

RÈGLES PROFESSIONNELLES BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE

BTC
MAYOTTE



CRAtterre éditions
Maison Levrat, Parc Fallavier
2, rue de la Buthière - B.P. 53
38092 Villefontaine cedex, France

ISBN (digital) : 979-10-96446-43-8
© 2022 CRAtterre / ART.Terre Mayotte



72, rue Saharangué
97600 Mamoudzou

Soutenu par



Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme Investissements d'avenir portant la référence ANR-10-LABX-0083.



Chaire UNESCO
Architecture de terre,
cultures constructives
et développement durable



Règles professionnelles Blocs de terre comprimée (BTC) Mayotte

Règles professionnelles acceptées par la C2P
avec retour de suivi d'expérience
Juillet 2022

Porteur du projet

ART.Terre Mayotte

Association mahoraise de la construction en terre
72, rue Saharangué
97600 Mamoudzou

Document réalisé avec l'assistance technique et scientifique de



International centre for earth construction



SOMMAIRE

LIMINAIRE	9
LISTE DES CONTRIBUTEURS	10
AVANT-PROPOS	11
INTRODUCTION	12
1. DOMAINE D'APPLICATION	14
1.1. DOMAINE D'EMPLOI, PRINCIPES CONSTRUCTIFS ET TYPES D'OUVRAGES	14
1.1.1. MAÇONNERIES PORTEUSES	14
1.1.2. MAÇONNERIES DE REMPLISSAGE D'OSSATURE	15
1.1.3. MAÇONNERIES POUR LES CLOISONS	17
1.2. LIMITATIONS D'USAGE	18
1.2.1. CONTRAINTES LIÉES AU CONTEXTE MAHORAIS	18
1.2.1.1. Zone climatique	18
1.2.1.2. Aléa sismique	19
1.2.1.3. AUTRES Aléas	19
1.2.2. CATÉGORIES DE BÂTIMENT CONSIDÉRÉES	19
1.2.3. JUSTIFICATION D'ORDRE STRUCTUREL	19
1.2.4. LIMITATIONS STRUCTURELLES ET PRECAUTIONS D'EMPLOI	20
1.2.4.1. mur porteur	20
1.2.4.2. Mur non porteur en remplissage d'ossature	20
1.2.4.3. cloison	21
1.2.4.4. Autres limitations et précautions d'emploi	21
1.2.5. COMPATIBILITÉ ET DÉFORMES DU GROS ŒUVRE	21
1.2.6. DIMENSIONNEMENT POUR ASSURER LA RESISTANCE AUX CHOCs	22
1.2.7. EXPOSITION À L'HUMIDITÉ DES PAROIS	23
2. MATÉRIAUX	25
2.1. BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE	25
2.1.1. TYPE DE BTC	25
2.1.2. DENSITÉ SÈCHE	26
2.1.3. RÉSISTANCE MÉCANIQUE	27
2.1.4. INFORMATIONS SUR LE BTC ET CARACTÉRISTIQUES COURANTES	29
2.2. MORTIERS DE POSE	29
2.2.1. CONSTITUANTS DES MORTIERS	30
2.2.1.1. Sables	30
2.2.1.2. Terres	31
2.2.1.3. Liants	31
2.2.1.4. Eau de gâchage	31
2.2.2. COMPOSITIONS DES MORTIERS	31
2.2.2.1. Mortier sable - liant	31
2.2.2.2. Mortier terre	32
2.2.2.3. Mortier pour jointoiement après coup de maçonnerie apparente	33
2.3. RÉSISTANCE DE LA MAÇONNERIE	33
2.3.1. RÉSISTANCE À LA COMPRESSION	33
2.3.2. AUTRES VALEURS DE RÉSISTANCE	36
2.3.2.1. Résistance initiale au cisaillement	36
2.3.2.2. valeur de résistance en flexion hors plan	36
2.3.3. VARIATIONS DIMENSIONNELLES DE LA MAÇONNERIE	36
2.4. AUTRES MATÉRIAUX	37
2.4.1. TRAITEMENT ET ÉTANCHÉITÉ DES JOINTS	37
2.4.2. BANDES DE DÉSOLIDARISATION ET MATÉRIAUX RÉSILIENTS	38
2.4.3. OSSATURE PORTEUSE (REPLISSAGE)	38
2.4.3.1. Ossature en béton	38
2.4.3.2. Ossature métallique	39
2.4.3.3. Ossature bois	39
2.4.4. ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES	40
2.4.4.1. Attaches, feuillards et ancrages	40
2.4.4.2. Armatures de renfort	41
2.4.5. ISOLANTS	41
2.4.6. PRODUITS DE FINITION DE LA MAÇONNERIE	41
2.4.6.1. Fixateur, vernis ou peinture	41
2.4.6.2. Enduit	42
2.4.6.3. Doublage	42
3. CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT	43
3.1. GUIDE POUR LE CHOIX DES TYPES DE MURS	43
3.1.1. RÉSISTANCE À LA PÉNÉTRATION DE LA PLUIE DES PAROIS EXTÉRIEURES	43

3.1.1.1. Type de blocs	43
3.1.1.2. Types de paroi, type D'exposition et recommandations.....	43
3.1.1.3. Protection des parois par un abri	47
3.1.2. ISOLEMENT ACOUSTIQUE	49
3.1.3. CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES	50
3.1.4. PERMÉABILITÉ À LA VAPEUR D'EAU ET CONDENSATION	52
3.1.5. SÉCURITÉ INCENDIE	53
3.1.5.1. RÉaction au feu	53
3.1.5.2. RÉsistance au feu	53
3.1.6. ENVIRONNEMENT – SANTE	54
3.2. PRINCIPES DE CONCEPTION DES MURS EN BTC	54
3.2.1. PRINCIPES DE STABILITÉ STRUCTURELLE	54
3.2.2. SENSIBILITÉ À L'EAU	54
3.2.2.1. Drainage	55
3.2.2.2. Protections basses et hautes de murs.....	55
3.2.2.3. ÉLÉments en retrait ou en saillie	55
3.2.2.4. Sensibilité À l'eau des jonctions ossature et remplissage	55
3.2.2.5. Pièces humides	55
3.2.3. SOLlicitATIONS À L'ABRASION	56
3.3. DIMENSIONNEMENT DES PAROIS	57
3.3.1. ÉPAISSEUR DES PAROIS	57
3.3.2. LONGUEUR MINIMALE	57
3.3.3. LONGUEUR MAXIMALE	57
3.3.4. ÉLANCEMENT ET HAUTEUR MAXIMUM DES MURS	58
3.4. PRINCIPES DE MAÇONNERIE EN BTC : BLOCS, APPAREILLAGE ET CALEPINAGE	59
3.4.1. FORMES ET DIMENSIONS DES BTC	59
3.4.2. APPAREILLAGE	61
3.4.3. RECOUVREMENT MINIMUM	62
3.4.4. CALEPINAGE DES PLANS	62
3.4.5. CALEPINAGE EN COUPE ET EN ÉLÉVATION	63
3.4.6. EXEMPLES D'APPAREILLAGE	64
4. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES	66
4.1. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES GÉNÉRALES	66
4.1.1. PROTECTION CONTRE LES REMONTÉES D'HUMIDITÉ EN PIED DE MUR (MUR EXTÉRIEUR).....	66
4.1.2. RECUEIL ET ÉVACUATION DES EAUX EN PIED DE PAROI (MUR EXTÉRIEUR)	67
4.1.3. BALCON, TERRASSE, LOGGIA.....	69
4.1.4. DALLAGE OU PLANCHER BAS	69
4.1.5. PROTECTION INTÉRIEURE AU NIVEAU DES PLANCHERS	70
4.1.6. FRACTIONNEMENT DES MURS PAR DES JOINTS DE RETRAIT, DE TASSEMENT OU DE DILATATION	70
4.1.6.1. Joint de retrait et de fractionnement.....	71
4.1.6.2. Joint de tassement sous poids propre	71
4.1.6.3. Joint de dilatation ou de rupture nécessaire au bâtiment.....	71
4.1.7. ÉMERGENCES ET SOLINS (EXTÉRIEUR)	72
4.1.8. DÉBORD DE COUVERTURE MINIMUM	72
4.1.9. JONCTION AVEC MURS DE NATURE DIFFÉRENTE	73
4.1.10. OUVERTURES.....	74
4.1.10.1. Tableaux de baie	74
4.1.10.2. Dimensionnement	74
4.1.10.3. Linteaux.....	75
4.1.10.4. Appui de baie et jonction allège-trumeau	76
4.1.10.5. Larmier	78
4.1.10.6. Cadre de porte dans les cloisons	78
4.1.10.7. Scellements et fixations des menuiseries	79
4.1.10.8. Traitements des joints	81
4.1.11. PASSAGE DES RÉSEAUX.....	81
4.1.11.1. Passage des réseaux et incorporations	81
4.1.11.2. Fixation boîte Électrique.....	82
4.1.11.3. Réseaux de plomberie.....	83
4.1.11.4. Réserve en traversé de cloison	83
4.1.12. FIXATIONS NON STRUCTURALES.....	83
4.1.12.1. Fixation charges faibles	84
4.1.12.2. Fixation charges lourdes	85
4.1.13. FINITIONS — REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS ET INTÉRIEURS	85
4.1.13.1. Finitions brutes	85
4.1.13.2. Finitions et revêtements courants extérieurs et intérieurs	85
4.1.13.3. Doublage — Isolation.....	86
4.1.13.4. Revêtements spécifiques des pièces humides	87
4.2. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PARTICULIÈRES POUR LES MURS PORTEURS	88
4.2.1. CHAÎNAGES & TIRANTS.....	88
4.2.1.1. CHAÎNAGE horizontal	88
4.2.1.2. CHAÎNAGES et tirants verticaux	90
4.2.1.3. CHAÎNAGE incliné	91
4.2.2. JONCTION AVEC UNE OSSATURE	92
4.2.3. APPUIS DES POUTRES, PLANCHERS ET CHARPENTES	93
4.2.3.1. Liaison plancher-mur	93

