Durabilité : ces mortiers sont plus 'déformables' que les mortiers à base de ciment ; ils ont un plus faible module d'élasticité et présentent une moindre tendance à la fissuration.
- Les mortiers à base de chaux sont 'autocicatrisants', et aptes à refermer les microfissures suite à une réaction avec le CO_2 de l'air [2].
- Imperméabilité : la fissuration moindre des joints réduit le risque d'infiltration de l'eau.
- Une réduction du taux de gâchage (moindre quantité d'eau liquide dans le mortier frais) a un effet positif sur la durabilité des joints (vis-à-vis des cycles de gel/dégel), et sur le risque d'apparition d'efflorescences [2].
- Economie circulaire : l'utilisation de mortiers à base de chaux facilite la séparation et permet le réemploi des briques en fin de vie de l'ouvrage.
- Le bilan carbone tend aussi à être favorable aux mortiers à la chaux, en partie grâce à la température réduite qu'il faut atteindre dans les fours pour produire la chaux, et également grâce à la réabsorption du CO_2 de l'air, lors de la vie en œuvre (suite au phénomène de carbonatation).

  En revanche, la résistance mécanique des mortiers à base de chaux est relativement peu élevée, ce qui peut limiter leur utilisation dans les ouvrages soumis à des sollicitations de flexion ou de cisaillement, ou nécessiter des dispositions particulières (renforcement).

  Le temps nécessaire pour développer pleinement leurs résistances est plus important que celui nécessaire pour les mortiers à base de ciment (surtout pour les chaux aériennes).

Il est recommandé de consulter les fabricants avant l'utilisation des mortiers à base de chaux [3].

Le type de joint est choisi en fonction de critères d'aspect, essentiellement. Sont pris en compte le type de brique à utiliser (couleur, tolérances dimensionnelles, etc.), les types d'environnements, et les conditions de réalisation de l'ouvrage.

Les joints ont un impact important sur l'aspect de l'ouvrage, c'est pourquoi les critères de couleur et de variations dimensionnelles, et la susceptibilité de relargage d'efflorescences, ont un poids important au niveau de leur choix.

Les techniques de montage considérées utilisent l'un des types de joints suivants :

- Joints épais, continus et entièrement remplis, d'une épaisseur comprise entre 10 et 20 mm :

  Utilisation de profils de joints préférentiellement en retrait par rapport à la maçonnerie, afin de limiter le temps de contact avec l'eau de pluie (facilité d'écoulement), et de protéger le mortier contre les risques d'érosion naturelle, de développement de mousses, etc. Le lissage du mortier à l'aide d'outils appropriés (fers à joints, etc.) améliore l'aspect et la durabilité du joint.

  Les joints trop profonds ne sont pas recommandés du fait du rallongement des durées de contact avec l'eau, ce qui crée des risques de piégeage des salissures, et de développements fongiques. Le cas échéant, l'utilisation de joints profonds peut être envisagée dans le cas des murs abrités des intempéries (par des débords de toiture ou autres).

  Quelques profils de joints envisageables sont présentés sur la Figure 6 :

Figure 6 - Profils recommandés de joints épais

- Pose collée à l'aide d'une poche à douille – joints d'une épaisseur comprise entre 6 et 10 mm :

  Ce type de joint, qui améliore le confort de pose, permet généralement de limiter le risque d'apparition d'efflorescences (du fait de l'utilisation de mortiers de composition adaptée).

  Le temps de montage est, par ailleurs, réduit par rapport à la pose à la truelle.

4.4. Les éléments accessoires

Les éléments accessoires (attaches, etc.) sont conformes à la norme NF EN 845-1+A1. Le risque de corrosion doit être pris en compte, selon les conditions d'exposition de l'ouvrage.

5. Les moucharabiehs

Les moucharabiehs sont des maçonneries ajourées permettant la réalisation de façades originales et esthétiques, avec un grand nombre de configurations possibles. Ils peuvent être réalisés avec des éléments pleins, disposés en claire-voie (Figure 7), ou avec des éléments ajourés (également appelés « claustra », voir note 3), généralement posés « à l'américaine ».

Note 3 : Le terme « claustra » peut faire référence à l'ensemble du montage ajouré ou à l'élément ajouré de terre cuite utilisé dans celui-ci. Pour éviter toute confusion, à partir de ce point, le guide utilise le terme « claustra » uniquement pour se référer à l'élément individuel de terre cuite.

L'utilisation d'éléments de terre cuite pleins ou ajourés, de tailles et coloris divers, permet la création de motifs variés.

Figure 7 - Moucharabieh en briques pleines

Les moucharabiehs permettent d'améliorer la circulation de l'air et l'éclairage intérieur, réduisant les besoins en ventilation mécanique et en éclairage artificiel.

En situations courantes, ce type de maçonnerie est exposé aux charges de vent et éventuellement aux chocs (se référer à la norme de résistance aux chocs : P 08-302). La résistance mécanique des moucharabiehs est réduite par rapport à un mur standard ; les dimensions envisageables sans faire appel à des solutions de renforts doivent être étudiées de manière spécifique.

Dans les cas où les briques utilisées sont perforées, les perforations risquent de rester apparentes, impactant l'esthétique d'ensemble. La réalisation de maquettes représentatives à une échelle suffisante permet d'apprécier le rendu visuel.

Dans ce document, les moucharabiehs sont regroupés en deux grandes familles : moucharabiehs réalisés avec des éléments pleins, et moucharabiehs réalisés avec des éléments ajourés (claustras).

5.1. Moucharabiehs réalisés avec des éléments pleins

5.1.1. Moucharabieh standard

La dénomination « moucharabieh standard » se réfère à des moucharabiehs dépourvus d'éléments de confortement. La performance mécanique est déterminée par la liaison des briques au mortier.

Les longueurs de recouvrement courantes des briques varient entre le quart et le tiers de leur longueur. Pour les briques de grandes dimensions (L ≥ 280 mm), les longueurs de recouvrement varient entre le sixième et le tiers de la longueur. Dans tous les cas, la longueur minimale de recouvrement et d'encollage est de 5 cm (Figure 8).

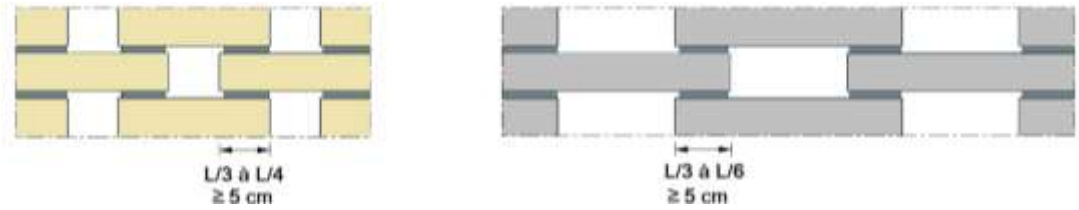


Figure 8 - Recouvrement des briques standard et briques de grandes dimensions

Les moucharabiehs standard doivent être assujettis, sur tous leurs côtés, à la structure porteuse, ou faire l'objet de dispositions de confortement adaptées. En général, on veille à ce que les dimensions extérieures du moucharabieh soient des multiples des dimensions des briques, en évitant les coupes.

Le partitionnement des grands pans de moucharabieh par le biais de poutres et poteaux (apparents ou masqués) en maçonnerie armée, métal ou autres, permet de les renforcer [4].

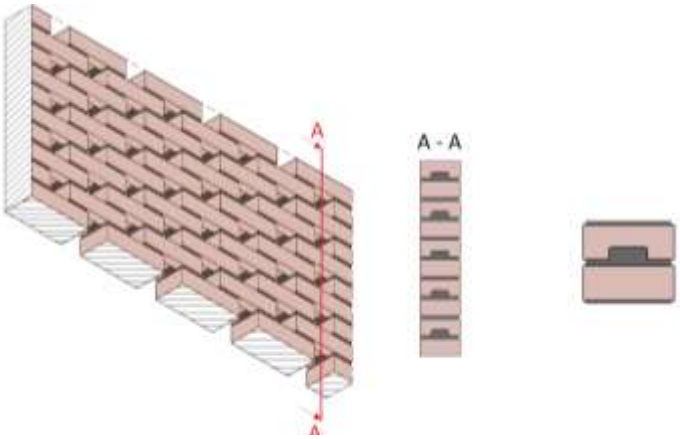


Figure 9 - Utilisation de briques avec évidement – Pénétration du mortier dans les renfoncements

L'utilisation de briques avec évidements en partie inférieure apporte une contribution à la tenue d'ensemble, due à la pénétration du mortier dans le renfoncement (Figure 9).

5.1.2. Moucharabieh renforcé

Ce type de moucharabieh est renforcé par des armatures traversantes, ancrées en pied et en tête. Les renforts sont insérés à raison d'une ou deux armatures par brique (Figure 10). On veillera à prévoir des dispositifs de fixation tenant compte des variations dimensionnelles des éléments de renforcement.

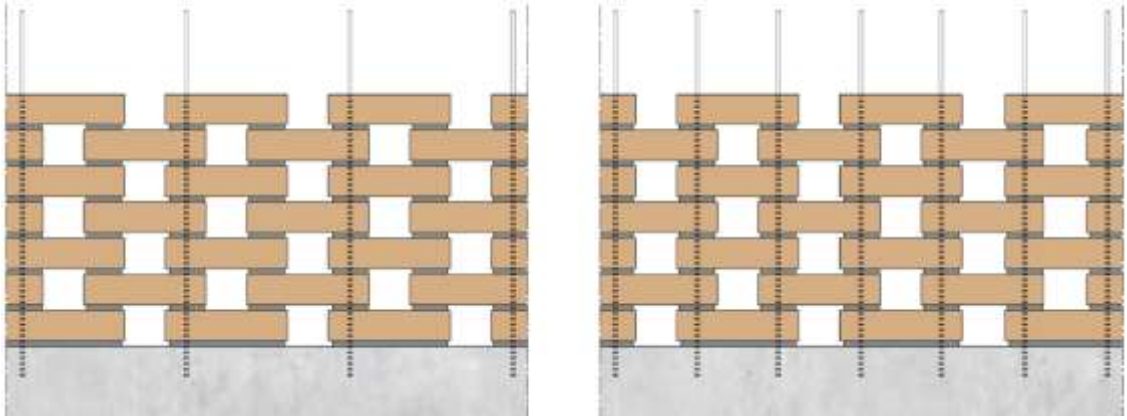


Figure 10 - Dispositions des aciers filants (une armature par brique/deux armatures par brique)

Les tiges métalliques généralement utilisées ont des diamètres de 6 à 12 mm, et doivent être résistantes à la corrosion (acier galvanisé ou, préférentiellement, inoxydable).

Les aciers sont lisses, à haute adhérence, ou filetés (Figure 11). L'utilisation de tiges filetées permet un montage facilité : le raccordement des aciers se fait à l'aide de manchons taraudés (conformes à la norme NF A 35-020-1+A1, et testés selon la norme NF A 35-020-2), à l'avancement.

Figure 11 - Tiges d'acier lisse, fileté, et à haute adhérence (Acier HA)

Le même type de raccordement est possible en utilisant des aciers lisses ou HA pourvus d'un filetage à leurs extrémités (Figure 12).

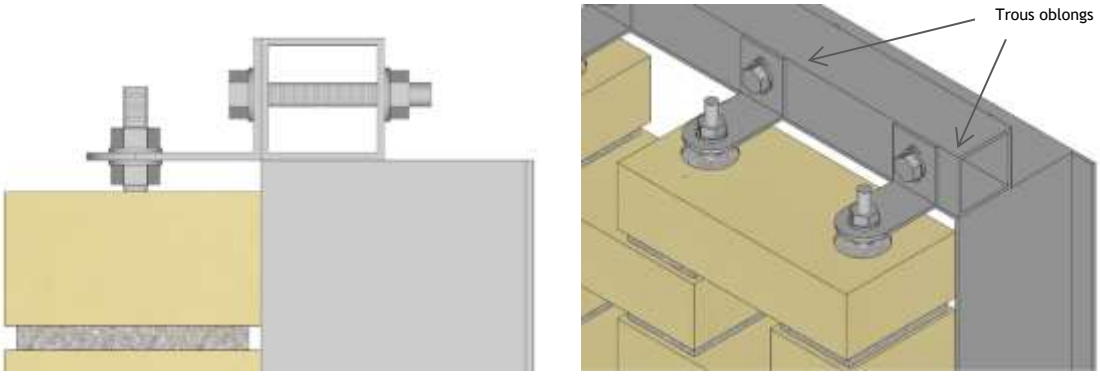
Figure 12 - Raccordement de tiges lisses à extrémités filetées par le biais de manchons de

Les briques à utiliser dans ce type de montages possèdent des réservations pour les aciers, ou sont percées in-situ (cf. Figure 13). En cas de perçage sur chantier, l'opération doit être réalisée avec soin. Ces réservations doivent être situées à au moins 15 mm des bords de la brique, cette distance étant mesurée entre le bord du diamètre de la réservation et le parement de la brique, et devant être respectée sur l'ensemble du périmètre de la brique.