4.2.3.2. Appuis des ÉLÉments de charpente en acier ou en bois	95
4.3. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PARTICULIÈRES POUR LES MURS DE REMPLISSAGE NON PORTEURS.....	96
4.3.1. JONCTION BASSE AVEC L'OSSATURE PORTEUSE	96
4.3.2. JONCTION HAUTE AVEC L'OSSATURE PORTEUSE	97
4.3.2.1. Cas 1 — systÈmes linÉaires : profil de l'ossature et/ou piÈces rapportÉes	97
4.3.2.2. Cas 2 — systÈmes de liaisons ponctuelles : attaches de liaisons.....	99
4.3.2.3. Traitement du joint	100
4.3.3. JONCTION AVEC LES POTEUX DE L'OSSATURE ET LES RAIDISSEURS	101
4.3.3.1. Cas 1 — systÈme linÉaire	101
4.3.3.2. Cas 2 — systÈme de liaisons ponctuelles : attaches de maintien	103
4.3.3.3. Traitement et ÉTANCHÉITÉ des joints	104
4.3.4. LIAISON AVEC LES PLANCHERS ET LA TOITURE	105
4.4. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PARTICULIÈRES POUR LES CLOISONS	105
4.4.1. RAIDISSEURS	105
4.4.2. JONCTIONS HAUTE ET BASSE DES CLOISONS	108
4.4.2.1. Jonction avec le sol	108
4.4.2.2. Jonction HAUTE	108
5. MISE EN ŒUVRE, DESCRIPTIONS & PRESCRIPTIONS	110
5.1. ÉTAPES DE MISE EN ŒUVRE	110
5.2. DESCRIPTION DE LA MISE EN ŒUVRE DES BTC	110
5.2.1. TECHNIQUE DE MISE EN ŒUVRE DES BTC	110
5.2.1.1. GÉNÉRALITÉS	110
5.2.1.2. estimation des quantitÉS Nécessaires — nombre de blocs par m² et quantitÉ de mortier.....	111
5.2.1.3. RÉception des matÉriaux	112
5.2.1.4. RÉception du support.....	112
5.2.1.5. Disposition de stockage des matÉriaux sur chantier.....	113
5.2.1.6. Validation d'aspect et mur prototype	113
5.2.1.7. Protection des ouvrages en cours de chantier	113
5.2.1.8. Protection contre les dommages mÉcaniques	113
5.2.1.9. Conditions climatiques de mise en Œuvre	113
5.2.1.10. PrÉparations pour la maçonnerie BTC	114
5.2.1.11. VÉRification du calepinage	114
5.2.1.12. Dosage, GÂchage et utilisation des mortiers.....	114
5.2.1.13. Pose des BTC - Élévation du mur.....	115
5.2.1.14. Cadence de pose et limite d'ÉLÉvation quotidienne	116
5.2.1.15. Reprise de l'ÉLÉvation de la maçonnerie	116
5.2.1.16. contrÔle en cours de montage	116
5.2.1.17. Mise en place des attaches	116
5.2.1.18. Jointoiement et rejointoiement	117
5.2.1.19. Haut du mur - Dernier rang de maçonnerie	118
5.2.1.20. Coupe, taille, perçage	118
5.2.1.21. finition de la maçonnerie	118
5.2.2. SÉCURITÉ DES INTERVENANTS, PROTECTION COLLECTIVES ET RISQUE DE BASCULEMENT	119
6. CONTRÔLE DE QUALITÉ / PAQ	120
6.1. NIVEAUX DE SÉCURITÉ ET GESTION DE LA FIABILITÉ (BTC)	120
6.1.1. NIVEAUX DE SÉCURITÉ ET CONTRÔLE DE PRODUCTION	120
6.1.2. NIVEAUX DE SÉCURITÉ ET CONTRÔLE D'EXÉCUTION	121
6.2. CONTRÔLES QUALITÉ D'EXÉCUTION DES MURS BTC	122
6.2.1. RÉCEPTION DES MATÉRIAUX	122
6.2.1.1. contrÔle des LOTS de BTC	122
6.2.1.2. contrÔle des agrÉgats — sables pour mortier.....	123
6.2.1.3. contrÔle des liants	123
6.2.1.4. Stockage sur site des matÉriaux	123
6.2.2. CONTRÔLE DE MISE EN ŒUVRE	123
6.2.2.1. ContrÔle du calepinage en plan et en ÉLÉvation	124
6.2.2.2. ContrÔle de l'aplomb et de l'horizontalité des assises.....	124
6.2.2.3. ContrÔle de l'Épaisseur des murs.....	124
6.2.2.4. ContrÔle de rectitude (planÉITÉ de la paroi).....	124
6.2.2.5. ContrÔle de l'Épaisseur des joints de mortier et de la finition.....	124
6.2.2.6. Respect de la cadence de pose et des temps d'utilisation des mortierS	125
6.2.2.7. Protections particuliÈres et repli de chantier	125
6.2.2.8. TolÉrances dimensionnelles	125
7. DÉSORDRES ET TRAITEMENTS	127
7.1. ORIGINES DES DÉSORDRES	127
7.2. DESCRIPTIONS ET TRAITEMENTS DES DÉSORDRES.....	129
7.2.1. DÉSORDRES À LA MISE EN ŒUVRE DE L'OUVRAGE	129
7.2.2. DÉSORDRES DUS À LA PRÉSENCE INDÉSIRABLE D'EAU	130
7.2.3. DÉSORDRES LIES À UN DÉFAUT DE CONCEPTION STRUCTUREL	131
8. QUALIFICATIONS DES ENTREPRISES & ENTREPRISES QUALIFIÉES	132
8.1. ENTREPRISES DE MAÇONNERIE DE BTC.....	132
8.1.1. ENTREPRISE MANDATAIRE	132

8.1.2.	SOUS-TRAITANCE	132
8.2.	ENTREPRISES QUALIFIÉES	133
8.2.1.	ORGANISMES DE CONTRÔLE & TIERCE PARTIE QUALIFIÉE	133
9.	ANNEXE	134
9.1.	ANNEXE 1 — ACRONYMES & SIGLES, GLOSSAIRE, LEGENDES DES ILLUSTRATIONS	135
9.2.	ANNEXE 2 — ETAPES DE POSE ILLUSTRÉES	139
9.3.	ANNEXE 3 — RECOMMANDATIONS POUR LA FABRICATION DES BTC	141
9.3.1.	LES CONSTITUANTS	141
9.3.2.	CARACTÉRISTIQUES DES SOLS UTILISABLES	141
9.3.3.	LES CARRIÈRES ET SOURCES DE MATÉRIAUX – RECONNAISSANCE – CHOIX	142
9.3.4.	ÉTUDE DE FORMULATION	142
9.3.5.	AJUSTEMENT DE LA TENEUR EN EAU ET DU TAUX DE COMPRESSION	143
9.3.6.	PRÉPARATION ET EXPLOITATION DES CARRIÈRES	143
9.3.7.	UNITÉS DE FABRICATION	144
9.3.8.	CURE - SÉCHAGE	145
9.4.	ANNEXE 4 — CARACTÉRISTIQUES DES TERRES OU DES MÉLANGES TERRE/GRANULATS POUR BTC ET MORTIER	146
9.5.	ANNEXE 5 — CONTRÔLES QUALITÉ DE PRODUCTION	150
9.5.1.	GÉNÉRALITÉS	150
9.5.2.	LE CONTRÔLE QUALITÉ DES MATIÈRES PREMIÈRES	150
9.5.2.1.	Terres	150
9.5.2.2.	Liant	150
9.5.3.	LE CONTRÔLE QUALITÉ DES PROCÉDÉS DE PRODUCTION	151
9.5.3.1.	stockage des matières premières / Agrégats et liants	151
9.5.3.2.	Dosage et malaxage des matières premières	151
9.5.3.3.	compression / moulage	152
9.5.3.4.	Conditions et temps de cure et de séchage des matériaux produits	152
9.5.3.5.	conditions de stockage final des BLOCS produits	153
9.5.3.6.	Contrôle des Équipements de production	154
9.5.4.	LE CONTRÔLE QUALITÉ DES MATÉRIAUX PRODUITS	154
9.5.4.1.	Désignation du responsable	155
9.5.4.2.	Méthodologie de contrôle	155
9.5.4.3.	Échantillonnage par lot et par type de contrôle	155
9.5.5.	TRAÇABILITÉ	156
9.5.5.1.	Enregistrement des contrôles	156
9.5.5.2.	Fiche technique du produit	156
9.5.5.3.	Livraison	157
9.6.	ANNEXE 6 — NORMES, BIBLIOGRAPHIE ET RESSOURCES DOCUMENTAIRES	158
9.6.1.	REFERENCES NORMATIVES	158
9.6.2.	BIBLIOGRAPHIE ET RESSOURCES DOCUMENTAIRES	159

LIMINAIRE

À Mayotte, territoire riche d'une histoire de la construction en Bloc de Terre Comprimée (BTC) de près de 20 000 équivalents logements construits depuis le début des années quatre-vingts soit environ plus de 40 millions de blocs produits, la volonté locale de la relance de la filière est forte après un ralentissement important de celle-ci ces dernières années. Aujourd'hui Mayotte ouvre un chantier immense soutenu par l'État : plus de 100 millions d'euros d'investissements en équipements, principalement des lycées, collèges et écoles primaires, sont portés par le vice-rectorat avec le soutien de la DEAL de Mayotte, le programme de construction de logement est lui aussi exceptionnel avec plus de 5 000 logements locatifs et 10 000 logements très économiques à réaliser d'ici 10 ans soit un milliard et demi d'euros d'investissements potentiels dans le BTP.

Les cahiers des charges intègrent désormais l'utilisation de matériaux biosourcés et géosourcés comme une composante affirmée pour tous ces projets, une opportunité nouvelle pour cette filière locale BTC qui, d'une part a fait ses preuves tout en apportant une des meilleures réponses aux contraintes climatiques de confort et, d'autre part, est un véritable outil de développement économique, créateur de retombées et d'emplois dont l'île a grandement besoin.

La consolidation de la filière BTC dans le temps passe donc par la rédaction des règles professionnelles, qui constituent un recueil des solutions constructives validées par l'expérience mahoraise et par l'ensemble des professionnels locaux.

Les règles PRO BTC Mayotte reposent sur :

- Un savoir-faire et un patrimoine bâti existant important
- L'existence de textes de référence et d'une littérature abondante sur le sujet, ainsi que de nombreuses études scientifiques et techniques, soit liés spécifiquement au contexte mahorais, soit relatifs à d'autres contextes ou plus généralement à la technique du BTC,

En outre il s'appuie sur différents travaux et documents techniques réalisés ou à venir et en particulier :

- La norme XP P13-901 – Blocs de terre comprimée, d'octobre 2001 et sa version révisée de mars 2022
- Les résultats de différents travaux et recherches menées par CRAterre dans différents contextes sur le BTC et en particulier sur différents ATEX de type A ou B.
- Le guide des bonnes pratiques Brique de terre crue

Le processus de rédaction de ces règles professionnelles se base sur :

- La mise en place d'un comité de pilotage impliquant tous les acteurs au niveau départemental (État — DEAL, collectivités locales, ADEME, CAPEB, CMA, etc.).
- La mise en place de comités techniques regroupant l'ensemble des acteurs de la construction mahoraise — producteurs de BTC, constructeurs, maîtres d'œuvre, maîtres d'ouvrage, bureaux d'études structure et organismes de contrôle — qui ont permis un processus de co-écriture et de relecture.
- Un retour d'expérience de plus de 35 ans, plus de 20 000 constructions réalisées et quelque 40 millions de BTC mis en œuvre à Mayotte
- La connaissance scientifique et technique du matériau capitalisée dans de nombreuses recherches et publications.

Le document fera l'objet d'une présentation à la C2P (Commission Prévention Produit) auprès de l'AQC (Agence Qualité Construction)

LISTE DES CONTRIBUTEURS

DIRECTION ET RÉALISATION

Vincent LIETAR — ART.Terre Mayotte

Arnaud MISSE — architecte — Responsable pôle matériaux — AE&CC-CRAterre, ENSAG, UGA

COMITÉ DE SUIVI ET DE RÉDACTION

Camille ABDOURAZAK-AUGUSTIN — architecte — COA architecte

Madi AMBOUDI — briquetier entrepreneur — ACBTP — Coopérative des briquetiers

Ali AHMED – maçon – OTEMatériaux

Stéphane AIME — architecte — Tand'M architecte

Damien CHANFI — ADIM

Nathalie DE LORIOLE — ART.Terre Mayotte

Yannick DOUILLARD — responsable d'opération — SIM

Marc Henri DUFFAUD — DEAL Mayotte

Fayadhuiddine MAANLI — Chambre des métiers — ART.Terre Mayotte

Claude GIAI-CHECA – OTEVRD

Danjee GOULAMHOUSEN — briquetier — Briqueterie de Petite-Terre — Coopérative des briquetiers

Chazouli HALIDI – briquetier

Léocadie JALOUX — DEAL Mayotte — AMO Constructions scolaires 1^{er} degré

Hortense JULLIEN — architecte — Benoît Jullien Architecte

Violaine LIETAR — architecte — AROM Architecture

Mustoïhi MARI — président ART.Terre Mayotte

Ahmed MOUSTOIFA — maçon — ALBERT SARL

Laulate MVOULANA – EBTP

Lola PAPROCKI — architecte — Encore Heureux Architectes

Madi FAHAR — président de la CAPEB 976 Mayotte

Yasser SAID — briquetier – Briqueterie de Vahi Be — Coopérative des briquetiers

Moussa SOULAIMANA — maçon — MCTP — FMBTP

Marion SYBILLIN — CADEMA

Fabrice RABRET — producteur matériaux — ETPC

Kevin RENARD — ingénieur — Bureau d'étude — SOCEDEM

Dominique TESSIER — architecte — GRZ Architecture — ART.Terre Mayotte

Ibrahim ZOUBERT — architecte — l'atelier.Mayotte

AVEC LES CONTRIBUTIONS DE

Jacques BETOUX — ingénieur géotechnicien

Pierre BRIE — ingénieur acoustique — LASA

Mathilde CHAMODOT — architecte — AE&CC-CRAterre, ENSAG, UGA

Eugénie CRETE — ingénieur — AE&CC-CRAterre, ENSAG, UGA

Cécile PLUMIER — ingénieur structure — Vessière & Cie

Jean-Marie LE TIEC — architecte — AE&CC-CRAterre, ENSAG, UGA

Thierry JOFFROY — architecte — AE&CC-CRAterre, ENSAG, UGA

Pascal MAILLARD — ingénieur — CTMNC

Bernard SCHMITT — ingénieur structure — Vessière & Cie

Samuel TOCHON-DANGUY — ingénieur acoustique — LASA

Inès TOUZARD — architecte — CRAterre

AVANT-PROPOS

Les règles professionnelles Blocs de Terre Comprimée pour Mayotte se basent sur le large retour d'expérience réalisé sur l'île depuis le début des années 80. Riche de ces quarante années d'expérimentations constructives et de développements techniques, la volonté première des professionnels locaux était de pouvoir capitaliser ce savoir-faire et de continuer à rendre possible son emploi. Le document reprend donc les principaux usages et solutions employés sur le territoire mahorais : maçonnerie porteuse, maçonnerie de remplissage d'ossature béton, bois ou métal et cloison maçonnée.