Le diamètre des réservations doit permettre l'introduction d'un mortier de consistance plastique, et un remplissage homogène, afin de permettre un fonctionnement monolithique.

Figure 13 - Brique avec réservations cylindriques

Afin de faciliter la mise en œuvre du moucharabieh, un montage déporté peut être réalisé. Les tiges de renfort seront fixées par un dispositif mécanique, à l'exemple de la Figure 14.



a) b)

Figure 14 - Détails de fixation en tête des renforts métalliques : a) vue de face b) vue du haut

5.1.3. Moucharabieh assujetti à des potelets métalliques en face arrière

Dans ce type de montage, le confortement est assuré par des potelets implantés en face arrière du moucharabieh, et solidarisés à la maçonnerie par des pattes de retenue en acier inoxydable intégrées dans les joints (Figure 15 et Figure 16).

La méthode de dimensionnement des potelets métalliques en face arrière est décrite dans la partie 2 du guide, en considérant différentes configurations d'appui. Cette solution ne nécessite pas de briques perforées, mais l'esthétique de l'ouvrage peut être impactée, car les renforts restent apparents et demandent, dans certains cas, l'utilisation d'éléments de finition adaptés pour obtenir le rendu visuel désiré.

Figure 15 - Moucharabieh assujetti à des potelets métalliques en face arrière

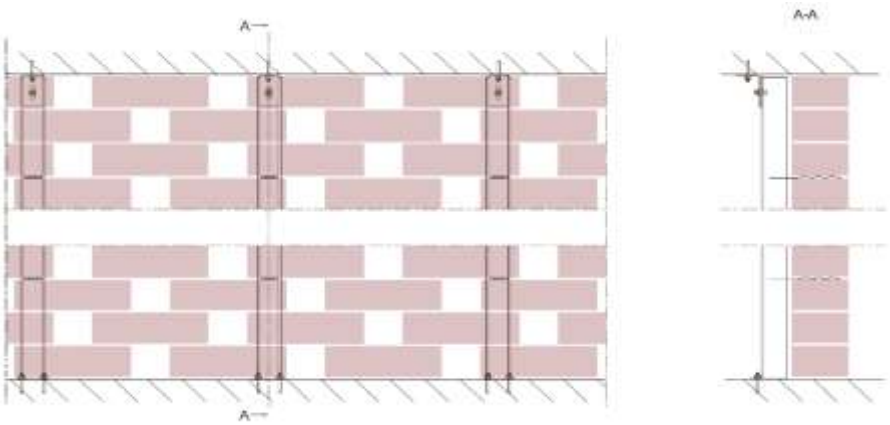


Figure 16 - Moucharabieh assujetti à des potelets métalliques en face arrière avec pattes de retenue ancrées dans les joints

L'espacement entre potelets est généralement de 50 ou 60 cm. Il peut atteindre 100 cm, selon les dimensions de briques considérés. Les pattes de retenue sont implantées dans les joints toutes les 3 ou 4 rangées de briques, et la fixation des potelets en pied est faite avec des goujons d'ancrage fixés à la structure (Figure 17). D'autres dispositifs de fixation existent et peuvent être utilisés.

La fixation des potelets doit prendre en compte les déformations de la structure. La mise en place de dispositifs permettant d'accommoder les déformations est à prévoir (cf. exemple de la Figure 18). Ce type de disposition limite le risque de transfert de charges, tout en tenant compte des phénomènes de variations dimensionnelles.

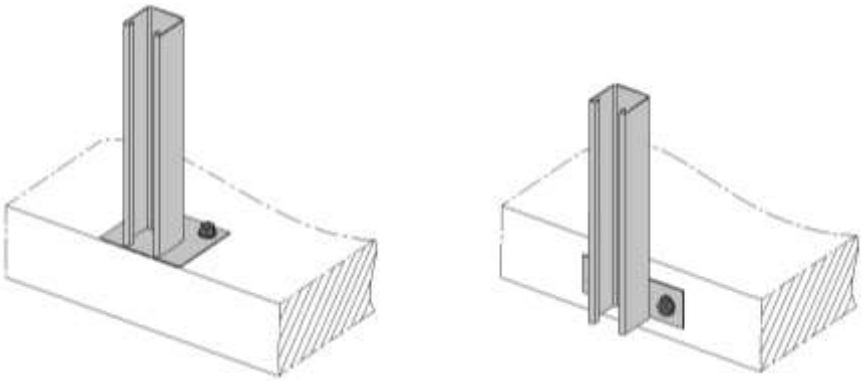


Figure 17- Fixation de potelets avec des goujons d'ancrage.

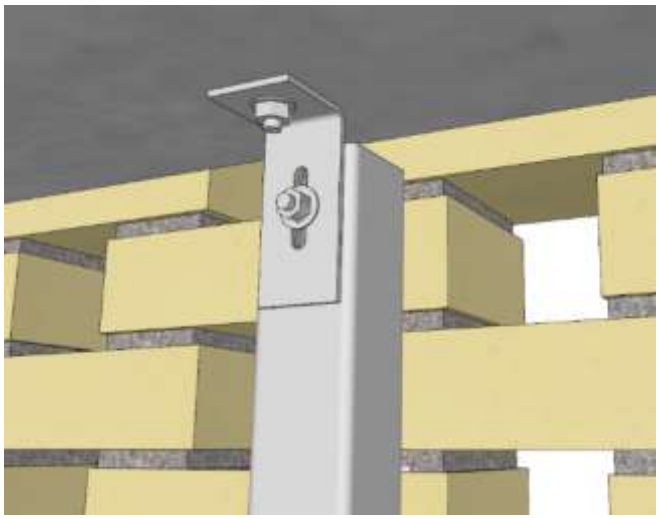


Figure 18 - Fixation en tête d'un potelet de renfort

L'ancrage des potelets à la maçonnerie est réalisé par le biais de pattes conformes à la norme NF EN 845-1+A1. L'emploi de pattes ajourées (Figure 19), ou avec picots relevables, améliore le scellement dans les joints.

** On peut trouver des dispositifs de fixation chez les fabricants d'accessoires : Ancon, Plaka, Etanco, Halfen…*

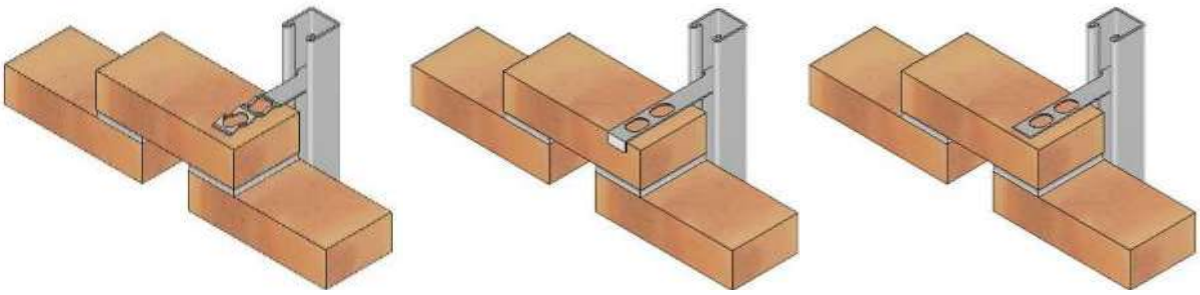


Figure 19 - Pattes de retenue perforées, mobiles, reliées à un profilé en U

L'implantation de moucharabiehs filants devant la façade (Figure 20) facilite le montage.

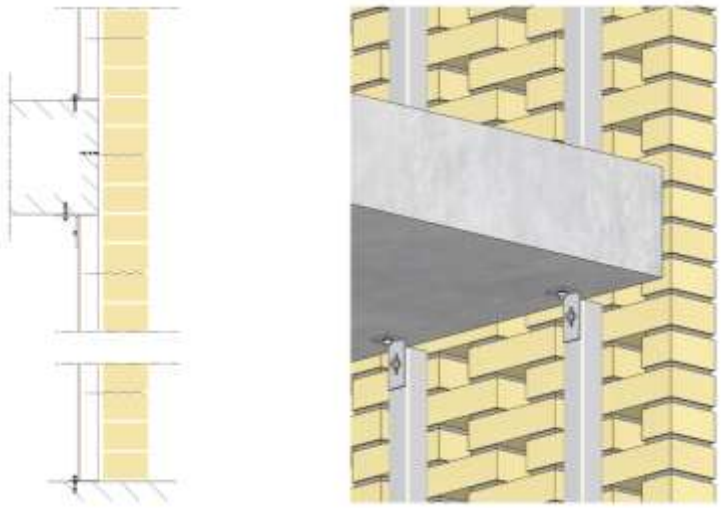


Figure 20 - Moucharabieh filant assujetti à des potelets fixés en nez de plancher (ici, ce dernier est supporté sur 3 côtés)

5.1.4. Moucharabieh avec ossature intégrée

Ce procédé est basé sur une structure métallique dont les montants verticaux sont intégrés dans la maçonnerie ; l'épaisseur de cette dernière, au droit des montants, est égale à la longueur des briques (soit 22 cm pour des briques standard). Le montage des briques, au droit des poteaux, est fait de manière à enserrer la structure de renfort (Figure 21 et Figure 22). Cette conception permet également la réalisation de chaînages masqués, en béton armé. Les dimensions des pans de moucharabieh sont de l'ordre de 2 m de long, avec une hauteur de 3 m.

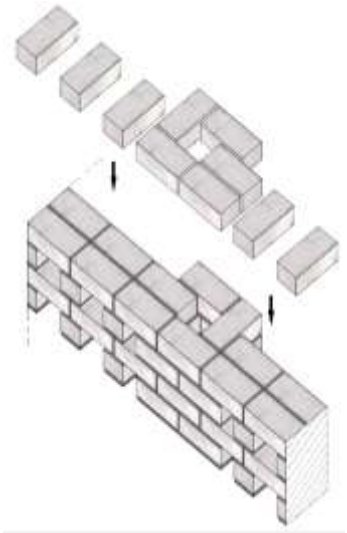


Figure 21 - Moucharabieh avec ossature métallique intégrée dans la maçonnerie

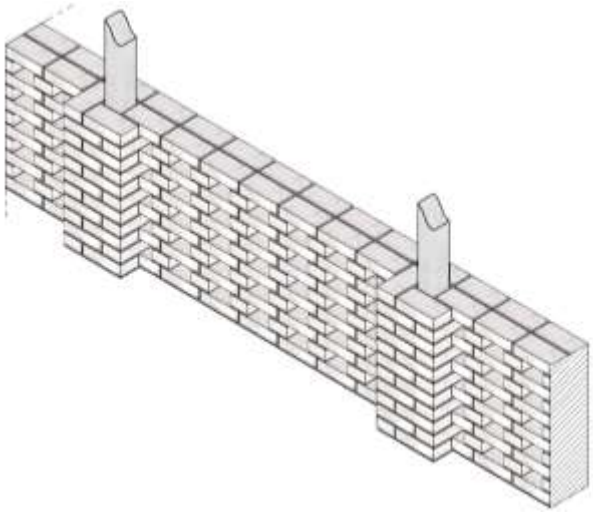


Figure 22 - Moucharabieh avec ossature métallique intégrée dans la maçonnerie

5.1.5. Moucharabieh en maçonnerie renforcée au niveau des joints

Ce type de moucharabieh est renforcé de treillis disposés dans les joints. Une conception adaptée, avec des joints horizontaux continus, à l'exemple de la Figure 23 permet l'intégration des renforts.

Les treillis sont disposés toutes les 3 ou 4 rangées de briques. Les longueurs de recouvrement dépendent du type de renfort utilisé (elles sont généralement ≥ 15 cm).

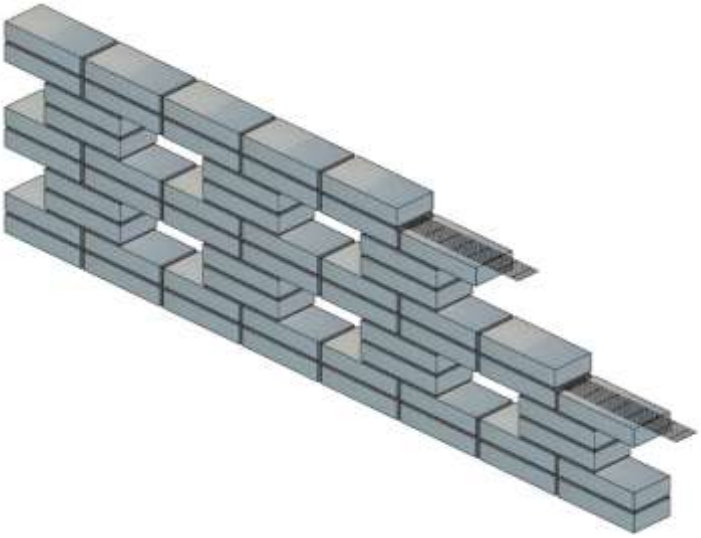


Figure 23 - Moucharabieh avec renforts implantés dans les joints

5.1.6. Moucharabieh faisant office de garde-corps

Note importante : *Les moucharabiehs employés en tant que garde-corps doivent respecter les exigences réglementaires et normatives relatives aux protections contre les chutes. Les éléments présentés dans ce guide constituent des repères de conception mais ne peuvent en aucun cas se substituer aux textes en vigueur ni aux avis et validations des bureaux de contrôle.*

Les moucharabiehs faisant office de garde-corps doivent répondre aux dispositions des normes NF P01-012 (dimensions), NF P01-013 (essais) et NF P06-111-2/A1 (charges). Les critères de dimensions à prendre en compte sont les suivants :

- Hauteur de protection : ≥ 1 m (cas général).

  La hauteur de protection est mesurée verticalement entre le sol fini (en pied du garde-corps) et la face d'appui supérieure. Dans certaines situations précisées dans la norme, la hauteur minimale du garde-corps est augmentée pour prendre en compte la présence d'éléments permettant de poser le pied au-dessus du niveau du sol fini (zones dites « de stationnement précaire »).

- Les parties ajourées du garde-corps doivent répondre à la norme NF P01-012, en particulier :

  - les dimensions de vides horizontales et verticales doivent au plus être égales à 0,11 m ;
  - Les vides entre éléments ne doivent pas permettre le passage d'un gabarit parallélépipédique de 25 x 11 x 11 cm, avec la face 25 x 11 cm parallèle au plan du garde-corps, dans aucune direction.

  Cette disposition vise à empêcher la traversée des enfants. L'attention est attirée sur le risque d'escalade du garde-corps par ces derniers. L'installation d'un écran (en verre, métal ou autre) ou d'un garde-corps métallique en face arrière du moucharabieh est à envisager.

Lorsque les moucharabiehs sont traversés par des exutoires, les rejets doivent être éloignés à une distance suffisante pour éviter les dégradations d'aspect des maçonneries du fait de l'humidité.

Les exutoires sont désolidarisés de la maçonnerie ; leur pourtour est calfeutré au mastic.

Différentes solutions sont envisageables pour assurer la reprise des charges sur les garde-corps. Des exemples sont présentés ci-dessous.

5.1.6.1. Moucharabieh avec maçonnerie renforcée en tête

Cette solution consiste en l'insertion de treillis (conformes à la norme NF EN 845-3+A1) dans le joint horizontal en tête du moucharabieh (Figure 24). Les treillis doivent être ancrés de part et

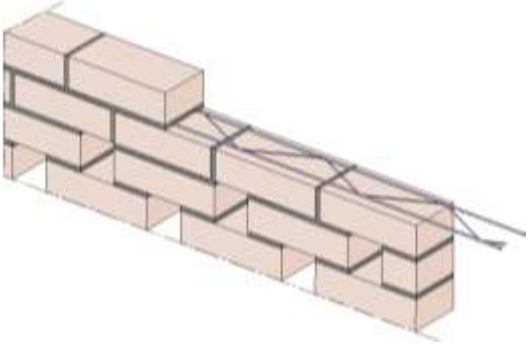


Figure 24 - Insertion d'armatures de renfort dans la partie supérieure du moucharabieh

d'autre du garde-corps, et disposés dans des joints de nature et d'épaisseur suffisante pour assurer la reprise des efforts. Des dispositions doivent être prises pour empêcher l'escalade.

5.1.6.2. Moucharabieh avec ossature métallique faisant office de garde-corps

La tenue mécanique de ce montage est assurée par la disposition de tiges traversantes fixées en pied et reliées en tête à un élément métallique solidarisé de part et d'autre à la structure. Les risques de corrosion doivent être pris en compte.

Un profilé métallique faisant office de main courante assure la finition (Figure 25).

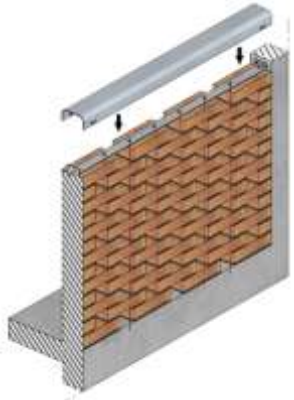


Figure 25 - Moucharabieh avec ossature métallique

La fonction garde-corps peut également être assurée par un garde-corps (en métal, par exemple), implanté derrière le moucharabieh (Figure 26)

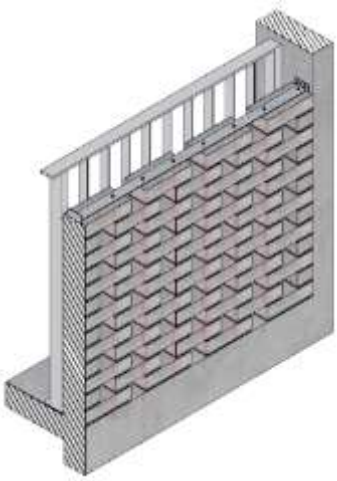


Figure 26 - Garde-corps métallique implanté derrière le moucharabieh

Lors de l'utilisation de profilés métalliques faisant office de main-courante, il est nécessaire d'opter pour des éléments librement dilatables Figure 27 et Figure 28.

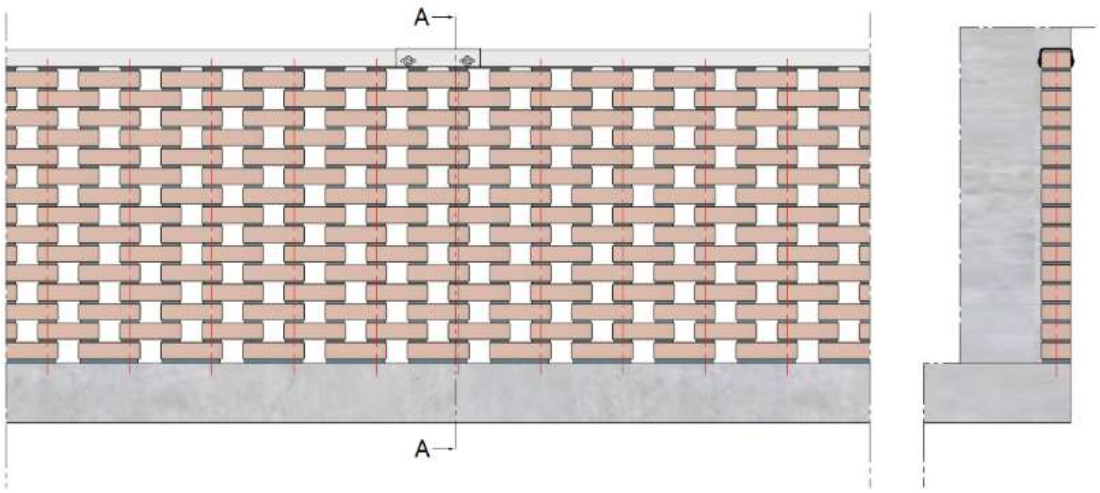


Figure 27 -Moucharabieh avec ossature métallique, profilé métallique en tête, et main courante librement dilatables

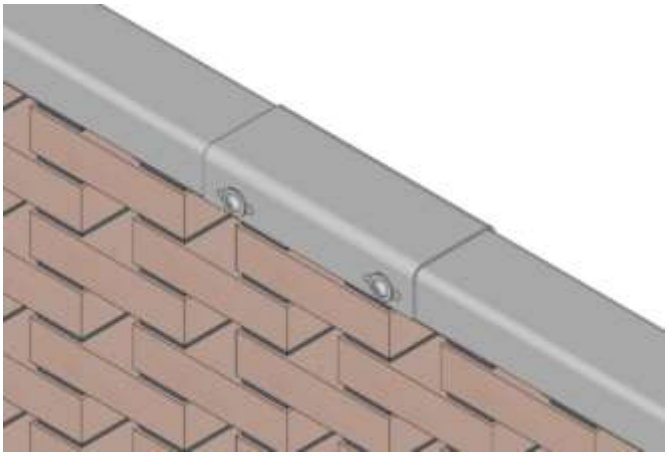


Figure 28 - Détail de main courante librement dilatable

5.1.6.3. Moucharabieh avec lisse en béton armé en tête

Le moucharabieh est conforté par une lisse en béton armé, en partie supérieure (Figure 29).

Des combinaisons de systèmes de confortement peuvent être adoptées pour assurer la tenue de l'ensemble (potelets en face arrière du moucharabieh, par exemple).

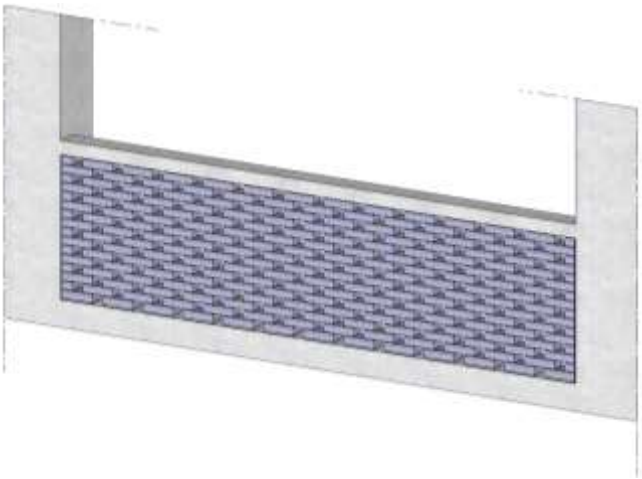


Figure 29 - Moucharabieh avec lisse en béton armé

5.1.7. Raccordement des moucharabiehs avec la partie courante de la maçonnerie

Différentes techniques de raccordement sont utilisables pour gérer la transition entre les moucharabiehs et la partie courante de la maçonnerie. Souvent, un calepinage propre au moucharabieh, différant de celui de la maçonnerie en partie courante, est réalisé. Une option possible est d'utiliser un appareillage flamand pour assurer la transition entre les deux types de maçonneries (Figure 30).

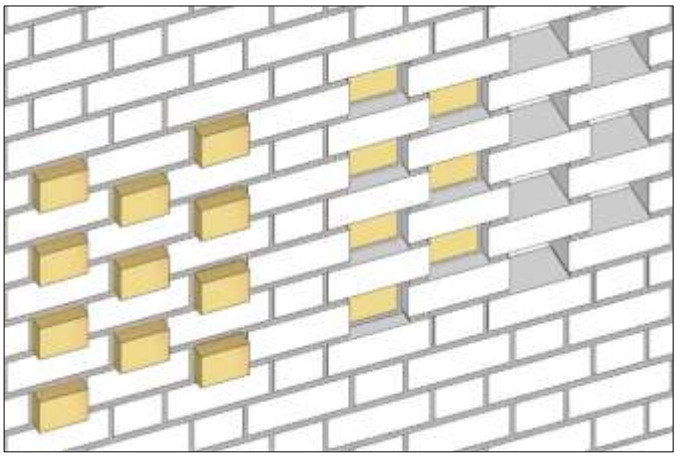


Figure 30 - Appareillage flamand en partie courante, avec briques en saillie, briques en retrait et moucharabieh

Pour intégrer un moucharabieh à un appareillage à demi-brique, des solutions du type ci-après peuvent être utilisées :

- Ajustement de la dimension des parties ajourées en rives de moucharabieh (Figure 31) :

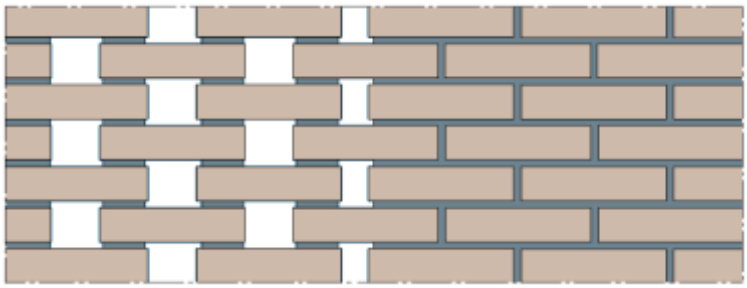


Figure 31 - Réduction des parties ajourées en rives de moucharabieh

- Découpe des briques en rives de moucharabieh :

  Dans ce cas, la découpe des briques se fait généralement aux ¾ de leur longueur initiale. La longueur de coupe est à déterminer en tenant compte de la longueur d'encollage des briques du moucharabieh (Figure 32).