Ces règles professionnelles Blocs de terre comprimée définissent les prescriptions de conception, de dimensionnement et de mise en œuvre des ouvrages de maçonnerie. Elles sont un document de référence pouvant constituer un cahier des clauses types d'un marché de travaux entre l'entrepreneur et son client (maître d'ouvrage ou son représentant) applicables contractuellement à des marchés de travaux de bâtiment. Elles sont destinées à être des pièces intégrées au dossier de consultation des entreprises.

INTRODUCTION

Ces règles professionnelles s'appliquent à la construction de parois verticales intérieures et extérieures en blocs de terre comprimée (BTC) pour la réalisation d'ouvrage à Mayotte (département 976).

Elles proposent des dispositions compatibles avec la prise en compte des risques sismiques et cycloniques et abordent les règles à respecter pour le dimensionnement conditionné par ces risques. Mais celui-ci devra faire l'objet de justifications en particulier.

Le document s'organise de la manière suivante :

- Définition des types de parois visées et des limites d'emploi
- Description des matériaux employés : BTC, mortier, matériaux complémentaires et accessoires
- Présentation et définitions des principes de conception et de dimensionnement des parois en BTC
- Description des dispositions constructives générales et particulières pour chaque type de paroi
- Description des principes de mise en œuvre
- Organisation du contrôle qualité
- Identification des principaux désordres et des traitements associés

Techniques de construction en blocs de terre comprimée (BTC)

Les blocs de terre comprimée (BTC) sont des éléments de maçonnerie de forme généralement parallélépipédique qui sont obtenus par compression statique ou dynamique de terre à l'état humide suivie d'un démoulage immédiat.

Le bloc de terre comprimée est constitué principalement de terre crue. Sa cohésion est essentiellement due à la fraction argileuse composant la terre. Des additifs ou des liants (aérien ou hydraulique) peuvent être ajoutés néanmoins à la terre pour améliorer ou développer des caractéristiques particulières du produit.

Les BTC sont fabriqués en usine, atelier ou sur chantier. Le procédé de fabrication utilise des presses mécanisées plus ou moins complexes. Il existe aujourd'hui une multitude de modèles de presses disponibles sur le marché, manuelles ou motorisées.

Les BTC sont définis suivant la norme XP P13-901¹. Celle-ci décrit les caractéristiques et les performances qui sont attendues pour le produit, elle précise sa définition, ses classifications et ses constituants.

Maçonnerie en blocs de terre comprimée

Une maçonnerie en blocs de terre comprimée est une structure de petits éléments empilés, disposés selon un appareil particulier et liés à l'aide d'un mortier, servant à la construction des murs et des cloisons. Elle s'apparente donc à la construction en maçonnerie de petits éléments.

De cette manière, les blocs de terre constituent un système constructif, mur ou cloison, poteau ou pilier, qui possède une résistance en compression. Cette caractéristique de résistance en compression est en effet essentielle car, a contrario, les maçonneries en petits éléments présentent des résistances limitées à la traction.

¹ XP P13-901 BTC – Brique de terre crue – publication en mars 2022 - AFNOR

La bonne résistance et la bonne stabilité d'un système de maçonnerie en petits éléments dépendent de l'interaction de plusieurs facteurs :

- De la qualité du bloc lui-même,
- De la qualité de la maçonnerie (interaction entre le bloc, l'appareil et le mortier),
- De la forme du système constructif qui doit être adaptée aux sollicitations et aux efforts,
- De la qualité des détails des systèmes constructifs qui doivent notamment garantir une bonne protection contre l'eau et l'humidité,
- De la qualité de l'exécution des ouvrages.

La maçonnerie de BTC est, dans la plupart des cas, destinée à rester apparente.

1. DOMAINE D'APPLICATION

L'objectif de cette partie est de décrire les types de parois visés, leurs principes constructifs, leurs fonctions et les variantes incluses dans ces règles professionnelles. Cette partie définit également le domaine d'emploi et les limites d'utilisation des parois visées.

1.1. DOMAINE D'EMPLOI, PRINCIPES CONSTRUCTIFS ET TYPES D'OUVRAGES

Ce document s'applique à la réalisation à Mayotte de murs extérieurs et intérieurs et de cloisons en blocs de terre comprimée (BTC).

Il décrit les dispositions qui s'appliquent notamment² pour :

- Les maçonneries porteuses
- Les maçonneries de remplissage d'ossature
- Les maçonneries pour les cloisons
- Tout ouvrage assimilable aux points précédents

Le domaine d'emploi concerne la mise en œuvre des BTC selon les règles de l'art et en particulier le respect :

- Pour les blocs : des spécifications et caractérisations de la norme XP P13-901
- Pour les mortiers de pose : des spécifications, caractérisations et contrôles présents dans ce document.

Les parois extérieures visées sont de tous types : I, II, III et IV³ au sens du NF DTU 20.1, soit :

- Mur simple / sans ou avec enduits, type I
- Mur avec doublage (avec ou sans vide d'air et avec ou sans isolant) type II a et b
- Mur avec doublage et dispositif de collecte et d'évacuation vers l'extérieur des eaux d'infiltration éventuelles, type III
- Mur avec revêtement extérieur, type IV⁴

Les cloisons intérieures sont des ouvrages de maçonnerie au sens du NF DTU 20.13, soit des cloisons de distribution et des cloisons séparatives non porteuses, les parois de gaines techniques et les cloisons de doublage.

Les parties suivantes décrivent les fonctions et le principe de ces 4 systèmes constructifs visés.

1.1.1. MAÇONNERIES PORTEUSES

Les maçonneries porteuses désignent des murs intérieurs ou extérieurs porteurs en BTC.

² D'autres ouvrages réalisables en BTC ne font pas expressément partie de ces règles, comme les ouvrages de parements ou de franchissements horizontaux (e. g. voûtes, coupoles, voûtains...), bien qu'ils soient néanmoins similaires pour certains aspects de leur mise en œuvre et que, dans la plupart des cas, les termes et caractéristiques des présentes règles leur sont applicables.

³ Les murs composites ne sont pas visés.

⁴ Par extension aux murs de type XIV, assimilables aux murs de type IV dans lesquels l'isolant est en face externe du mur. Les type XIV demanderont cependant des points d'attention particuliers entre autres sur la tenue mécanique des isolants à la paroi.

Fonctions

Dans le cas de murs extérieurs, les maçonneries ont à la fois une fonction d'enveloppe du bâtiment (protection vis-à-vis des conditions climatiques extérieures) et un rôle structurel (reprendre les efforts et charges auxquels le bâtiment est soumis : charges propres, charges d'exploitation, surcharges).

Dans le cas de murs intérieurs, il s'agit de murs de refend qui ont à la fois une fonction structurelle et un rôle de partition des espaces.

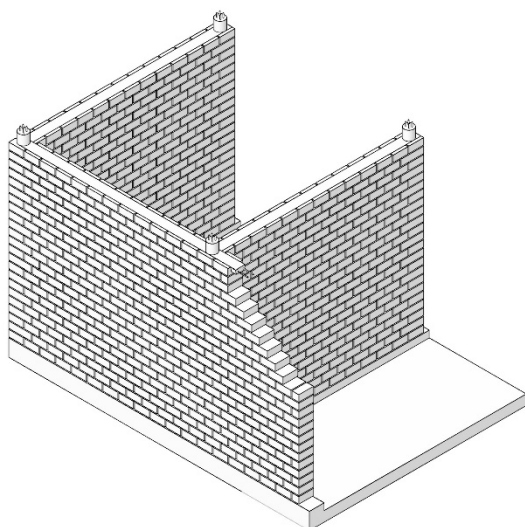
Principe

Les maçonneries porteuses sont composées de murs simples en maçonnerie de BTC d'une **épaisseur minimum de 15 cm**.

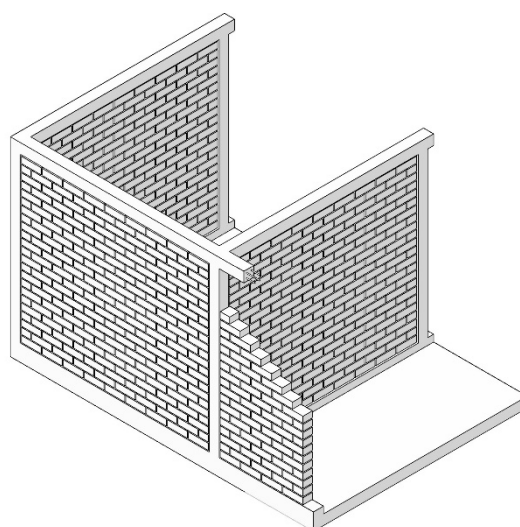
Les murs porteurs en maçonnerie de BTC sont obligatoirement ceinturés à chaque étage, au niveau des planchers, et en couronnement par des **chaînages horizontaux périphériques** qui ceinturent les façades et solidarisent les murs de refend (cf. 4.2.1.1. *Chaînage horizontal*). Des **chaînages verticaux** (tirants ou raidisseurs) doivent être insérés dans les parois au niveau des angles, des extrémités et des grandes longueurs (cf. 4.2.1.2. *Chaînages et tirants verticaux*). Ils doivent être connectés avec les chaînages horizontaux.

FIGURE 1 : PRINCIPE DES MAÇONNERIES PORTEUSES

a. Avec chaînages ou tirants non visibles, intégrés dans des blocs spéciaux ou habillés par la maçonnerie



b. Avec chaînages apparents, sur tout ou partie de l'épaisseur du mur



1.1.2. MAÇONNERIES DE REMPLISSAGE D'OSSATURE

Le principe constructif associe une ossature porteuse à des murs non porteurs en maçonnerie de BTC intérieurs ou extérieurs.

L'ossature porteuse n'est pas visée par ces règles professionnelles.

Fonctions

L'ossature primaire assure la stabilité de la construction. Elle permet de reprendre les efforts et charges structurelles auxquels le bâtiment est soumis : charges propres, charges d'exploitation, surcharges. Elle doit avoir une **rigidité suffisante pour ne pas poser de problèmes de compatibilité des déformés** avec les parois en BTC de remplissage (cf. 1.2.5. *Compatibilité et déformés du gros œuvre*).

Cette disposition concerne les maçonneries de BTC qui n'assurent qu'un rôle de remplissage et n'ont pas de rôle structurel. Les pans de mur de remplissage en BTC extérieurs ont une fonction d'enveloppe extérieure du bâtiment

(protection vis-à-vis des conditions climatiques extérieures). Les pans de mur de remplissage en BTC intérieurs jouent un rôle de cloisonnement et de partition des espaces.

Principe

Le principe constructif concerne des bâtiments à ossature porteuse en bois, en béton, en métal ou mixte.

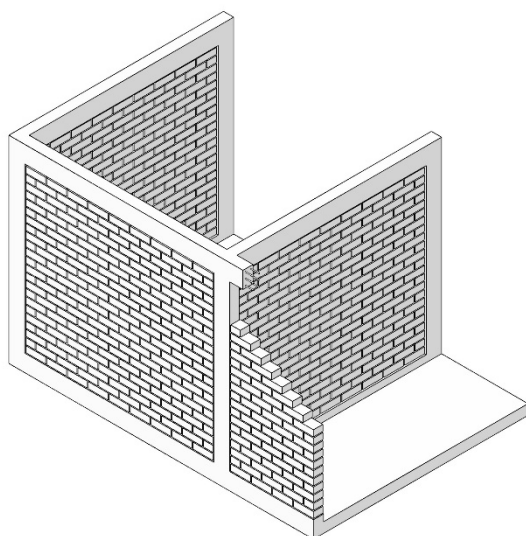
Les murs extérieurs ou intérieurs non porteurs en remplissage d'une ossature porteuse forment des **pans de maçonnerie dans le plan des structures**. Il s'agit de murs simples d'une **épaisseur minimale de 9,5 cm**.