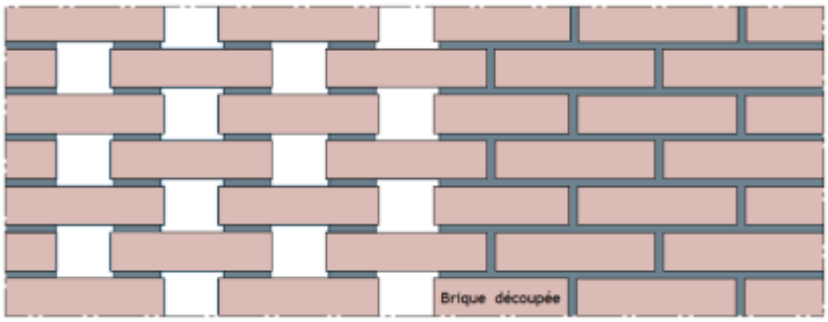


Figure 32 - Découpe des briques en rives de moucharabieh

Dans le cas d'un moucharabieh dont les recouvrements de briques sont supérieurs ou égaux au tiers de la longueur de celles-ci, l'utilisation d'un appareillage en tiers de brique (ou autre appareillage compatible avec le recouvrement) est envisageable (Figure 33).

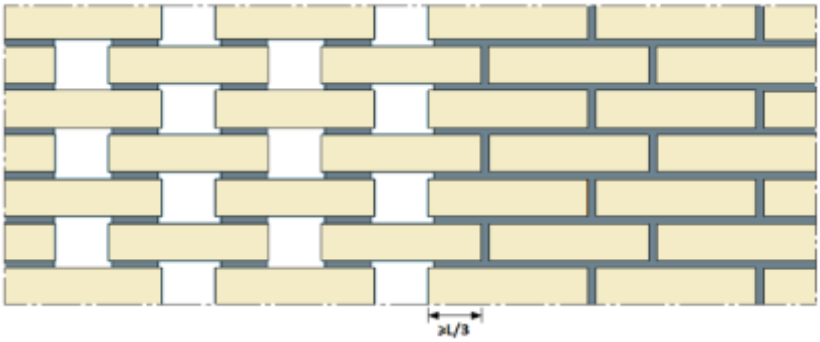
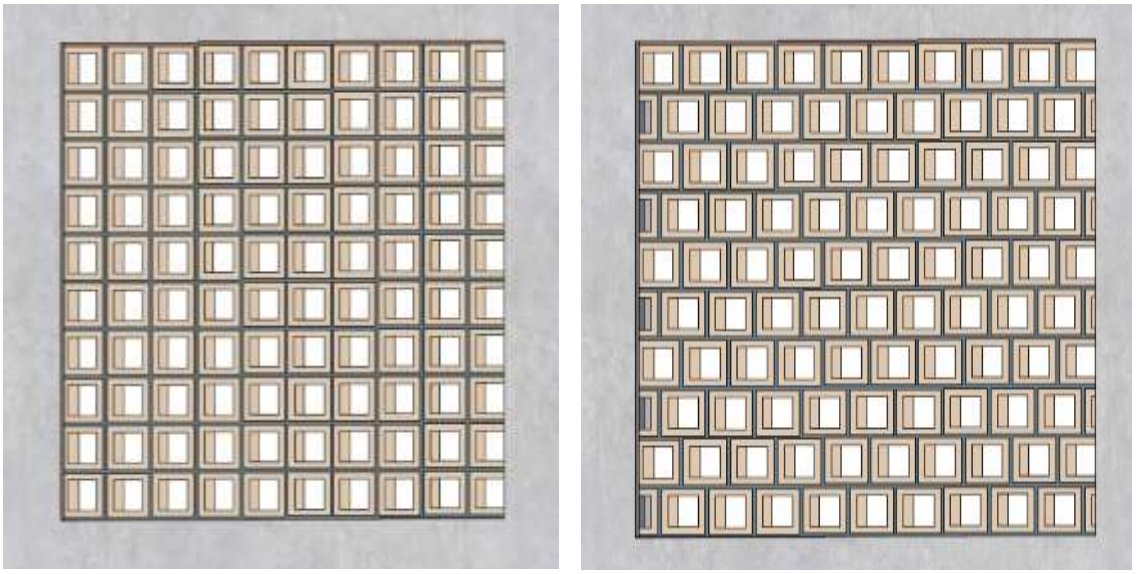


Figure 33 - Appareillage avec recouvrement supérieur à L/3

5.2. Moucharabiehs réalisés avec des éléments ajourés

Ce type de moucharabieh est réalisé avec des éléments ajourés en terre cuite, posés « à l'américaine » (appareillage en piles), ou avec une mise en œuvre à joints décalés (Figure 34).

La mise en œuvre est comparable à celle des moucharabiehs composés de briques standard. Les claustras carrés ou rectangulaires sont les plus courants mais les éléments constitutifs du moucharabieh peuvent prendre d'autres formes à l'exemple des claustras byzantins. Les finitions de surface peuvent aussi varier (finitions brute, émaillée…).



a) b)

Figure 34 - Moucharabiehs à éléments ajourés : a) pose à l'américaine, b) pose à joints décalés

Les moucharabiehs réalisés avec des éléments ajourés en terre cuite visent des applications intérieures ou extérieures, et sont non-porteurs.

Dispositions de montage : Dans le cas de l'appareillage américain, la liaison entre éléments est moindre, par rapport à la pose à joints décalés. Cela limite les dimensions possibles en l'absence de renforcement. Les dispositions suivantes sont envisageables :

- Joints de 10 mm ;
- Montage sans renforts limité à 3 m de longueur et 2 m de hauteur ;
- Pose avec renforts ancrés dans le support (Figure 35) :
    - Implantation de renforts horizontaux (ϕ 3 mm) toutes les 2 ou 3 rangées ;
    - Mise en place d'aciers verticaux espacés de 1 à 1,2 m.

La découpe des éléments de rive est à réaliser de manière soignée, à l'aide d'outils adaptés.

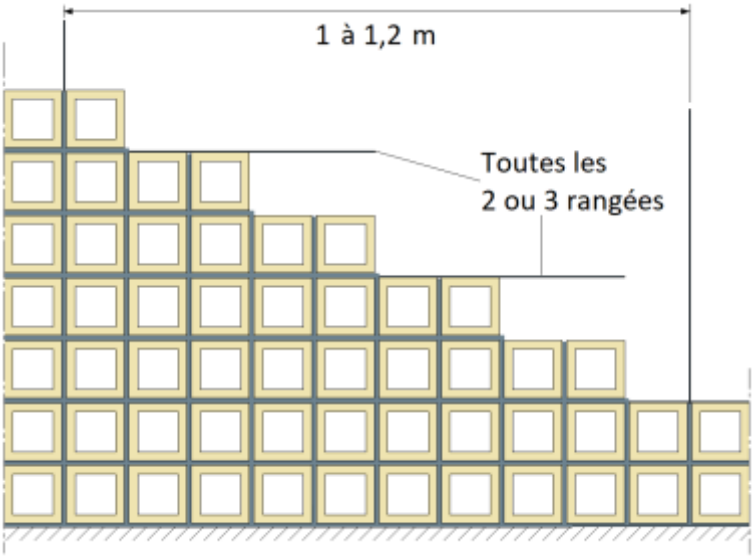


Figure 35 - Schéma d'implantation des éléments de renfort

Il est recommandé de ménager un vide de 1 cm en tête de l'ouvrage (avec bourrage au mastic ou au mortier de chaux), pour éviter la mise en compression des éléments [5]. Des échancrures latérales ménagées dans l'encadrement en béton et garnies d'un matériau résilient agissent comme des joints de dilatation [6]. Ces dispositions sont illustrées sur la Figure 36.

Lors de la mise en œuvre de claustras dans des murets bas (sans fonction garde-corps), un couronnement en béton armé coulé en place est réalisé, pour garantir la stabilité de l'ensemble [5]. En cours de montage, veiller au nettoyage des traces de mortier sur les faces exposées des claustras. Les éventuelles traces sont à nettoyer immédiatement à l'aide d'une éponge humide.

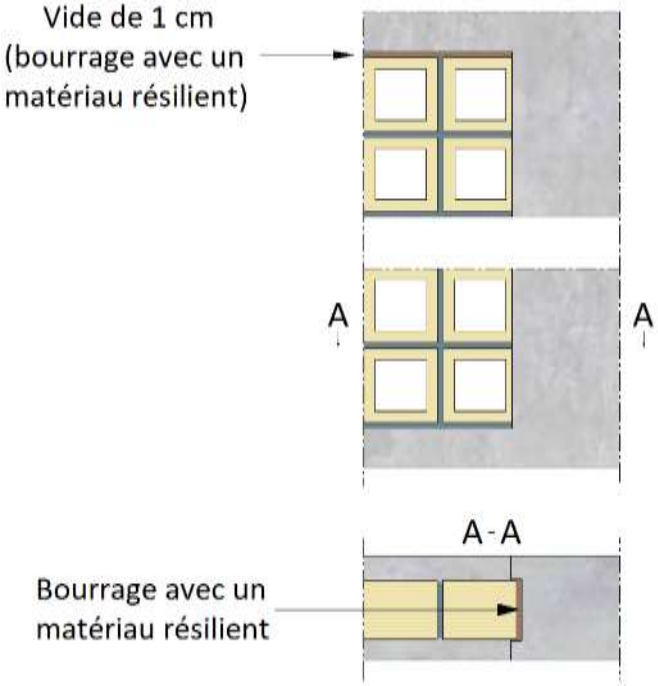


Figure 36 - Claustras : traitement d'about et joint en tête

5.3. Moucharabiehs intégrés dans des éléments préfabriqués

L'intégration de moucharabiehs dans des éléments préfabriqués (en métal, béton armé, etc.) permet un contrôle plus aisé des montages. Cette technique réduit fortement les temps de mise en œuvre. L'utilisation de procédés de collage spécifiques, généralement à base de résines chimiques, permet de mieux gérer les contraintes de production en usine (temps de séchage, etc.).

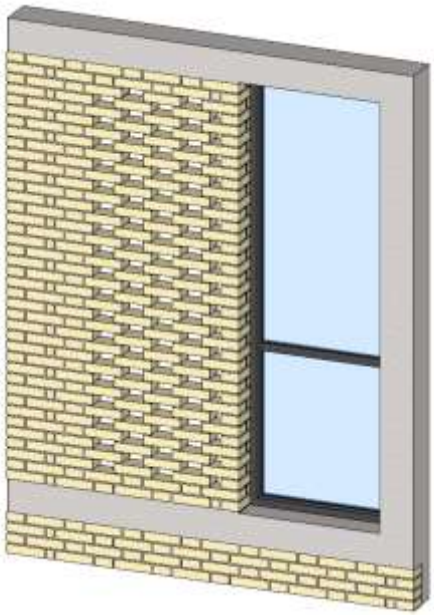


Figure 37 - Moucharabieh intégré dans un élément préfabriqué en béton armé ou en métal

6. Murs avec briques en saillie

La disposition des briques en saillie est utilisée à des fins architecturales. Les combinaisons possibles en jouant sur les débords des briques, positions (à l'horizontale ou à la verticale), couleurs, tailles des éléments et angles de pose sont nombreuses.

L'implantation des briques en saillie peut également être envisagée pour moduler les caractéristiques acoustiques des ambiances intérieures.

6.1. Types de mur visés

Les types de murs visés sont les murs à simple paroi, les murs doubles et les murs composites, conçus et réalisés selon les prescriptions du NF DTU 20.1. Le présent guide n'aborde que les spécificités d'implantation des briques en saillie dans ces murs.

- Mur à simple paroi (débord des briques ≤ 3 cm) :
  - Mur en briques de type U : épaisseur ≥ 22 cm
  - Utilisation de briques faisant toute l'épaisseur du mur ou composition en briques de plus petites dimensions, avec un harpage efficace
- Mur double (débord ≤ 3 cm) :
  - Parement extérieur en briques de type U : épaisseur de 9 à 22 cm
  - Paroi interne en maçonnerie d'éléments d'épaisseur ≥ 15 cm, ou en béton banché d'épaisseur conforme à la NF EN 1992-1-1
  - Lame d'air : ≥ 2 cm
  - Parois solidarisées à raison de 2 à 5 attaches/m^2
- Mur composite :
  - Parement extérieur en briques de type U : épaisseur ≥ 9 cm
  - Paroi interne en maçonnerie de terre cuite (≥ 20 cm) ou béton banché (≥ 15 cm)
  - Epaisseur totale : ≥ 30 cm
  - Parois solidarisées à raison de 4 attaches/m^2

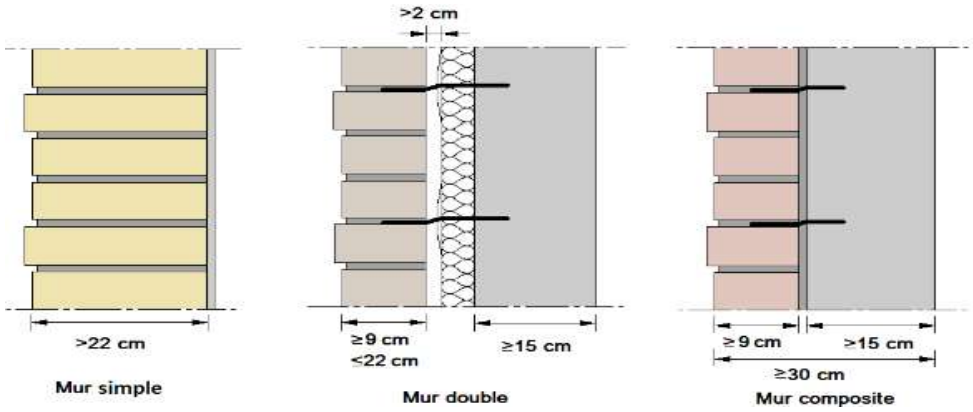


Figure 38 - Types de mur visés

6.2. Points de vigilance

- Stabilité durant la mise en œuvre : les briques doivent être stables durant le montage. Le cas échéant, des dispositifs d'étayage sont à prévoir.

- Exposition des perforations (lors de l'utilisation de briques perforées) : l'impact de l'exposition des perforations sur l'aspect visuel global de l'ouvrage doit être pris en compte durant la conception.

- Prise en compte des risques de vandalisme : l'implantation de briques en saillie en parties basses n'est pas recommandée (risques de vandalisme, etc.). Il est préférable de réserver cette disposition aux zones non accessibles au public (démarrage à h ≥ 3 m, par exemple).

- Risques d'escalade : les murs avec briques en saillie peuvent être faciles à escalader (surtout si le débord des briques est important). Leur zone d'implantation doit être inaccessible.

- Résistance mécanique des éléments en saillie : les parties en débord sont plus exposées aux chocs et risquent d'être endommagées. Il est recommandé de choisir des éléments ayant une résistance suffisante pour éviter l'endommagement (impact d'objets lourds, actes de vandalisme, etc.)

- Stagnation de l'eau de pluie et risques d'encrassement : Prévoir, le cas échéant, des dispositions architecturales (débords de toiture, par exemple) permettant de réduire l'exposition à la pluie.

- Exposition au soleil : Prise en compte de l'exposition de l'ouvrage au soleil (façades orientées plein sud) et du coefficient d'absorption solaire lors de la conception.

- Développements fongiques : Dans certaines situations (façades exposées au nord, à proximité de végétations, etc.), le risque de développement de mousses peut être accru.

6.3. Mise en œuvre des briques

6.3.1. Appareillages

Le type d'appareillage joue un rôle important dans l'esthétique de l'ouvrage et dans sa résistance mécanique. En plus des appareillages standard présentés dans cette section, des dispositions moins courantes existent, qui doivent être étudiées de manière spécifique :

- Appareillage de panneresses ou appareillage en demi-brique (Figure 39) : adapté à la réalisation de murs d'épaisseur simple (une épaisseur de briques, souvent le cas en parement dans les murs doubles ou les murs composites). Permet un traitement simplifié des angles, et possède un harpage optimal.

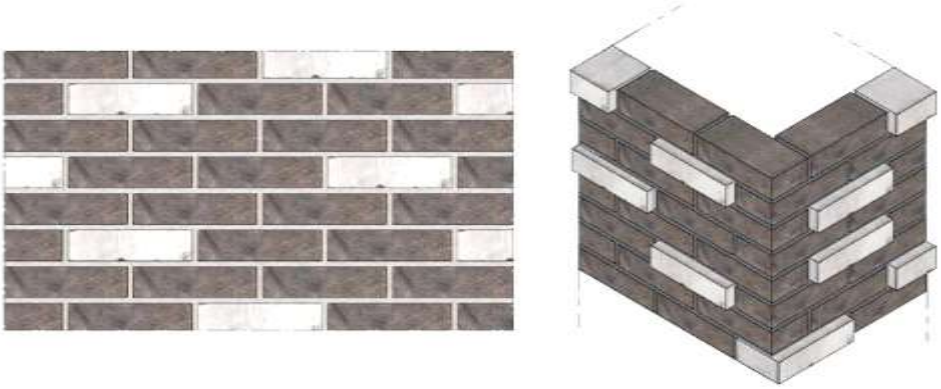


Figure 39 - Appareillage en panneresses/demi-brique

- Appareillage en ¼ ou ¾ de brique (Figure 40) : similaire à l'appareillage à demi-brique, avec un harpage moins efficace et un traitement des angles moins aisé (découpe de briques). Permet une intégration plus simple des moucharabiehs (voir le paragraphe § 5.1.7).

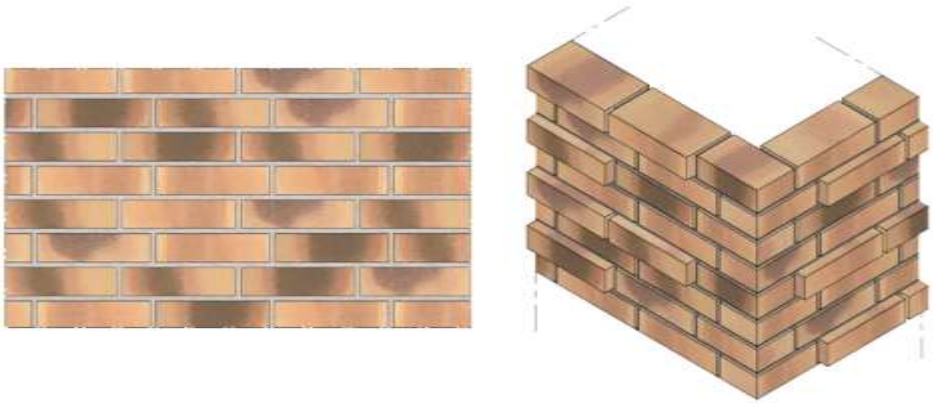


Figure 40 - Appareillage en 1/4 ou 3/4 de brique

- Appareillage en chaîne (Figure 41) : adapté à la réalisation de murs d'épaisseur importante (deux épaisseurs de briques). La réalisation de murs d'épaisseur simple demande l'utilisation de demi-briques ou de briques découpées.

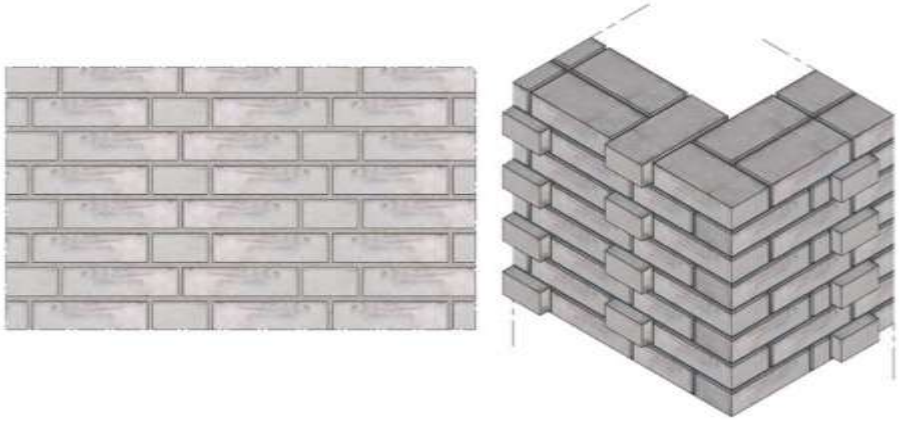


Figure 41 - Appareillage en chaîne

- Appareillage flamand (Figure 42) : adapté à la réalisation de murs d'épaisseur importante (deux épaisseurs de briques). La réalisation de murs d'épaisseur simple demande l'utilisation de demi-briques ou de briques découpées. Permet une transition facilitée entre moucharabieh, maçonnerie courante, et maçonnerie avec briques en saillie (voir le paragraphe § 5.1.7).

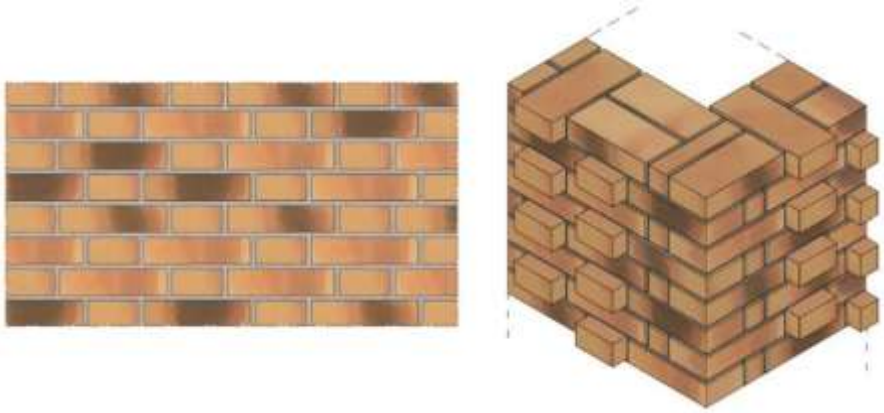


Figure 42 - Appareillage flamand

- Appareillage en boutisses (Figure 43) : adapté à la réalisation de murs d'épaisseur importante. Permet la réalisation de murs en courbe avec un rayon réduit, généralement pour un rayon inférieur à 2 m [7].

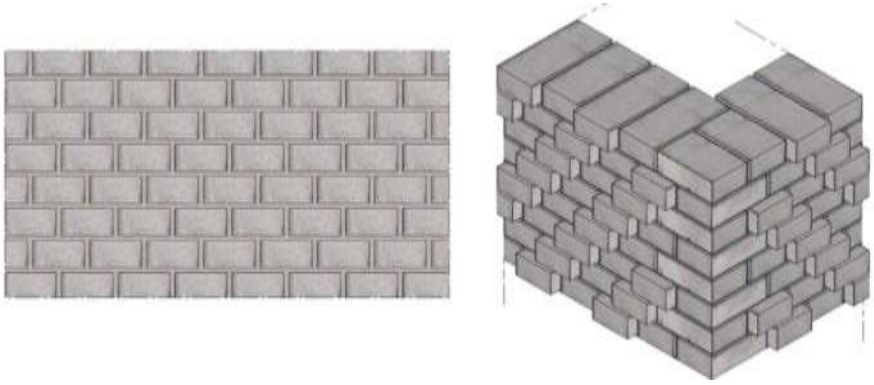


Figure 43 - Appareillage en boutisse

- Appareillage américain (Figure 44) : pose des briques sans harpage. L'absence de recouvrement entre briques réduit la résistance du mur et augmente le risque de fissuration le long des joints verticaux. Des aciers de renforts sont nécessaires toutes les 4 rangées de briques [8] et dans le premier joint au bord d'une extrémité non-supportée [9] (Figure 45). Il est recommandé l'augmentation de la densité d'attaches dans les murs composites utilisant cet appareillage [9].

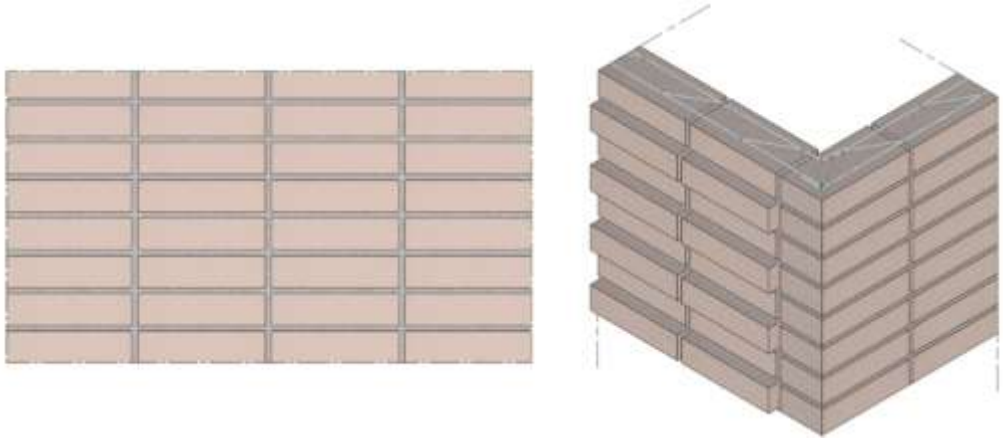


Figure 44 - Appareillage américain

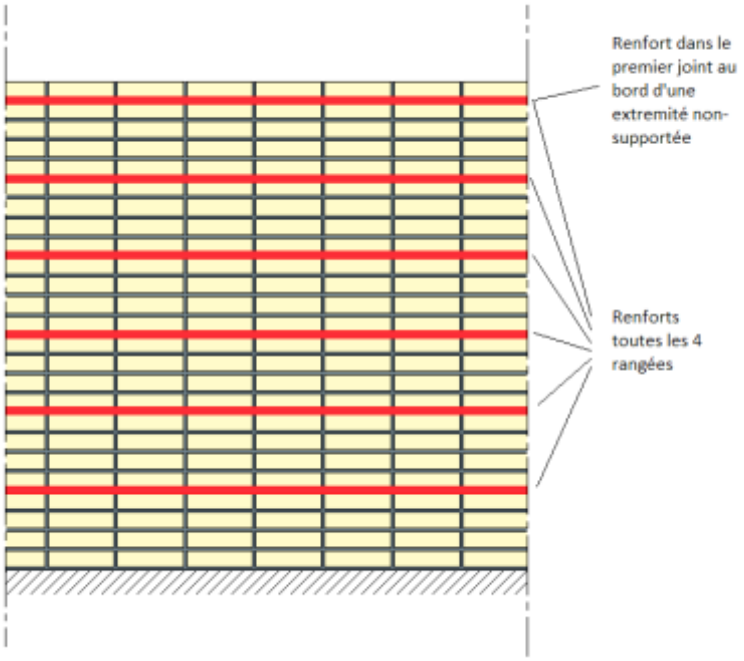


Figure 45 - Implantation d'éléments de renfort dans les joints (appareillage américain)

Note 4 : L'appareillage américain ne rentre pas dans le périmètre de la norme NF DTU 20.1.