Des poteaux d'ossature ou raidisseurs verticaux sont obligatoirement placés à chaque extrémité du pan de remplissage, dans les angles, dans les grandes longueurs (*cf. 4.3.3. Jonction avec les poteaux de l'ossature et les raidisseurs*) aux jonctions avec les murs de refend et cloisons séparatives, de chaque côté des ouvertures.

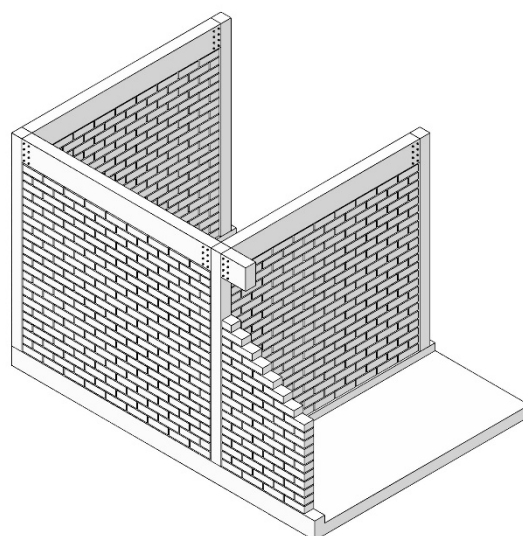
Les murs en BTC seront tenus en tête et maintenus mécaniquement à l'ossature : des attaches ou un système de gorge assurent la stabilité des pans de maçonnerie en liaison avec l'ossature (*cf. 4.3.3. Jonction avec les poteaux de l'ossature et les raidisseurs*).

FIGURE 2 : PRINCIPE DES MAÇONNERIES EN REMPLISSAGE D'OSSATURE

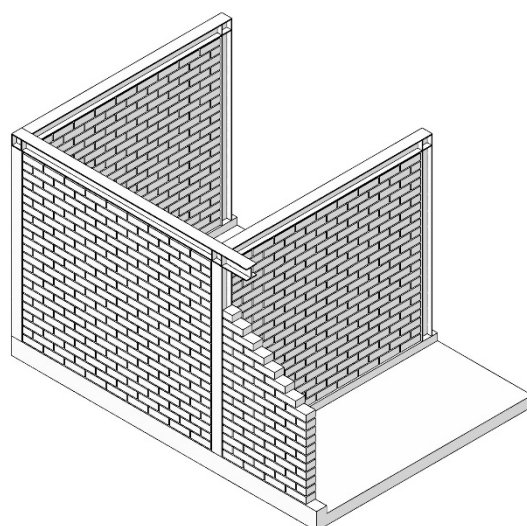
a. Remplissage d'ossature béton armé



b. Remplissage d'ossature bois



c. Remplissage d'ossature métal



1.1.3. MAÇONNERIES POUR LES CLOISONS

Les cloisons en BTC visées sont des cloisons intérieures non porteuses.

Fonctions

Ces cloisons peuvent être distributives ou séparatives.

Elles sont destinées par exemple à être utilisées :

- En cloison simple intérieure de type cloisons distributive sans exigence particulière
- Entre logements ;
- Entre logement et parties communes ;
- Entre locaux nécessitant un affaiblissement acoustique particulier : entre salles de classe, en séparatifs sur circulations (enseignement, hôtellerie, établissements de santé...).

En fonction des performances thermiques et acoustiques à atteindre, de l'épaisseur et des performances de l'éventuel isolant mis en œuvre, la cloison peut être utilisée entre des locaux climatisés et non climatisés

Principe

La cloison consiste en un mur simple maçonné en BTC **de 9,5 cm d'épaisseur minimum** ou d'un mur double de deux fois 9,5 cm d'épaisseur minimum. Dans ce cas les deux murs maçonnés peuvent être séparés d'un Isolant acoustique d'épaisseur variable selon les exigences acoustiques et thermiques recherchées.

La garantie d'une bonne performance acoustique des cloisons est conditionnée à une réalisation soignée des liaisons périphériques et des interfaces.

Les cloisons n'assurent pas de fonction structurelle (non porteuses, non contreventantes).

Elles sont obligatoirement encadrées par des raidisseurs de part et d'autre. À partir d'une certaine longueur, des raidisseurs intermédiaires sont obligatoires (cf. 4.4.1. *Raidisseurs*).

Pour des questions de déformation du gros œuvre, les cloisons sont désolidarisées en tête et, si nécessaire, en pied de mur, conformément aux principes généraux des cloisons en maçonnerie du NF DTU 20.13 (cf. 4.4.2. *Jonctions haute et basse des cloisons*). En raison de la contrainte sismique, elles devront cependant être tenues en tête et maintenues mécaniquement au gros-œuvre.

FIGURE 3 : PRINCIPE DES CLOISONS

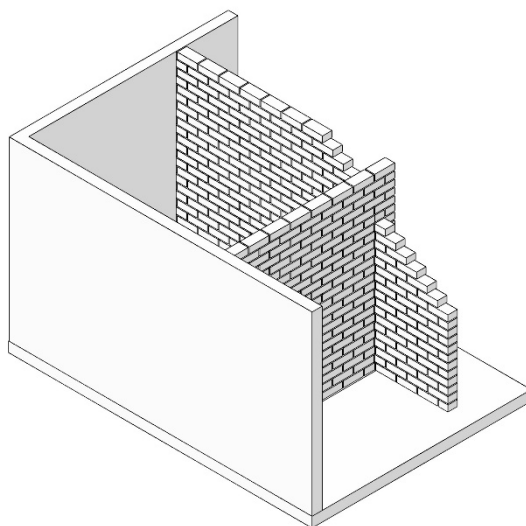
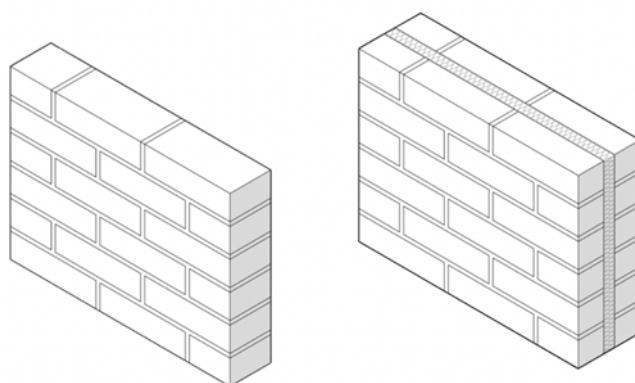


FIGURE 4 : PRINCIPE DE LA CLOISON SIMPLE / DE LA CLOISON DOUBLE



1.2. LIMITATIONS D'USAGE

1.2.1. CONTRAINTES LIÉES AU CONTEXTE MAHORAIS

L'emploi de la technique décrite concerne le département de Mayotte.

Son utilisation dans le territoire est dictée en particulier par les exigences des deux points suivants.

1.2.1.1. ZONE CLIMATIQUE

Mayotte se situe en zone présentant un risque cyclonique et de tempête important, ce qui se traduit en particulier par des contraintes de pressions élevées liées au vent. Cette contrainte a un impact déterminant sur le dimensionnement des parois de maçonnerie.

CLASSEMENT DE LA ZONE :

Zone 5 effet du vent⁵ : cyclonique et tempête tropicale

Vent de référence (NF EN 1991-1-4/NA) :

Vitesse de base : 34 m/s

Coefficient de direction : 1

Coefficient de saison : 1

Pressions dynamiques de base (règles NV 65) :

Pression normale ≤ 120 daN/m

Pression extrême ≤ 210 daN/m

Coefficient de site : site exposé : 1,20

⁵ Selon l'Eurocode 1 actions sur les structures — Partie 1-4 : actions générales — Actions du vent, NF EN 1991 1-4.

Le présent document énonce des recommandations à caractère général. Il appartient aux maîtres d'œuvre de vérifier que d'une part les conditions climatiques locales et d'autre part la forme du bâtiment et sa situation par rapport à son environnement proche (autres bâtiments, végétations, etc.) ne sont pas susceptibles de créer, sur tout ou partie des murs de BTC, des conditions nécessitant l'emploi de dispositifs constructifs ou de protection particulière vis-à-vis de l'eau, de phénomènes de condensation exceptionnels, etc. Mayotte étant située en zone littorale très exposée et en zone de cyclones et de tempêtes tropicales, il faut être vigilant concernant l'ancrage des toitures enfin d'assurer la durabilité de l'ouvrage.

1.2.1.2. ALÉA SISMIQUE

L'aléa sismique est présent à Mayotte, dû au déplacement de la partie est de l'Afrique vers le sud-est, mais aussi à l'activité volcanique de la région. L'île est ainsi soumise régulièrement à des séismes. Cette contrainte a également un impact important sur la conception et le dimensionnement des murs en BTC.

CLASSEMENT DE LA ZONE :

Zone sismique 3 « modérée »⁶.

1.2.1.3. AUTRES ALÉAS

Comme tout projet de construction, il appartiendra au concepteur de se renseigner sur les aléas et contraintes associées à prendre en compte en fonction de leur site d'implantation. Rappelons qu'à Mayotte d'autres risques sont présents : inondations, submersions marines, mouvement de terrain, etc.

1.2.2. CATÉGORIES DE BÂTIMENT CONSIDÉRÉES

Tous les types de constructions courantes sont visés : bâtiments à usage d'habitation, les bureaux, les locaux à usage commercial, les bâtiments industriels ou agricoles, les établissements recevant du public (ERP : écoles, salles de réunion, musées, bibliothèques, etc.)

1.2.3. JUSTIFICATION D'ORDRE STRUCTUREL

Le comportement structurel des maçonneries en BTC étant similaire à celui d'une maçonnerie conventionnelle ou classique, il sera fait usage des règles de conception et de dimensionnement données par l'Eurocode 6 et ses annexes nationales pour définir les contraintes applicables aux BTC.

L'Eurocode 8⁷, ses annexes nationales (NF P06-014 - Règles PS-MI 89 révisées 92) seront utilisés pour le dimensionnement parasismique des ouvrages selon la catégorie d'importance du bâtiment considéré.

Les éléments non structuraux⁸, comme les cloisons, seront réalisés conformément au guide de « Dimensionnement Parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti » - édition 2014, MEDDE.

Il conviendra pour tous les ouvrages de vérifier leur stabilité par une note de calcul de structure⁹. Elle est même obligatoirement réalisée par un bureau d'études structure pour les constructions à partir de la catégorie d'importance¹⁰ II.

6 Définies selon zonage en vigueur au 1er mai 2011 / article 2 du décret 2010-1255 du 22 octobre 2010 (définie par l'article R. 563-4 du code de l'environnement) relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal » de catégorie I, II, et III : bâtiments à usage d'habitation, les bureaux, les locaux à usage commercial, les bâtiments industriels ou agricoles, les établissements recevant du public (ERP : écoles, salles de réunion, musées, bibliothèques, etc.)

7 Pour les bâtiments de catégorie I, bâtiments dans lesquels est exclue toute activité humaine nécessitant un séjour de longue durée et non visés par les autres catégories, on pourra se référer à l'application des annexes et décrets nationaux.

8 Les éléments structuraux (murs, planchers...) assurent la stabilité et la résistance du bâtiment sous l'effet des charges (gravité, vent, séisme...), les éléments non structuraux (cheminées, cloisons, éléments de façade, plafonds suspendus...) contribuent de façon négligeable à la reprise des efforts dans la structure.

9 Ces règles sont données dans les documents suivants : NF EN 1998-1 septembre 2005, NF EN 1998-3 décembre 2005, NF EN 1998-5 septembre 2005, dites « règles Eurocode 8 » accompagnées des documents dits 'annexes nationales' des normes NF EN 1998-1/NA décembre 2007, NF EN 1998-3/NA janvier 2008, NF EN 1998-5/NA octobre 2007 s'y rapportant.

10 Article R563-3 du Code de l'Environnement précisé par l'Arrêté du 22 octobre 2010 modifié

Dans ce cas, en raison de sa faible résistance à la traction et de sa faible ductilité, la maçonnerie de BTC est considérée comme offrant une capacité de dissipation limitée, ce qui se traduit par **les coefficients de comportement¹¹ : $q = 1,5$** .