6.3.2. Débords des briques

Différentes dispositions sont utilisables pour l'obtention de relief en façade :

- Utilisation de briques de dimensions plus importantes par rapport aux briques de la partie courante :

  Débord maximal du minimum entre le tiers (1/3) de la largeur de la brique saillante et 3 cm pour les murs composites, simples ou doubles.

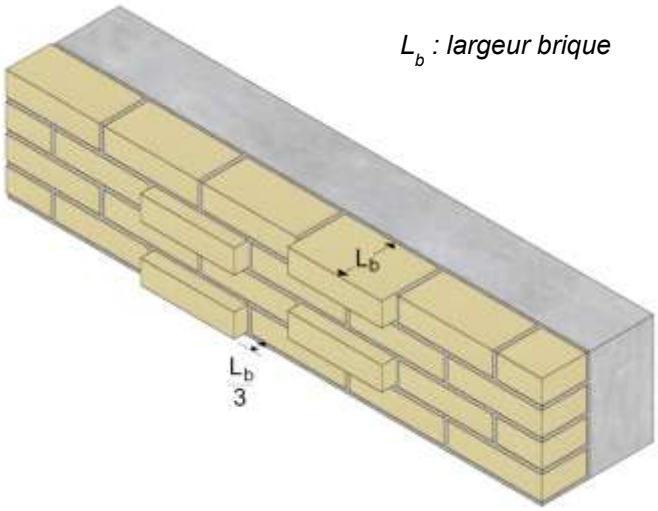


Figure 46 - Débord maximal – Disposition standard des briques

- Pose des briques dans un sens opposé au sens des éléments en partie courante :

  Débord maximal du minimum entre le tiers (1/3) de la longueur de la brique saillante et 3 cm pour les murs composites, simples ou doubles.

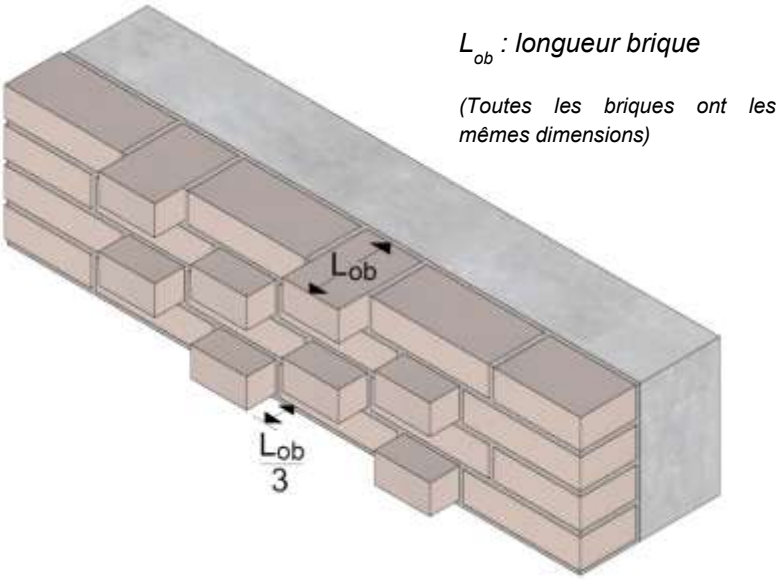


Figure 47 - Débord maximal - Briques disposées perpendiculairement

- Utilisation d'éléments de maçonnerie de formes variées (Figure 48) [10] :

  Il est nécessaire de s'assurer de la stabilité du mur (y compris pendant le montage). Des dispositions autorisant un harpage efficace sont nécessaires. Le débord maximal dépend de la géométrie des éléments utilisés ; à étudier au cas par cas.

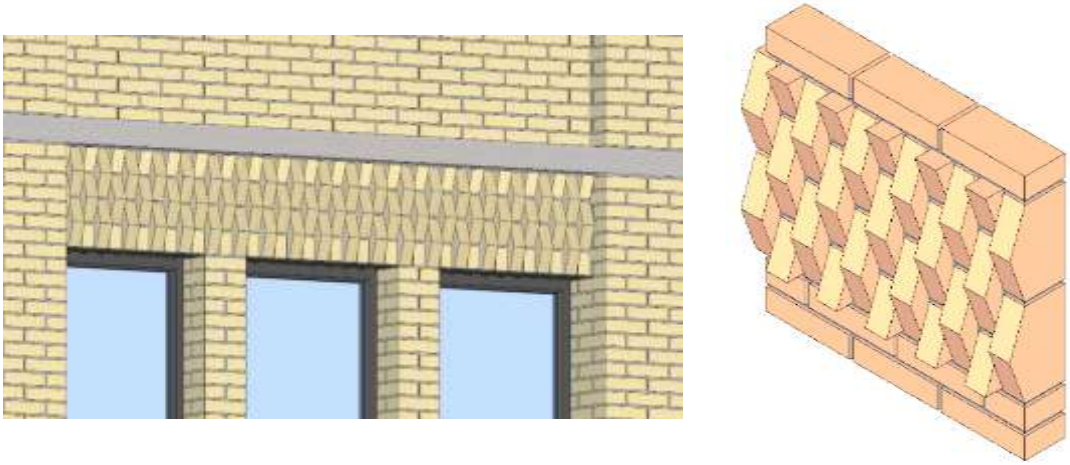


Figure 48 - Utilisation d'éléments de maçonnerie de forme polygonale

- Disposition des briques en biais (Figure 49) :

  La disposition de briques en biais doit être réalisée en tenant compte de la stabilité de l'ouvrage. Les assises minimales recommandées par la norme NF DTU 20.1 pour les différents types de mur doivent être respectées dans les murs intégrant des briques en biais (assise ≥ 9 cm).

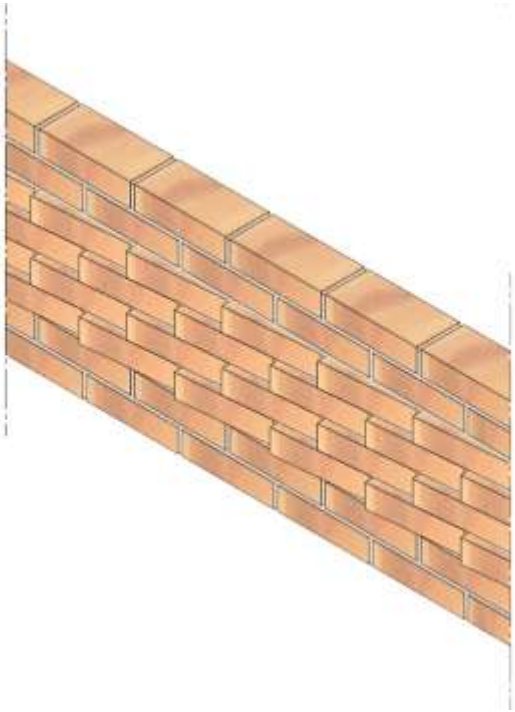


Figure 49 - Mur avec disposition de briques en biais

6.3.3. Autres dispositions

Dispositions non-conventionnelles des briques : exemples des Figure 50, Figure 51 et Figure 52.

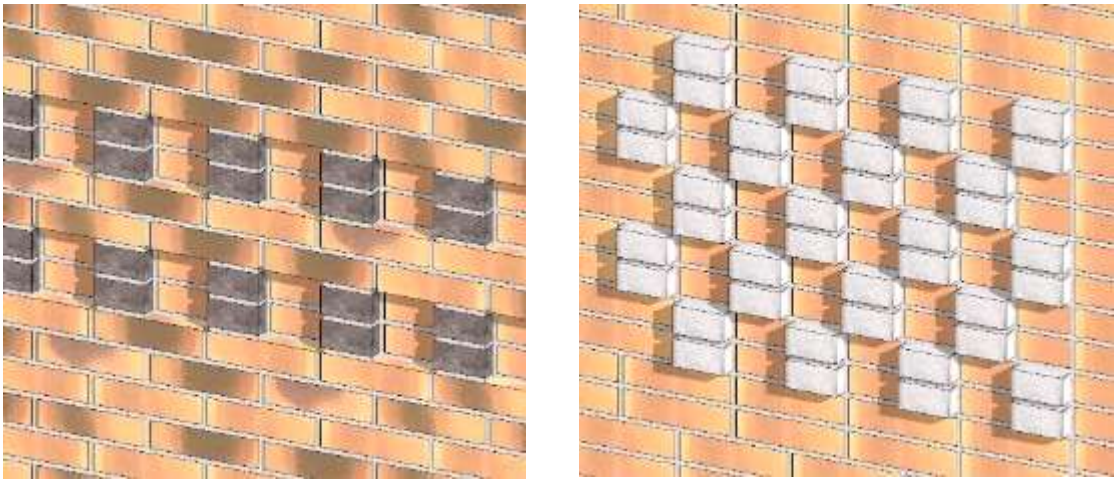


Figure 50 - Exemples de dispositions non-conventionnelles de briques

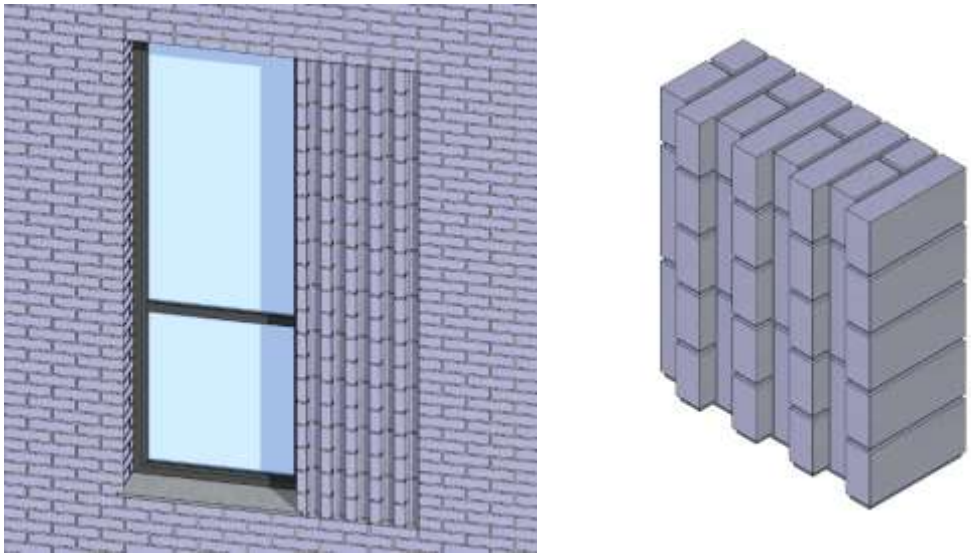


Figure 51 – Exemple de disposition non-conventionnelle de briques

Les appareillages complexes peuvent demander des dispositifs de solidarisation et de maintien spécifiques, et nécessitent des études propres.