Pour les bâtiments porteurs en R+1 maximum (utilisant des BTC de catégorie supérieure ou égale à Rc 4) cette note de calcul pourra être réalisée soit :

- par calcul explicite ;
- par approche simplifiée selon Eurocode 8 clause 9.7.1 et ANF.

1.2.4. LIMITATIONS STRUCTURELLES ET PRECAUTIONS D'EMPLOI

Au-delà des principes d'emploi déjà évoqués dans les parties précédentes, les limitations et précautions d'emploi supplémentaires décrites ci-après s'appliquent.

1.2.4.1. MUR PORTEUR

Limitations d'emploi

- Seuls les systèmes constructifs utilisant des maçonneries chaînées sont autorisés (chaînages horizontaux et chaînages ou tirants verticaux).
- Seules les constructions en R+3 maximum sont autorisées.
- Les murs de bâtiments de catégorie d'importance II et plus sont réalisés en blocs de catégorie de résistance Rc4 au minimum (cf. 2.1.3. *Résistance mécanique*).
- Les murs porteurs doivent présenter une épaisseur minimum de 15 cm (épaisseur brute du mur, enduit non compris).
- L'élancement géométrique des murs est inférieur ou égal à 15.
- L'épaisseur minimale des murs soumis à exigences réglementaires en matière de résistance au feu est de 22 cm. hors justification particulière (PV d'essai REI pour murs de dimension inférieure ou PV d'extension)

Précautions d'emploi

- **Les BTC permettent couramment la réalisation de bâtiments porteurs en R+1.** Au-delà il faudra être particulièrement attentif à la bonne conception des ouvrages projetés, le dimensionnement des structures devra faire l'objet d'une justification appropriée.
- Les parois BTC en façade extérieure devront respecter les principes de conception décrits partie 3.1. Guide pour le choix des types de murs.

1.2.4.2. MUR NON PORTEUR EN REMPLISSAGE D'OSSATURE

Limitations d'emploi

- Les murs en BTC seront tenus en tête et maintenus mécaniquement à l'ossature.
- L'élancement géométrique des murs est inférieur ou égal à 20.
- Pour les ossatures béton, seules les constructions en R+5 maximum sont autorisées.
- Pour les ossatures bois, métal ou mixte seules les constructions en R+1 maximum sont autorisées.

¹¹ Selon l'article 9.3 de l'Eurocode 8 chapitre 1

Précautions d'emploi

- **Les BTC permettent couramment la réalisation de bâtiments en R+4.** Au-delà il faudra être particulièrement attentif à la bonne conception des ouvrages projetés, le dimensionnement des structures devra faire l'objet d'une justification appropriée.
- Les parois BTC en façade extérieure devront respecter les principes de conception décrits partie 3.1. *Guide pour le choix des types de murs.*

1.2.4.3. CLOISON**Limitations d'emploi**

- Les cloisons en BTC sont tenues en tête à la structure porteuse.
- Elles sont obligatoirement encadrées par des raidisseurs.
- Les cloisons sont fractionnées à chaque étage entre supports horizontaux.
- L'élancement géométrique des cloisons est inférieur ou égal à 20.
- Pour les ossatures béton, seules les constructions en R+5 maximum sont autorisées.
- Pour les ossatures bois, métal ou mixte seules les constructions en R+1 maximum sont autorisées.

Précautions d'emploi

- Les BTC permettent couramment la réalisation de bâtiments en R+4. Au-delà il faudra être particulièrement attentif à la bonne conception des ouvrages projetés, le dimensionnement des structures devra faire l'objet d'une justification approfondie.

1.2.4.4. AUTRES LIMITATIONS ET PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Les BTC ne sont pas autorisés en parois enterrées.

1.2.5. COMPATIBILITÉ ET DÉFORMES DU GROS ŒUVRE

Les ossatures du gros œuvre doivent être conçues et dimensionnées de telle sorte qu'aucun déplacement ou déformation courant de la structure ne puisse entraîner des efforts localisés susceptibles d'endommager les ouvrages de BTC, en particulier pour les ouvrages non porteurs : remplissages, cloisonnements et parements.

Le système de structure porteuse du bâtiment — murs, voiles, dallages, planchers, toitures — assurera la rigidité-déformation de l'ensemble de la construction. Le contreventement général des ouvrages sera assuré par les structures primaires (murs béton armé, triangulation bois, métal...) ayant une rigidité horizontale suffisante pour ne pas poser de problèmes de compatibilité de déformations horizontales avec les parois en BTC.

C'est en particulier le cas du fléchissement des supports haut et bas pour les parois non porteuses : remplissages, cloisonnements et parements. Ces déformations peuvent entraîner des efforts non souhaités dans les parois : effort de compression (fléchissement de la poutre haute) ou effort de traction par flexion (fléchissement de la poutre basse).

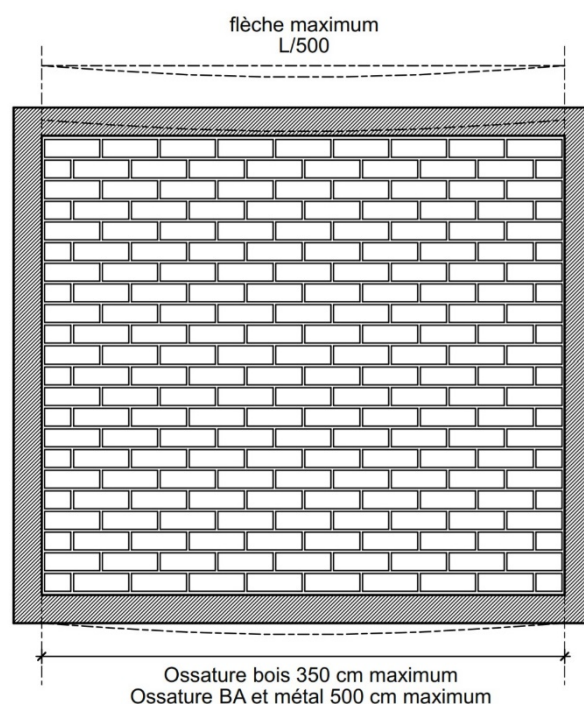
La superposition des remplissages en BTC sur plusieurs niveaux dans le plan d'une ossature demande un soin particulier au dimensionnement des poutres des ossatures, supports de ces remplissages

Une vérification par le calcul du fléchissement des poutres — basse et haute — devra être effectuée afin d'assurer que celui-ci reste d'un niveau millimétrique acceptable pour les maçonneries de BTC.

Les flèches de la structure primaire seront limitées à L/500 soit :

- **0,7 cm en valeur absolue maximum pour une ossature bois**
- **1,0 cm en valeur absolue maximum pour une ossature béton armé ou métal**

FIGURE 5 : PRINCIPE EN ÉLÉVATION D'UNE PAROI BTC DANS UNE OSSATURE – FLÉCHISSEMENT MAXIMUM



1.2.6. DIMENSIONNEMENT POUR ASSURER LA RESISTANCE AUX CHOCS

Les parois et cloisons conçues et réalisées conformément aux dimensionnements proposés dans ces règles permettent de satisfaire aux essais de résistance de chocs de corps mous¹² suivants :

- Choc de conservation des performances de 120 joules ;
- Choc de sécurité de 240 joules et 400 joules;
- Choc intérieur de sécurité de 900 joules. Cet essai vérifie le comportement et la stabilité sous l'action de chocs exceptionnels, dans les locaux ou ouvrages suivants : les zones accessibles aux élèves dans les locaux scolaires ; les zones accessibles au public dans les ERP ; les bureaux ; les cloisons en surplomb (dans ce cas, il est prévu des dispositions en rives, bandeaux, équerres, etc.).

L'épaisseur minimum de 9,5 cm permet de satisfaire l'exigence de sécurité sous l'action d'un choc d'énergie de 900 joules appliqué en leur centre : les cloisons ne sont ni traversées, ni rompues, ni détériorées de façon dangereuse pour l'occupant.

¹² Essais de chocs mous M50 selon norme NF P08-301 (avril 1991) et NF P08-302 (octobre 1990). Ces essais sont caractérisés par leur énergie en fonction de l'exigence requise. En cas de doute, il est tout à fait possible de réaliser des essais sur chantier sur une paroi en place suivant le protocole décrit par la norme.

1.2.7. EXPOSITION À L'HUMIDITÉ DES PAROIS

L'autorisation ou la limitation d'usage des BTC en paroi apparente des locaux est décrite en fonction du « classement des locaux en fonction de l'exposition à l'humidité des parois »¹³. Ce classement (*tableau 1*) prend en compte les critères d'hygrométrie des locaux, d'exposition à l'eau et d'entretien et de nettoyage.

L'usage du BTC sans protection ou revêtement de surface particulier est possible pour des locaux ou espaces :

- à hygrométrie de faible à forte ($W/n \leq 7,5 \text{ g/m}^3$)¹⁴
- où l'exposition à l'eau correspond à des projections et des ruissellements épisodiques
- où l'eau intervient seulement pour l'entretien et le nettoyage, mais jamais sous forme d'eau projetée sous pression. Le nettoyage est réalisé selon des méthodes et avec des moyens non agressifs.

L'usage du BTC en mur apparent est donc permis dans les locaux classés EA (locaux secs ou faiblement humides) ou EB (locaux moyennement humides)

Les parois en BTC dans des locaux classés EB+ locaux privatifs font l'objet de dispositions spécifiques décrites partie 4.1.13.4. *Revêtements spécifiques pièces d'eau et salles de bain.*

L'utilisation du procédé pour des locaux classés et EB+ locaux collectifs et EC n'est pas visée.

13 Classement des locaux humides — Cahier 3567 — Cahier du CSTB — novembre 2021

14 W/n ou W est la quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur d'un local par heure, exprimée en grammes par heure (g/h) et n le taux horaire de renouvellement d'air exprimé en mètres cubes par heure (m³/h)

TABLEAU 1 : CLASSEMENT DES LOCAUX EN COURS D'EXPLOITATION EN FONCTION DE LEUR HYGROMÉTRIE, DU DEGRÉ D'EXPOSITION À L'EAU D'AU MOINS UNE PAROI, SON ENTRETIEN ET SON NETTOYAGE - CAHIER 3567 - CAHIER DU CSTB

Usage / types de local	Hygrométrie du local	Exposition à l'eau	Entretien — nettoyage	« Exemples » de classement minimal de locaux
EA Locaux secs ou faiblement humides BTC autorisés	Faible hygrométrie	Les parois ne sont pas exposées à l'eau.	L'eau intervient seulement pour l'entretien et le nettoyage, mais jamais sous forme d'eau projetée. Nettoyage réalisé selon des méthodes et avec des moyens non agressifs.	Locaux normalement ventilés et chauffés : Chambres ; Locaux de bureau ; Couloirs de circulation.
EB Locaux moyennement humides BTC autorisés	Hygrométrie moyenne	En cours d'exploitation du local, l'eau intervient ponctuellement sous forme de rejaillissement sans ruissellement.	L'eau intervient pour l'entretien et le nettoyage, mais jamais sous forme d'eau projetée sous pression. Nettoyage réalisé selon des méthodes et avec des moyens non agressifs.	Locaux normalement ventilés et chauffés : Locaux à usage collectif : Salles de classe ; Locaux sportifs clos et couverts (hors forte présence humaine) ; Locaux à usage privatif : Local avec un point d'eau (cuisine, WC, ...) ; Local sans point d'eau (celliers chauffés...)
EB+ Locaux privatifs Locaux humides à usage privatif BTC AUTORISÉS AVEC DISPOSITIONS SPECIFIQUES	Forte hygrométrie	En cours d'exploitation du local, l'eau est projetée épisodiquement sur au moins une paroi (ruissellement).	L'eau intervient pour l'entretien et le nettoyage, mais jamais sous forme d'eau projetée sous pression. Nettoyage réalisé selon des méthodes et avec des moyens non agressifs.	Locaux normalement ventilés et chauffés : Salles d'eau intégrant une douche (avec ou sans receveur) et / ou une baignoire ; Cabines de douche ou salles de bains à caractère privatif dans des locaux recevant du public : douches dans les hôtels, les résidences de personnes âgées et dans les hôpitaux (sans jet hydromassant) ; Sanitaires et/ou lavabos dans les bureaux et autres locaux collectifs ; Locaux normalement ventilés et non chauffés : Celliers non chauffés, garages.
EB+ Locaux collectifs Locaux humides à usage collectif BTC NON AUTORISÉS	Forte hygrométrie	En cours d'exploitation du local, l'eau intervient sous forme de projection ou de ruissellement et elle agit de façon discontinue pendant des périodes plus longues que dans le cas EB+ privatifs, le cumul des périodes de ruissellement sur 24 h ne dépassant pas 3 heures.	L'eau intervient pour l'entretien et le nettoyage. Ce type de locaux est normalement lavé au jet : des dispositions d'évacuation d'eau au sol doivent être prévues (exemple siphon de sol). Le nettoyage au jet d'eau sous pression supérieure à 10 bars est exclu. Le nettoyage (fréquence généralement quotidienne) est réalisé avec des produits de pH entre 5 et 9 à une température ≤ 40 °C.	Douches individuelles à usage collectif dans des locaux de type : internats, usines et sans communication directe avec un local EC ; Vestiaires collectifs sauf communication directe avec un local EC ; offices, local de réchauffage des plats sans zone de lavage ; Salles d'eau à usage privatif avec un jet hydromassant dans la douche et/ou la baignoire ; Laveries collectives non destinées à un usage intensif (école, hôtel, centre de vacances, ...) ; Sanitaires accessibles au public et nécessitant un nettoyage par eau projetée sous pression dans les locaux de type ERP : écoles, hôtels, aéroports,
EC Locaux très humides en ambiance non agressive BTC NON AUTORISÉS	Très forte hygrométrie	L'eau intervient de façon quasi continue sous forme liquide sur au moins une paroi.	Le nettoyage au jet d'eau sous haute pression (> 10 bars et < 60 bars) est admis. Le nettoyage (fréquence généralement quotidienne) peut être réalisé avec des produits agressifs (alcalins, acides chlorés...) et/ou à une température ≤ 60 °C. Les revêtements de finition des parois du local et les interfaces (mastic, garniture de joints, ...) doivent être compatibles avec l'agressivité des produits d'entretien (pH), du nettoyage (pressions des appareils) et de la température.	Douches collectives, plusieurs personnes à la fois dans le même local : stades, gymnases ; Centres aquatiques, balnéo- thérapies, piscines (hormis les parois de bassin) y compris locaux en communication directe avec le local du bassin ; Cuisines et sanitaires accessibles au public si nettoyage prévu au jet d'eau sous haute pression et/ou avec produit agressif ; Laveries ayant un caractère commercial et/ou destinées à un usage intensif ; Blanchisseries centrales d'un hôpital.

2. MATÉRIAUX

Cette partie décrit les caractéristiques du BTC, des mortiers et des autres matériaux nécessaires à la mise en œuvre des parois en BTC visées par ces règles professionnelles. Elle a pour objectif de donner des indications aux bureaux d'études lors de la phase de conception.

2.1. BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE

Les BTC utilisés pour la réalisation des murs devront être conformes aux exigences de la norme XP P13-901.

La norme XP P13-901 précise une classification selon les caractéristiques suivantes :

- Dimensions
- Masse volumique
- Résistance à la compression
- Comportement à l'eau (humidité, gel)

Les BTC utilisés seront uniquement des blocs pleins sans emboîtement.

La constitution des maçonneries de BTC, tout comme la fabrication du matériau, est sujette à variations en fonction de la ressource choisie, du mode de production et de la mise en œuvre. Ces facteurs déterminent les caractéristiques du matériau : densité, résistance mécanique, propriétés hydriques et thermiques.

Les BTC utilisables pour la réalisation des ouvrages sont soit des blocs de terre non stabilisée soit des blocs de terre stabilisés. Dans le cas d'une stabilisation, un liant supplémentaire est ajouté au matériau de construction en terre crue initial¹⁵ pour améliorer les performances des blocs notamment son comportement à l'humidité. Les liants les plus utilisés à Mayotte sont des liants hydrauliques de type ciment.

2.1.1. TYPE DE BTC

Les murs, quel que soit leur type, sont constitués de BTC pleins et sans emboîtement selon la norme NF XP P13-901.

Les façades extérieures utiliseront au minimum :

- **des blocs de catégorie de résistance Rc 2¹⁶** (voir ci-après partie 2.1.3. *Résistance mécanique ci-après*) ;
- **des blocs de catégorie de résistance Rc 4 pour les murs porteurs des bâtiments de catégorie d'importance II et plus.** Pour les bâtiments de catégorie d'importance I, une classe de résistance Rc 3 et plus est requise ;
- **de classe d'application CL1** ou de **classe d'application CL2** recevant un enduit ou un revêtement d'imperméabilité. (voir tableau 2 ci-après).

Toutes les classes de résistance de BTC peuvent être utilisées pour les autres types d'ouvrages, cependant ces règles ne traitent que de l'emploi de blocs de catégorie de résistance supérieure ou égale à Rc 2.

¹⁵ La terre crue de construction est composée d'argiles et de granulats minéraux : silts (limons), sables et graviers. La composition de la terre utilisée est soit directement issue de la matière prélevée dans le sol, soit obtenue par transformation physique (tamisage, broyage, concassage...) et/ou par amendement de granulats minéraux (sable, gravier, autre terre) pour sa formulation.

¹⁶ L'emploi de blocs d'une classe de résistance inférieure à Rc 4, soit 4 MPa, devra faire cependant l'objet d'un examen approfondi ainsi que d'une conception et d'une mise en œuvre soignées.

Classe d'application des BTC :

Les classes d'application de la XP P3-901 définissent la performance attendue des BTC vis-à-vis de leur exposition aux intempéries.

TABLEAU 2 : CLASSES D'APPLICATION DES BTC

Domaine d'application	Classe d'application
Maçonnerie extérieure non enduite soumise aux intempéries	CL1
Maçonnerie extérieure enduite et soumise aux intempéries	CL2
Maçonnerie extérieure habillée et protégée contre les intempéries. Maçonnerie intérieure (mur et cloison) protégée des venues d'eau liquide permanentes et accidentelles.	CL3
Applications sèches intérieures, pose sans mortier sans risque de projection d'eau	CL4

Pour les zones exposées à des risques de présence d'eaux de manière répétée ou exposées à une humidité importante, base des murs en lien avec les dalles et planchers, murs exposés au ruissellement, pied de façade, etc., hors dispositif spécifique de protection, il devra être fait usages de préférence de BTC stabilisés au liant hydraulique de catégorie CL1.

2.1.2. DENSITÉ SÈCHE

La valeur moyenne la plus couramment obtenue est de l'ordre de 1,9.

La densité sèche¹⁷ d'un bloc peut cependant varier entre 1,8 et 2,1.

(Soit une masse volumique sèche ρ comprise entre 1 800 kg/m³ et 2 100 kg/m³ pour une valeur moyenne de 1 900 kg/m³)

Cette variation est liée à la fabrication du bloc : constituants et volumes des mélanges et type de presse utilisée. La densité influence de nombreuses caractéristiques du matériau. Dans la plupart des cas, lorsqu'elle augmente, la résistance caractéristique à la compression, l'inertie thermique et la conductivité thermique augmentent tandis que la capacité de rétention d'eau diminue.

¹⁷ Cette variation est liée à la fabrication du bloc : constituants et volumes des mélanges et type de presse utilisée. Les blocs produits à Mayotte présentent une valeur moyenne de 1,9, pour une variation comprise entre 1,8 et 2.

La densité influence de nombreuses caractéristiques du matériau. Dans la plupart des cas, lorsqu'elle augmente, la résistance caractéristique à la compression, l'inertie thermique et la conductivité thermique augmentent tandis que la capacité de rétention d'eau diminue.

2.1.3. RÉSISTANCE MÉCANIQUE

Résistance à la compression

Pour rappel, le BTC est classé selon la XP P19-901 suivant les catégories de résistance suivantes :

TABEAU 3 : RÉSISTANCES MOYENNES À LA COMPRESSION R_c EN FONCTION DES CATÉGORIES DE BTC SELON XP P13-901

Catégorie	Moyenne de la résistance à la compression des BTC (MPa ou N/mm ²)
Rc 0*	< 1,00
Rc 1*	≥ 1,00
Rc 2	≥ 2,00
Rc 3	≥ 3,00
Rc 4	≥ 4,00
Rc 5	≥ 5,00
Rc 6	≥ 6,00

* Non visée par les règles professionnelles Mayotte

La résistance moyenne du bloc peut également être déterminée directement par des essais sur bloc selon NF EN 772-1

Résistance moyenne normalisée à la compression f_b du bloc perpendiculairement à la face de pose.

On déterminera la résistance moyenne normalisée à la compression du bloc f_b soit :

- Par application de l'annexe A de la norme NF EN 772-1
- Par application de l'annexe D de l'Eurocode 0 (NF EN1990)

Dans ce dernier cas f_b est assimilé à **Rc**, définie tel que $R_c = R_{\min 0,05}^{18} \geq R_{ck0,05}$ ou $R_{ck0,05}$ est la résistance mécanique caractéristique à la compression telle que 95 % des blocs auront une résistance supérieure (fractile de 5 %).

$R_{ck0,05}$ la valeur calculée selon l'annexe D de l'Eurocode 0 (NF EN1990) dimensionnement assisté par l'expérimentation.

Pour rappel, la méthode de calcul de la valeur $R_{ck0,05}$ en fonction du nombre d'échantillons est la suivante :

R_i est la valeur d'essai de compression

m_x est la moyenne des résultats d'essai R_i de n échantillons

S_x : écart type de la série de mesure

V_x : coefficient de variation de la série de mesure

¹⁸ R_c , résistance moyenne, est considéré comme égal à $R_{\min 0,05}$ soit la résistance minimale pour la fractile 0,05. ce choix est effectué dans une hypothèse conservatrice.

$$R_{ck,0.05} = m_x \cdot (1 - k_n V_x)$$

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - m_x)^2$$

$$V_x = S_x / m_x$$

TABLEAU 4 : VALEURS DE k_n POUR V_x INCONNU ET POUR LA VALEUR CARACTÉRISTIQUE DE 5 %

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	-
V_x inconnu	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

D'autre part, il est rappelé qu'aucune de valeur d'essai de compression R_i ne peut être inférieure à 80 % de cette résistance minimale : $R_i > 0,8 \times R_c$. L'apparition de tout résultat $< 0,8$ fois à la définition de la classe correspondante entraîne la non-conformité du lot de BTC.

Avec R_i la valeur d'essai individuelle de compression.

Résistance à la compression f_{bh} du bloc parallèlement à la face de pose dans le plan du mur.

Les BTC peuvent être assimilés à des matériaux pleins isotropes, la résistance à la compression du bloc parallèlement à la face de pose dans le plan du mur f_{bh} est considérée comme identique à la valeur de compression f_b .

Résistance à la traction

La résistance à la traction par flexion du BTC, R_{eBTC} représente 10 % de la résistance à la compression¹⁹.

Module d'élasticité

Le module de Young, E_{BTC} est couramment compris entre 1,5 et 4 GPa suivant les catégories de BTC utilisés²⁰.

Module de cisaillement

Le module de cisaillement G_{BTC} du BTC est défini conventionnellement tel que $G_{BTC} = 0,4 \cdot E_{BTC}$

Coefficient de Poisson

Coefficient de Poisson du BTC : ν_{BTC} : de 0,2 à 0,3

¹⁹ En Nouvelle-Zélande, la norme propose ainsi d'estimer la résistance à la traction à partir de la résistance caractéristique à la compression : $R_{eBTC} = R_{cBTC}/10$.

²⁰ La littérature scientifique, ainsi que de nombreux essais effectués confirment cette fourchette de valeurs. La norme néo-zélandaise estime le module de Young à partir de la résistance à la compression : $E = 300 \times R_{cBTC}$, soit des estimations moyennes de 0,9 GPa à 2,1 GPa selon les catégories de BTC.

2.1.4. INFORMATIONS SUR LE BTC ET CARACTÉRISTIQUES COURANTES

TABLEAU 5 : VALEURS CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES BTC

Les valeurs présentées ci-dessous sont données à titre indicatif pour 3 plages de valeur de R_c des blocs : 2, 4 et 6 MPa. Elles ne dispensent pas de la réalisation d'essais de caractérisation lorsqu'une exigence de performance spécifique est recherchée.