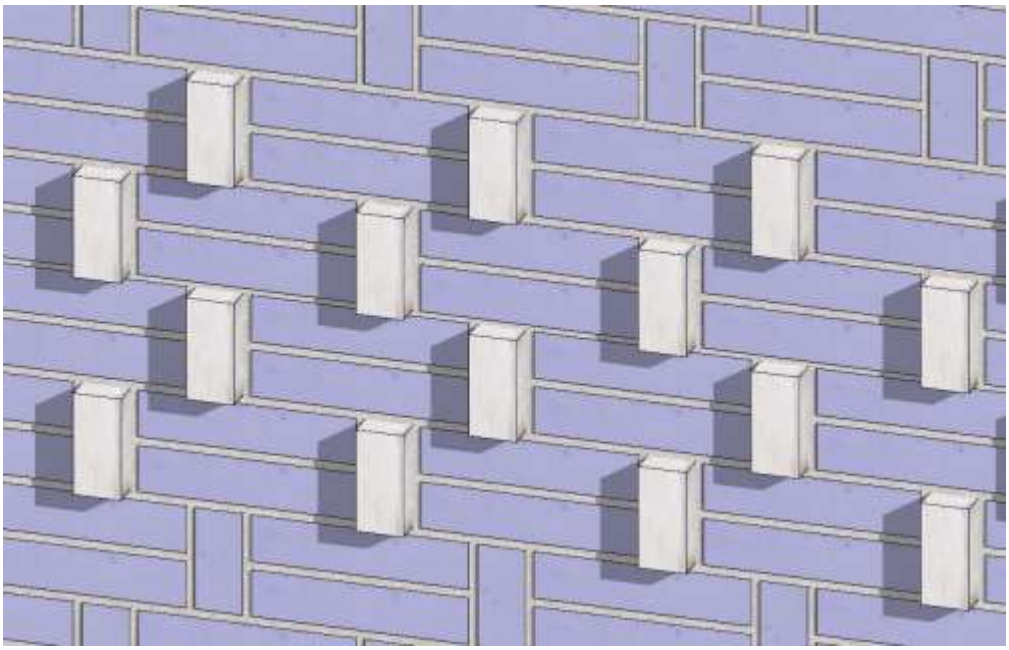


Figure 52 - Disposition non-conventionnelle de briques

6.3.4. Encorbellements

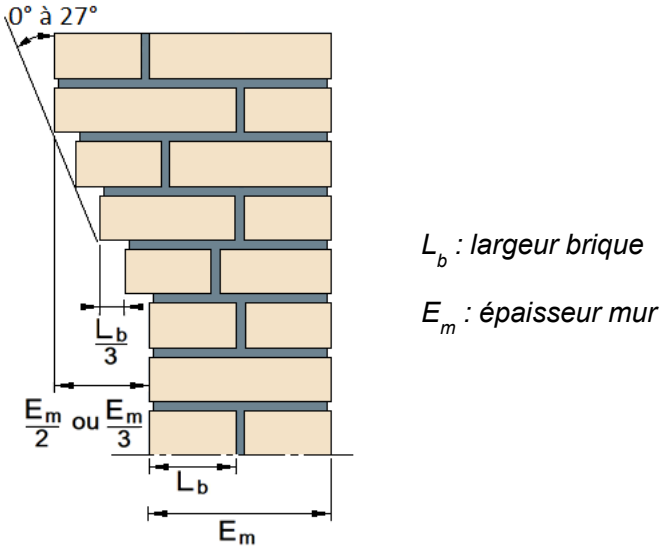


Figure 53 - Briques en encorbellement

Combinaison de saillies successives permettant la réalisation d'un débord plus important que celui possible avec une brique seule posée en saillie. Cette technique est réservée à des constructions de hauteur limitée (≤ 3 m). Le débord total sans dispositions complémentaires de solidarisation (i.e. sans épingles de retenue) est limité à une fraction de la largeur du mur sous-jacent (Figure 53) : les projections d'encorbellement vont jusqu'au tiers (voire la moitié en cas des murets de clôture de jardins, par exemple) de l'épaisseur du mur. L'angle d'encorbellement

varie de 0° à 27°. Les encorbellements sont à l'origine d'une excentricité des charges qui doit être prise en compte dans la vérification de la stabilité mécanique [11].

Note 5 : L'utilisation d'éléments de supportage, attaches ou armatures pour augmenter la projection maximale des encorbellements est hors de la portée de ce guide.

Note 6 : La longueur d'encorbellement doit être inférieure ou égale à la moitié de l'épaisseur du mur.

6.4. Murs en courbe

La réalisation de murs en courbe permet d'obtenir des formes originales. L'intégration d'éléments en saillie et/ou moucharabiehs aux murs courbes non-porteurs (sous réserve que le rayon de courbure de l'ouvrage soit adapté) est possible (Figure 54). L'augmentation de l'inertie par rapport à un mur droit confère une très bonne résistance aux charges horizontales, de l'extérieur vers l'intérieur (effet d'arche) [7].

Figure 54 - Mur en courbe avec disposition de briques en saillie

Ce type de mur peut être réalisé avec des briques courbes, des briques découpées en angle, ou des briques droites posées en angle. Dans ce dernier cas, l'épaisseur des joints verticaux est variable ; ils sont plus étroits à l'intérieur de la courbe et plus épais à l'extérieur. Il est recommandé que les joints verticaux dans la courbe aient une épaisseur entre 6 et 17 mm, pour des joints de 10 mm en partie courante (Figure 55) [7].

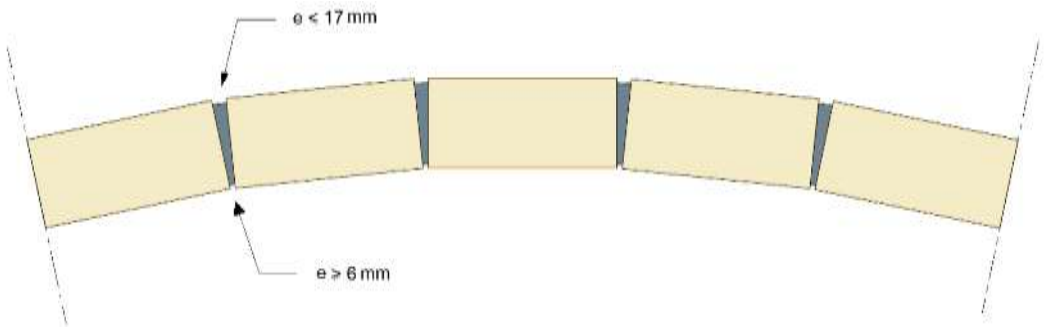


Figure 55 - Épaisseurs des joints dans un mur en courbe avec joints de 10 mm en partie courante – Vue de dessus

La régularité de la courbe dépend de son rayon, et des dimensions des briques : des rayons plus petits et des briques plus grandes entraînent des parements plus facettés (Figure 56). Pour des courbes de petit rayon, l'utilisation des briques en boutisse est une option pour réduire l'effet de facettage.

Figure 56 - Effet de facettage

Lors de la disposition des briques en courbe, les extrémités des briques restent légèrement en débord. Pour des courbes avec rayons faibles (moins de 2 m), cet effet est plus prononcé et l'utilisation d'appareillages avec des recouvrements moins importants (flamand, quart de brique) permet de l'atténuer [7].

7. Joints de dilatation, de rupture et de fractionnement

Les dilatations et retraits engendrés par les variations hygrothermiques, ou liés à la mise en œuvre des matériaux, augmentent les risques de fissuration. Des mouvements du sol sous-jacent peuvent également accentuer ces risques. En moyenne, un mur en maçonnerie de brique se dilate de 1 mm par mètre sur l'ensemble de sa vie en œuvre [12]. Cette dilatation est majoritairement due aux variations de températures (pour $\Delta T = 1\ °C$, $4x10^{-6}\ m \leq \Delta l_{brique} \leq 8x10^{-6}\ m$). Les variations dimensionnelles des briques liées au changement hygrométriques sont faibles [13].

Des joints disposés convenablement et garnis de matériaux résilients permettent de tenir compte des mouvements, et de préserver l'intégrité de l'ouvrage. Les joints peuvent concerner l'ensemble du gros œuvre, ou uniquement la maçonnerie (joint de fractionnement) [14].

- Joints de dilatation et de rupture :

  L'espacement et le positionnement des joints du gros-œuvre dépendent des caractéristiques géologiques et climatiques de la région d'implantation de l'ouvrage, des matériaux utilisés, et de la géométrie du bâtiment. Les distances maximales entre joints de dilatation du gros-œuvre vont de 20 à 50 m, selon la région et le type d'ouvrage. Les murs en maçonnerie doivent respecter les joints de dilatation et de rupture du gros-œuvre.

- Joints de fractionnement :

  Les grands pans de maçonnerie sont partitionnés par des joints de fractionnement, continus sur toute leur hauteur, afin de tenir compte des variations dimensionnelles. Il est recommandé la disposition de joints délimitant des surfaces d'au plus 60 m^2, avec des joints verticaux espacés d'au plus 12 m, dans le cas des maçonneries de parement non-renforcées, sans fonction structurale [14] (l'utilisation d'armatures peut permettre une augmentation de cet espacement, pouvant aller jusqu'à 40% [15]).

Note 7 : Les joints de fractionnement sont présentés plus en détail dans la norme NF DTU 20.1 ; ils doivent respecter les dispositions de la norme NF EN 1996-2 (Eurocode 6).

Les joints de fractionnement horizontaux sont ménagés préférentiellement à tous les niveaux pour les moucharabiehs, et au plus tous les 3 étages ou tous les 9 m pour les murs de parement avec briques en saillie [12] (dans le cas d'un mur filant non porteur devant la façade, des consoles de supportage sont à prévoir ; dans ce cas, la distance entre joints horizontaux correspond à 2 étages). Par ailleurs, si la hauteur de l'édifice est inférieure à 12 m, et s'il ne dépasse pas 4 étages, aucun joint horizontal n'est nécessaire.

Les façades orientées plein sud, sud-est et sud-ouest sont exposées à des variations dimensionnelles plus importantes (surtout si les briques ont un coefficient d'absorption du rayonnement solaire élevé). Une réduction de la distance entre joints est alors recommandée. Des joints de fractionnement doivent être prévus à l'interface entre matériaux possédant des coefficients de dilatation différents [12], au droit de changements significatifs de hauteur dans l'ouvrage, et dans la transition entre murs courbes et droits [7].

Les caractéristiques du bâtiment doivent être prises en compte dans le positionnement des joints :

- Dans les retours, la longueur entre le joint et l'angle est limitée à la moitié de la distance maximale entre joints prévue en partie courante [12].
- Dans le cas de deux angles consécutifs, un rentrant et un sortant, séparés de moins de 70 cm, la réalisation d'un joint au niveau d'un seul des deux angles est à envisager. S'ils sont distants de plus de plus de 70 cm, il est conseillé de réaliser les joints après les retours à une distance de 1 à 2 m [12].
- Les acrotères, parapets et murets sans chaînage en partie supérieure ont un espacement entre joints proche de la moitié de celui adopté en partie courante [12].
- Pour les murs en serpentins, les joint doivent être placés à des intervalles de longueur d'onde complet, à l'endroit de l'inversion de courbure [7].

Les dispositions mentionnées au-dessus sont résumées par la Figure 57.

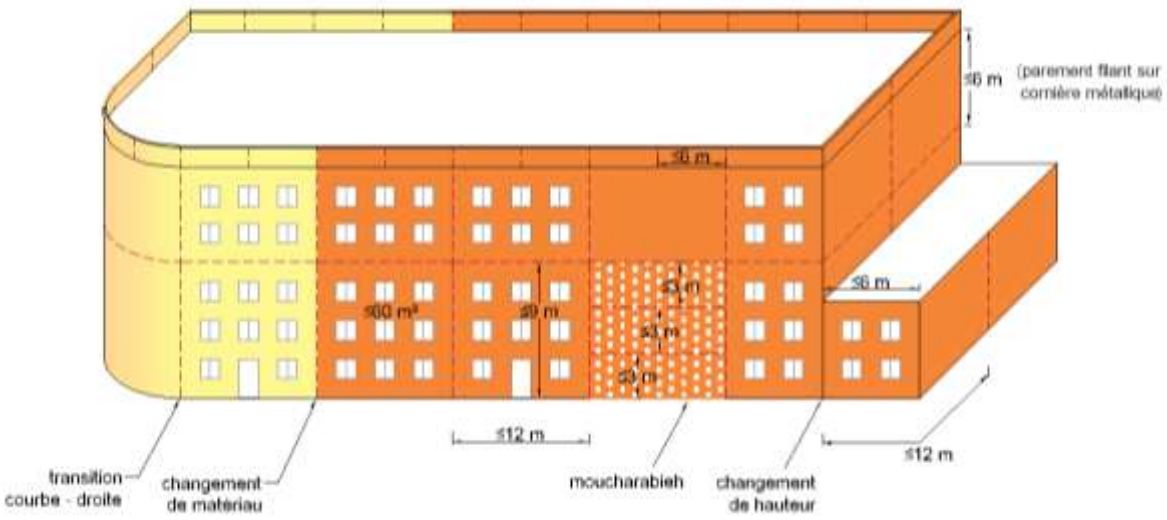


Figure 57 - Implantation des joints de dilatation et de fractionnement

La largeur recommandée des joints (verticaux et horizontaux) doit être suffisante pour que la dilatation des murs soit inférieure à 60% de leur dimension [16]. Comme règle générale, sont suffisants des joints dont l'épaisseur en millimètres est 30% supérieure à la longueur en mètres du pan de mur correspondant [12] (exemple : joints de 13 mm pour un pan de mur de 10 m).

Les attaches de fixation du parement aux supports proches des bords des joints doivent garantir la stabilité du parement sans entraver la capacité du joint à absorber les mouvements liés aux dilatations et/ou rétractions.