Valeurs caractéristiques mécaniques des BTC à retenir selon 3 catégories R_c 2, 4 et 6				
	Symbole	R_c 2	R_c 4	R_c 6
Masse volumique	ρ	1900 kg/m ³ (de 1800 à 2100 kg/m ³)		
Résistance moyenne à la compression	f_b	≥ 2 MPa	≥ 4 MPa	≥ 6 MPa
Résistance moyenne à la traction (1/10 de R_c)	f_{btm}	≥ 0,2 MPa	≥ 0,4 MPa	≥ 0,6 MPa
Cisaillement ($G = 0,4.E$)	G	0,6 GPa	1 GPa	1,6 GPa
Module de Young	E	1,5 GPa	2,5 GPa	4 GPa * * pouvant monter à 7 GPa
Coefficient de Poisson	ν	0,2	0,25	0,3

2.2. MORTIERS DE POSE

La maçonnerie est composée de blocs assemblés par du mortier. L'interaction mécanique bloc-mortier détermine les caractéristiques mécaniques de la maçonnerie.

La pose des BTC est exécutée en utilisant des mortiers de type sable/liant²¹, terre/sable ou terre/sable/liant.

Ils sont principalement destinés à la réalisation de maçonnerie à joints courants de 1 cm à 1,5 cm maximum²².

Les mortiers de montage peuvent être soit :

- Fabriqués — dosés et mélangés — directement sur le chantier où ils sont utilisés. Ils sont dits mortiers de recette ou mortiers de chantier²³.

²¹ Principalement ciment, chaux hydraulique ou chaux aérienne hydratée.

²² Certaines dispositions d'appareillage peuvent entraîner la réalisation de joint non courant qui pourront exceptionnellement être inférieur à 1 cm ou supérieur à 1,5 cm sans atteindre un maximum de 2,5 cm (mur arrondi, lit de mortier hydrofugé, liaison avec d'autres éléments constructifs, arc, etc.).

²³ Conformés à la norme NF EN 998-2 pour mortier recette ou NF EN 1996-2 pour mortier chantier. Il n'existe aujourd'hui pas de mortier de recette industriel ou de mortier performantiel spécifiques pour la pose du BTC. Les mortiers terre devront être formulés pour garantir un bon comportement en compression, flexion et cisaillement de la maçonnerie.

- Prêts à l'emploi, mélangés et dosés chez un fabricant, et vendus conditionnés, en sac ou en big-bag par exemple. Ces caractéristiques sont bien souvent obtenues par le respect des préconisations particulières du fabricant.

Le mortier de pose doit posséder dans tous les cas des caractéristiques mécaniques²⁴ voisines de celles des blocs de terre comprimée.

Dans tous les cas, la résistance à la compression du mortier f_m ²⁵ devra être telle que $\frac{1}{2}f_b \leq f_m \leq 2.f_b$:

- soit supérieure à la moitié de la résistance moyenne à la compression du bloc f_b
- et inférieure à 2 fois la résistance moyenne à la compression du bloc f_b

Pour les BTC stabilisés avec un liant (chaux ou ciment) on utilisera le même type de liant pour la composition du mortier avec un dosage généralement majoré de 1,5 à 2 fois celui du bloc.

Dmax :

Le diamètre maximal des grains doit être inférieur au **1/3 de l'épaisseur du lit de pose**. Pratiquement on se limite à **4 mm**.

Consistance :

Après malaxage avec l'eau d'apport, le mortier doit avoir une consistance plastique — souple et pâteuse — mais pas liquide.

À l'état frais, un mortier doit être bien « ouvrable ». Outre une consistance convenable, il doit présenter une bonne cohésion ainsi qu'un pouvoir de rétention de l'eau contre la succion par les éléments de maçonnerie sur lesquels il est appliqué.

La composition et les propriétés mécaniques des mortiers sont décrites ci-après, *partie 2.2.2. Compositions des mortiers*.

2.2.1. CONSTITUANTS DES MORTIERS

Les constituants utilisables pour la réalisation des mortiers courants, sables et liants, de mise en œuvre des BTC sont identiques à ceux utilisés pour la maçonnerie des petits éléments²⁶.

Les constituants des mortiers terre peuvent incorporer ces mêmes constituants, sables et liants, en plus du matériau dit terre crue de construction. La composition du mélange dépendra alors des caractéristiques des performances à atteindre.

Les différents constituants manufacturés doivent porter le marquage CE selon leur norme respective.

2.2.1.1. SABLES

Le sable sera de 0/2 mm à 0/4 mm avec un pourcentage de fines < à 5 %.

Les granulats pour mortiers sont conformes à la norme NF EN 13139.

L'emploi de sable de mer n'est pas visé dans le présent document.

²⁴ Les mortiers peuvent être caractérisés sur la base de la norme NF EN 1015-11.

²⁵ ibid

²⁶ NF DTU 20.1 P1-2

2.2.1.2. TERRES

Terres crues de construction, répondant à la définition de la norme XP P13-901, tamisées de 0/2 mm à 0/4 mm.

Il s'agit de terre comportant moins de 1 % de matière organique et ne présentant pas de pollution.

La terre crue utilisée doit présenter des caractéristiques physiques définies dans l'annexe 9.4 *Caractéristiques des terres ou mélanges terre / granulats pour BTC et mortier*.

Il est conseillé, lorsque cela est possible, d'utiliser pour la fabrication des mortiers une terre issue du même gisement que celle ayant servi à la fabrication du BTC.

2.2.1.3. LIANTS

Les liants les plus couramment admis pour la réalisation des mortiers sont :

- le ciment Portland (CEM I), le ciment Portland composé (CEM II), le ciment de haut fourneau (CEM III/A) et le ciment composé (CEM V/A) conformes aux normes NF EN 197-1 et NF EN 197-4 et le ciment à maçonner (MC) conforme à la norme NF EN 413-1 ;
- la chaux hydraulique (HL) conforme à la norme NF EN 459-1 ;
- la chaux hydraulique naturelle (NHL) ou avec ajouts (NHL-Z) conformes à la norme NF EN 459-1 ;
- les chaux aériennes hydratées calciques (CL) ou dolomitiques (DL) conformes à la norme NF EN 459-1.

2.2.1.4. EAU DE GÂCHAGE

L'eau de gâchage d'un mortier doit être propre (eau claire et non acide).

L'eau de gâchage doit répondre aux prescriptions de la norme NF EN 1008.

L'eau potable convient pour la réalisation des mortiers.

2.2.2. COMPOSITIONS DES MORTIERS

Dans chaque cas la composition du mortier doit tenir compte des contraintes réelles imposées à la maçonnerie.

Un bon mortier doit présenter une bonne résistance mécanique et doit garantir la même résistance à la compression et à l'érosion que les blocs de terre comprimée.

Une résistance inférieure du mortier expose à des risques d'érosion, d'infiltration d'eau et de détérioration des blocs de terre. L'érosion et la fissuration du mortier ajoutées au travail en traction des blocs de terre exposent à un risque de rupture.

Une résistance supérieure expose à des risques de stagnation de l'eau sur la matrice apparente du mortier qui active l'érosion des blocs ; cela peut causer une fissuration des blocs et amoindrir leur résistance.

La texture d'un bon mortier est en général plus sableuse que celle des blocs de terre.

2.2.2.1. MORTIER SABLE - LIANT

Le tableau indicatif²⁷ ci-dessous présente la composition des mortiers « recette » et la valeur escomptée de la résistance en compression f_m . Il permet d'adapter le mortier au choix de la résistance des éléments de maçonnerie.

²⁷ Selon annexe nationale de l'Eurocode 6 partie 1,1

TABLEAU 6 : INFORMATIONS INDICATIVES SUR LA PERFORMANCE DES MORTIERS « RECETTE » - SABLE/LIANT

EXEMPLE DE COMPOSITION DU MORTIER					MORTIER		BTC
En masse (kg) de liant par m ³ de sable sec	Parts en volume				Résistance à la compression f_m selon la EN 1015-11 (N/mm ²)	Catégorie ou valeur équivalente	Classe de résistance
	Ciment (C)	Chaux hydratée (CL)	Chaux hydraulique (HL)	Sable			
C 250	2	-	-	9	8	8 M5	Rc 4 à 6
C 250 CL 50	2	1	-	9	8	8 M5	Rc 4 à 6
C 200 HL 100	2	-	1	10	8	8 M5	Rc 4 à 6
C 200 CL 100	1	1	-	6	5	M5	Rc 3 à 6
C 150 HL 150	1	-	1	7	5	M5	Rc 3 à 6
C 150 CL 150	1	2,5	-	7	2,5	M 2.5	Rc 2 à 5
C 100 HL 200	1	-	2,5	11	2,5	M 2.5	Rc 2 à 5
HL 400	-	-	2	5	2,5	M 2.5	Rc 2 à 5

La pigmentation éventuelle des mortiers sable/liant est possible. Elle ne pourra se faire qu'au moyen d'adjuvants de nature exclusivement minérale.

2.2.2.2. MORTIER TERRE

Les mortiers terre sont soit :

- Des mortiers non stabilisés : utilisant de la terre seule ou amendée de sable (ou d'un autre dégraissant – e.g. pouzzolane) — le liant principal est alors l'argile. L'emploi d'un mortier de terre non stabilisé impose d'être assuré que les murs bâtis sont à l'abri du risque d'exposition répété à la pluie et à une saturation en eau liquide. Il faudra alors s'assurer d'avoir la même résistance à la compression et à l'érosion entre le mortier non stabilisé et les blocs de terre.
- Des mortiers stabilisés : obtenus par mélange de terre, amendée ou non de sable (ou d'un autre dégraissant – e.g. pouzzolane), et d'un liant. Les liants les plus couramment utilisés sont des liants hydrauliques (chaux ou ciment).

La composition du mélange dépendra alors des caractéristiques des performances minimales à atteindre.

La bonne formulation des mortiers terre nécessite de tester :

- La résistance mécanique du mortier en compression ;
- L'adhérence du mortier sur la brique dans les conditions de mise en œuvre qui seront appliquées ;
- La compatibilité de sa cohésion et de son retrait avec les blocs.

Les valeurs de résistance devront alors être validées par des essais (NF EN 1015-11). Elles devront être conformes aux valeurs de résistance des classes de BTC employés. Ces valeurs sont reprises dans le tableau 7 ci-dessous.

Résistance caractéristique à la compression f_m du mortier

Le mortier est un matériau plein isotrope. La résistance du mortier f_m peut être déterminée directement par des essais sur échantillons de mortier.

TABLEAU 7 : RÉCAPITULATIF DES CARACTÉRISTIQUES DU MORTIER

CARACTÉRISTIQUES	VALEURS	PROTOCOLE DE MESURE
Masse volumique sèche moyenne	1800 kg/m ³	Mesurée selon EN 1015-6
Résistance minimale en compression	2 MPa	Mesurée selon EN 1015-11
Résistance minimale à la traction (par flexion) ²⁸	0,6 MPa	Mesurée selon EN 1015-11

2.2.2.3. MORTIER POUR JOINTOIEMENT APRÈS COUP DE MAÇONNERIE APPARENTE

Dans ce cas, les mortiers servant au jointoiement après coup ne pourront pas présenter une résistance mécanique supérieure au mortier de pose. De même, les liants ne pourront pas être de classe de résistance supérieure à celui utilisé pour le montage.

2.3. RÉSISTANCE DE LA MAÇONNERIE

Cette partie définit les contraintes admissibles dans les murs et fixe des règles simples de vérification de ces contraintes pour les cas courants, les valeurs à prendre en compte dans le calcul et la vérification de ces contraintes.

2.3.1. RÉSISTANCE À LA COMPRESSION

Résistance caractéristique à la compression f_k de la maçonnerie sous charge verticale

Résistance caractéristique à la compression f_k de la maçonnerie peut :

- être déterminée directement par des essais sur murets²⁹ ;
- être déterminée selon les valeurs tabulées du tableau 8 ci-dessous³⁰.

²⁸ Cette valeur est donnée à titre indicatif. Elle n'est pas utilisée dans les justifications techniques.