Les caractéristiques de l'environnement et des matériaux utilisés doivent être prises en compte lors de la détermination de la distance entre le joint et les attaches liant le parement au support. Les recommandations varient de moins de 225 mm, selon le National House Building Council (NHBC) [17], à plus de 500 mm [15]. Des attaches de cisaillement adaptées (Figure 58) peuvent être insérées perpendiculairement au joint, espacées verticalement d'au plus 300 mm, pour lier les deux côtés du parement. Si les attaches de cisaillement sont présentes, les attaches liant le parement au support peuvent être espacées comme en partie courante [17].

Note 8: Les attaches de cisaillements doivent être conformes à la norme NF EN 845-1 + A1

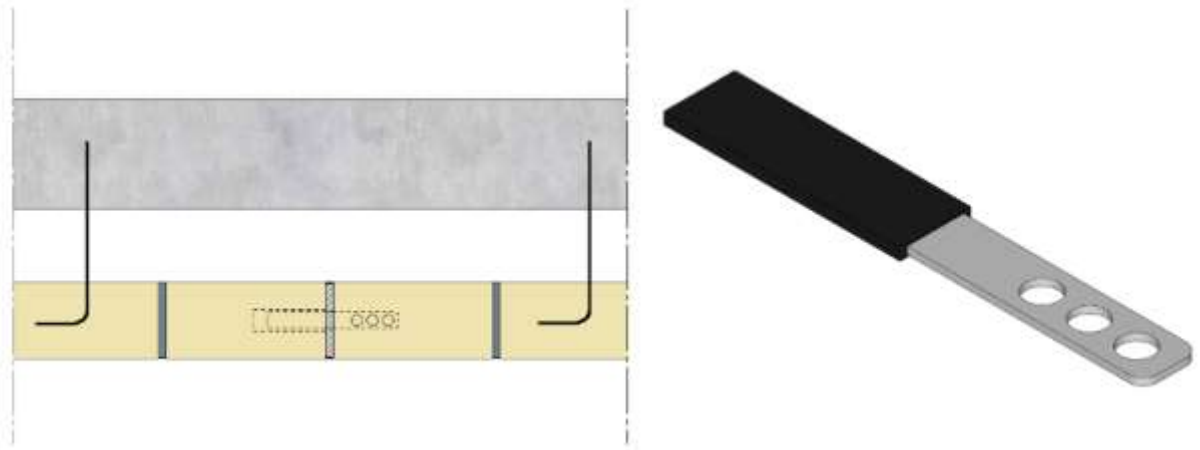


Figure 58 - Attache de cisaillement

Les joints de dilatation et de fractionnement restent ouverts pendant le montage de la maçonnerie [15]. Une fois terminé le montage, ils sont remplis avec un matériau souple et imputrescible (polyéthylène cellulaire ou polyuréthane cellulaire, par exemple [12]), et pour assurer l'étanchéité de l'ouvrage, sont colmatés, à l'extérieur, avec un mastic. En effet, les joints sont à remplir pour éviter l'infiltration d'eau [18]. La norme NF DTU 44.1 « Etanchéité des joints de façade par mise en œuvre de mastics » donne des informations utiles sur ce sujet.

Dans certains cas, il est possible de masquer les joints derrière d'autres éléments de l'ouvrage, ou de les implanter au droit des angles du parement, afin de réduire leur impact sur l'esthétique d'ensemble.

8. Disposition des renforts dans les joints horizontaux

Les armatures dans les joints horizontaux ont deux fonctions principales : renforcement mécanique et limitation de la fissuration (voir, à titre d'exemple, la documentation Murfor Compact [19]).

Leur utilisation est envisageable au droit des baies, dans les pignons, et dans les murs de grandes dimensions. Les armatures marouflées dans les joints sont utilisées également dans les éléments de faibles dimensions soumis à la flexion par des charges modérées, comme les linteaux.

- Positionnement dans les joints : les armatures sont insérées dans les joints horizontaux réalisés au mortier traditionnel ou au mortier colle, suivant les détails de la Figure 59, afin de garantir leur bon enrobage, et leur protection contre la corrosion :

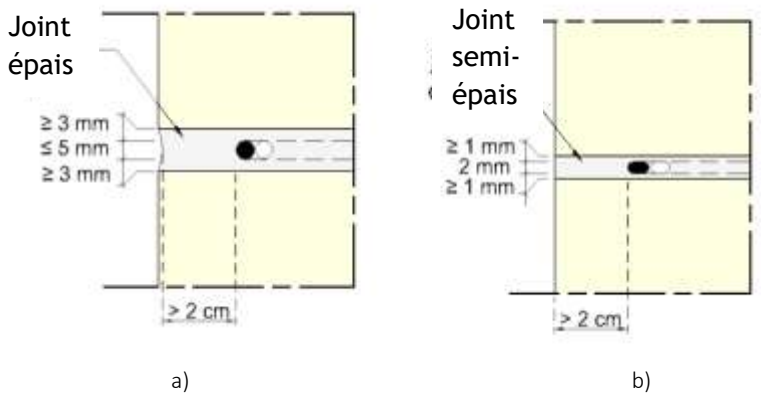


Figure 59 - Disposition des armatures dans les joints : a) Maçonnerie au joint épais, b) Maçonnerie au joint semi-épais

- L'implantation des armatures de renfort se fait également sur les bases décrites ci-dessous :

  Armatures réparties sur au moins 3 lits (chacun comprenant deux fils, et ayant une section d'aciers filants d'au moins 0,35 cm^2) : 2 au niveau des planchers et 1 dans le joint immédiatement sous les allèges (ou dans une hauteur équivalente, dans les murs sans ouvertures), dispositions illustrées par la Figure 60.

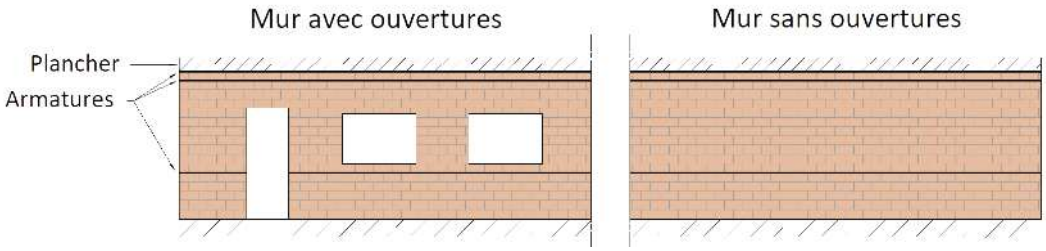


Figure 60 – Implantation des armatures

Note 9 : Les linteaux en maçonnerie demandent des dispositions spécifiques qui ne sont pas abordées dans ce guide.

- Raccordement entre sections d'armatures : réalisé en partie courante en posant les aciers l'un à côté de l'autre, avec un recouvrement d'au moins 15 cm (25 cm pour les armatures recouvertes d'une couche d'époxy) [20], comme illustré par la Figure 61. La réalisation des raccordements de différentes rangées de briques dans un même plan vertical est à éviter.

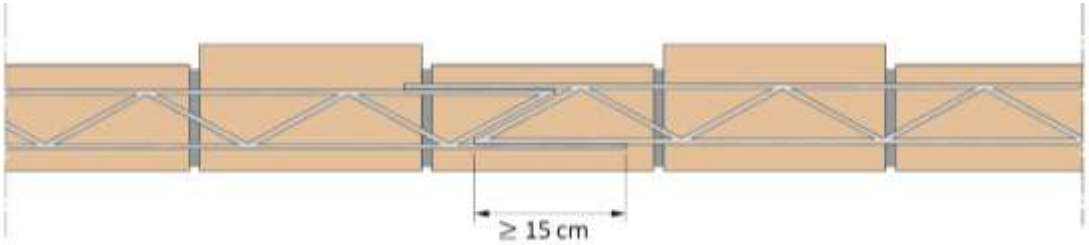
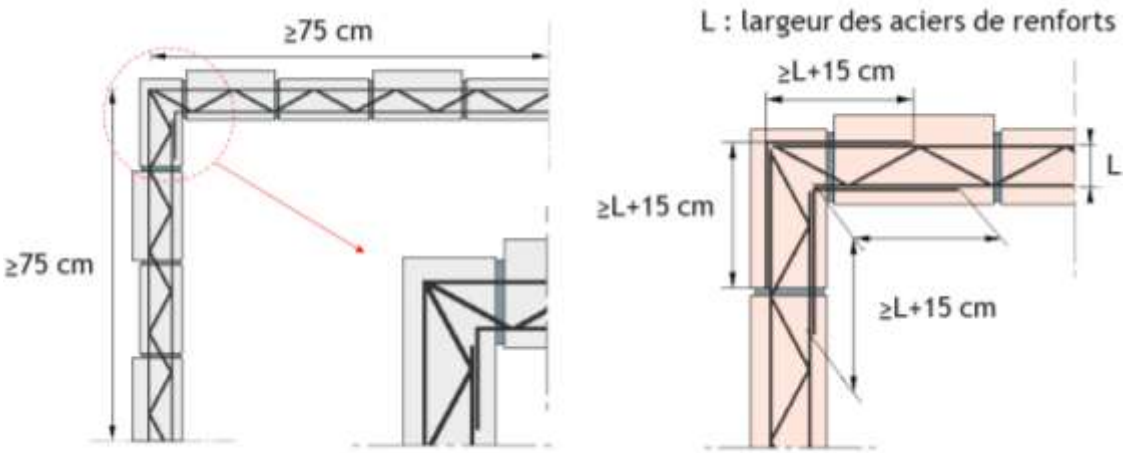


Figure 61 - Recouvrement entre sections d'armature – Vue de dessus

Note 10 : Consulter les recommandations du fabricant d'armatures sur le sujet ; le recouvrement minimal peut varier pour d'autres types d'armatures.

Dans les angles, la disposition à adopter dépend du type de joint :

- Joints au mortier traditionnel épais : découper l'un des côtés de l'armature à 2 cm de la soudure et plier l'armature suivant la Figure 62. La distance entre l'angle et le raccordement à la prochaine armature est d'au moins 75 cm.
- Joints au mortier semi-épais : utilisation de deux aciers en L dont chaque côté mesure au moins la largeur de l'armature plus 15 cm, disposés comme indiqué sur la Figure 62 [20].



a) Joints au mortier traditionnel épais

b) Joints au mortier semi-épais

Figure 62 - Dispositions des renforts dans les angles – Vue de dessus : a) Maçonnerie au joint épais, b) Maçonnerie au joint semi-épais

9.Bibliographie

[1] MPA Mortar, *Data sheet 21 - Hydraulic Lime Mortars,* Londres, 2012.

[2] MPA Mortar, *Data sheet 18 - The use of lime in mortar,* Londres, 2012.

[3] Brick Development Association, *Mortar for Brickwork,* Londres, 2017.

[4] Brick Development Association, *BDA Design Note 02 - Hit and Miss Brickwork,* Londres, 2019.

[5] M. B. J. C. Henri BERBESSON, Caractéristiques emploi et mise en oeuvre des produits de terre cuite de bâtiment, Paris: Imprimerie SOUCHET S.A., 1979.

[6] M. Kornmann, Matériaux de construction en terre cuite - Fabrication et propriétés, Paris: Éditions Septima, 2005.

[7] Think Brick Australia, *Brick curves fact sheet,* St. Leonards.

[8] Wienerberger, *Solutions façade - Guide technique de mise-en-oeuvre,* Achenheim, 2017.

[9] Think Brick Australia, *Stack Bonding Fact Sheet,* St. Leonards.

[10] Brick Development Association, *BDA Design Note 01 - Textured Brickwork,* Londres, 2019.

[11] The Brick Industry Association, *Technical Notes 36A - Brick Masonry Details, Caps and Copings, Corbels and Racking,* Reston, USA, 2001.

[12] Brick Development Association, *Designing for movement in brickwork,* Londres, 2016.

[13] The Clay Brick Association of Southern Africa (CBASA), *Clay brick vs concrate : Movement of masonry (Technical note n°20).*

[14] Terreal, *Guide Technique Façade,* Suresnes.

[15] Wienerberger, «Quid des joints de dilatation en maçonnerie de parement?,» [En ligne]. Available: https://www.wienerberger.be/fr/facade/inspiration-et-conseils/combien-de-joints-de-dilatations-seront-necessaires.html. [Accès le 28 09 2020].

[16] Fédération Belge de la Brique, «Distance entre joints de dilatation verticaux dans les maçonneries de parement,» 2018.

[17] NHBC, *Technical guidance - wall ties at movement joints,* Milton Keynes, 2016.

[18] Think Brick Australia, *Manual 9 - Detailing of Clay Masonry,* St Leonards.

[19] Bekaert, *Murfor Compact - Renforcement de maçonnerie sur rouleau,* 2017.

[20] Union Nationale de la Maçonnerie, *Maçonneries armées dans les joints horizontaux - Règles professionnelles simplifiées,* Paris, 1991.