²⁹ Selon la norme NF EN 1052-1

³⁰ Les valeurs ont été calculées suivant la formule issue de l'Eurocode 6 : $f_k = K \cdot f_b^{0.7} \cdot f_m^{0.3}$ avec $K=0,45$

TABLEAU 8 : RÉSISTANCE CARACTÉRISTIQUE A LA COMPRESSION f_k DE LA MAÇONNERIE

Valeurs de performance des mortiers de « recette » sable/liant

f_k (MPa)		Résistance à la compression du mortier f_m (avec $\frac{1}{2} f_b \leq f_m \leq 2 f_b$)									
		Catégorie de mortier	-	-	M 2,5	M 2,5	M 2,5	M 5	M 5	M 5	M 5
Résistance à la compression du bloc f_b	Catégorie de BTC	Valeur de résistance (N/mm ²)	1*	2	2,5	3	4	5	6	7	8
	Rc 2	2	0,73	0,90	0,96	1,02	1,11				
	Rc 3	3		1,20	1,28	1,35	1,47	1,57	1,66		
	Rc 4	4		1,46	1,56	1,65	1,80	1,92	2,03	2,13	2,22
	Rc 5	5			1,83	1,93	2,10	2,25	2,38	2,49	2,59
	Rc 6	6				2,19	2,39	2,56	2,70	2,83	2,94

* valeur minimale tolérée, cette valeur n'est toutefois pas recommandée.

Pour les murs porteurs en BTC susceptibles d'être humidifiés en service de manière répétée, soit les murs exposés et non revêtus côté extérieur par un revêtement de finition (cf. *partie 3.1. Guide pour le choix des types de murs*), la résistance caractéristique en compression à prendre en compte dans les calculs sera soit :

- Les valeurs données par le tableau 8 ci-dessus, en choisissant comme valeur de résistance f_b du bloc la valeur de résistance à la compression humide³¹ ;
- Les valeurs divisées par 2 du tableau 8 ci-dessus.

Résistance à la compression de calcul R_{cd}

Le calcul de la résistance à la compression R_{cd} en partie courante **d'une paroi en BTC** soumise à un chargement vertical prépondérant s'obtient en divisant la résistance caractéristique à la compression f_k par un **coefficient de sécurité**³² γ_{MBTC} .

$$R_{cd} = f_k / \gamma_{MBTC}$$

$$\text{et } \gamma_{MBTC} = \gamma_{m1} \times \gamma_{m2} = 3,3$$

La valeur de γ_{MBTC} peut évoluer en fonction des niveaux de contrôle mis en place au niveau de la production et de l'exécution cf. *6.1.1. Niveaux de sécurité et contrôle de production — tableau 20*.

À l'état-limite ultime, la valeur de calcul de la charge verticale appliquée à un mur de maçonnerie, N_{Ed} , doit être inférieure ou égale à la valeur de calcul de la résistance aux charges verticales du mur, N_{Rd} , de sorte que :

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

31 Cet essai est identique à l'essai de compression sèche de la XP P13-901, à la seule différence que les corps d'épreuve testés ont été préalablement immergés complètement pendant 2 h puis essuyés et maintenus préparés dans un sac hermétique pendant au moins 48 h avant l'essai de compression (cf. XP P13-901 version octobre 2001)

32 La valeur γ_{MBTC} correspond à la valeur maximale de référence γ_M issue de l'Eurocode 6, calcul des ouvrages en maçonnerie. Elle tient compte de la dispersion des résistances du matériau et de l'exécution. L'application du coefficient de sécurité γ_{MBTC} permet de calculer la contrainte de compression en partie courante d'une paroi, ce qui ne dispense pas de vérifier que les contraintes localisées restent admissibles.

La valeur de calcul de la résistance aux charges verticales d'un mur, soumis à des charges centrées, par unité de longueur, N_{Rd} , est donnée par l'équation suivante :

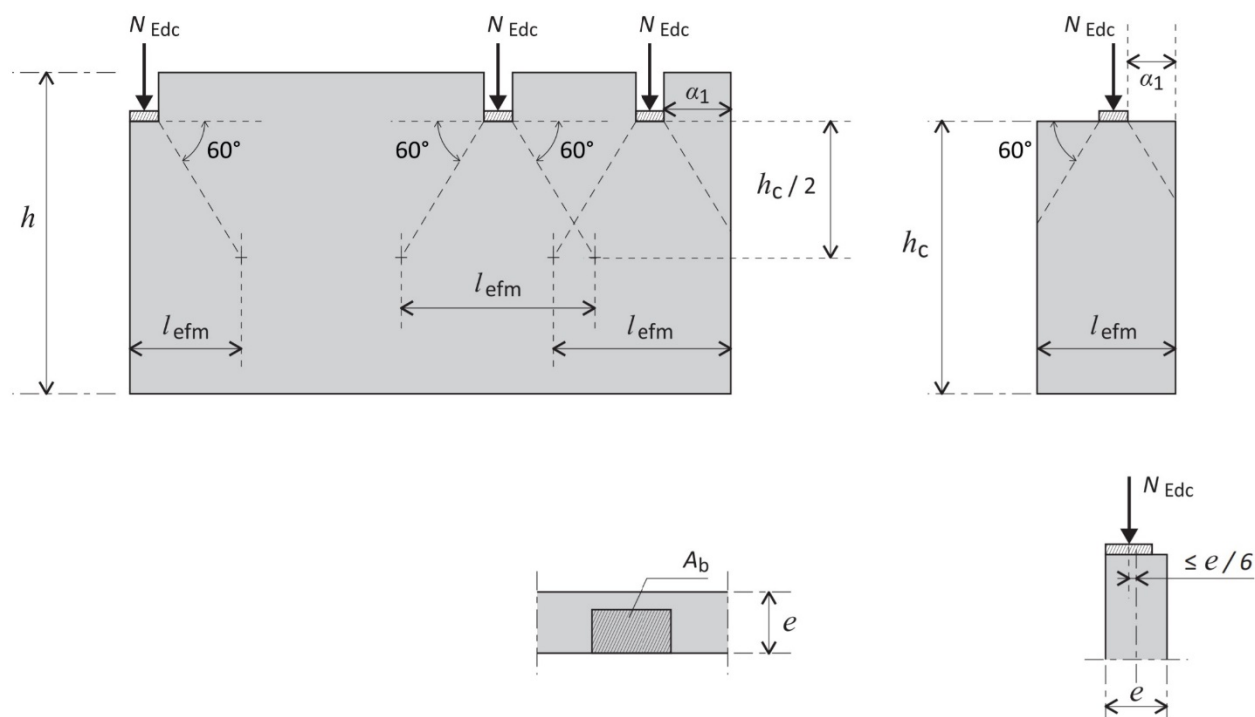
$$N_{Rd} = \Phi \times t_f \times R_{cd}$$

Avec

t_f = l'épaisseur du mur

Φ est le coefficient de réduction, Φ_i , au niveau de la partie supérieure ou inférieure du mur, ou Φ_m , au niveau du centre du mur, selon le cas, permettant de prendre en compte les effets de l'élancement et de l'excentricité des charges dont le calcul s'effectue suivant l'article 6.1.2.2 de l'EC6.

FIGURE 6 : LONGUEUR EFFECTIVE DE L'APPUI



Suivant les usages autorisés, les maçonneries de remplissage réalisées en BTC présentent une résistance caractéristique à la compression sous charge verticale qui leur permet de supporter dans tous les cas les charges induites sous l'effet de leur poids propre³³ et cela pour les catégories de résistance des blocs de R_c 2 à 6.

³³ Valeur de contrainte de compression maximum sous poids propre pour un mur de 14 cm d'épaisseur de l'ordre de 0,12 Mpa et pour un mur de 29,5 de l'ordre de 0,23 Mpa.

2.3.2. AUTRES VALEURS DE RÉSISTANCE

2.3.2.1. RESISTANCE INITIALE AU CISAILLEMENT

La résistance caractéristique initiale au cisaillement de la maçonnerie³⁴ en l'absence de contrainte de compression est définie telle que $f_{vk0} = 0,10 \text{ MPa}$

Pour l'emploi de BTC non stabilisé, cette valeur sera divisée par deux, soit 0,05 MPa.

2.3.2.2. VALEUR DE RÉSISTANCE EN FLEXION HORS PLAN

La résistance en flexion hors plan permet en particulier de vérifier la compatibilité des maçonneries avec les efforts dus au vent. (Il sera calculé selon la méthode de l'Eurocode 6)

On prendra pour hypothèse dans le calcul de la résistance au vent des ouvrages :

- Le calcul de la pression dynamique du vent selon l'Eurocode 1 actions sur les structures — Partie 1-4 : actions générales — Actions du vent, NF EN 1991 1-4 — voir partie 1.2.1.1. Zones climatiques
- Par défaut, des valeurs de f_{xk1} et de f_{xk2} respectivement de **0,10 et 0,30 MPa** – Ces valeurs seront à diviser par deux pour l'emploi de matériaux non stabilisés, soit respectivement 0,05 et 0,15 MPa
- Une valeur de γ_{MBTC} de **3,3** pour les ouvrages porteurs et non porteurs.

2.3.3. VARIATIONS DIMENSIONNELLES DE LA MAÇONNERIE

Les parois en BTC, comme la plupart des matériaux, présentent des variations dimensionnelles sous l'effet des changements des conditions hydriques et thermiques de leur état.

On peut distinguer le retrait initial des maçonneries, dû au séchage des matériaux (dessiccation) et au tassement des murs après la mise en œuvre³⁵, des mouvements de retrait et de dilatation à plus longs termes liés généralement aux variations climatiques ambiantes.

Retrait linéaire horizontal lors du séchage

Retrait horizontal de la maçonnerie lors du séchage est **de l'ordre de 0,6 mm/m**

Retrait et tassement verticaux lors du séchage

Les tassement et retrait verticaux de la maçonnerie lors du séchage sont **de l'ordre de 2 mm/m**

Valeur de fluage – déformation à long terme

La valeur de fluage ϕ_C , soit la déformation à long terme pour une maçonnerie porteuse est définie comme comprise entre 2 et 3³⁶. En l'absence de test de caractérisation spécifique, la valeur maximum sera à retenir pour les calculs de déformation.

34 En l'absence d'une campagne d'essais systématiques, cette valeur caractéristique de référence est à considérer pour l'emploi au minimum de BTC stabilisée Rc2 et de mortiers d'usage courant M2,5. Cette valeur est conservatrice et est volontairement inférieure aux valeurs minimales issues de l'Eurocode 6, calcul des ouvrages en maçonnerie.

35 La variation dimensionnelle due au séchage du mur est considérée comme stabilisée au bout de 3 semaines en moyenne, période durant laquelle le matériau aura effectué la quasi-totalité de son retrait et de son tassement.

36 Thèse de Nicole B. Trujillo de l'Université du Nouveau-Mexique « MIX DESIGN AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF STABILIZED COMPRESSED EARTH BLOCKS AND ASSEMBLIES FOR THE JEMEZ PUEBLO IN NEW MEXICO » proposent un coefficient de fluage moyen de 2,21 pour des BTC stabilisés hourdés au mortier de ciment et chargés à 20 % de la valeur de ruine pendant 56 jours.

Retrait/gonflement à l'humidité ou à long terme

Celui-ci peut varier, lors de changements extrêmes des conditions thermiques et hydriques de **- 0,45 à + 0,3 mm/m**

Coefficient de dilatation thermique moyen

La valeur moyenne de celui-ci est de **$9.10^{-5}/K$**

TABLEAU 9 : VARIATIONS DIMENSIONNELLES DE LA MAÇONNERIE DE BTC

Variation dimensionnelle des parois en BTC	Symbole	Valeurs
COURT TERME		
Retrait linéaire horizontal		0,6 mm/m
Retrait et tassement verticaux		2 mm/m
LONG TERME		
Coefficient de fluage ultime	ϕ_c	2 à 3
Retrait/gonflement à l'humidité ou à long terme		-0,45 à +0,3 mm/m
Coefficient de dilatation thermique moyen		$9 \cdot 10^{-5}/K$

Les variations dimensionnelles des maçonneries de BTC, en particulier celles verticales à court terme de retrait de séchage, sont à considérer avec beaucoup d'attention et spécifiquement en chantier lors de l'enchaînement des différents travaux.

Les modules instantanés et à long terme des BTC donnent **un fluage inframillimétrique** de déformation de la maçonnerie sous son poids propre à long terme.

2.4. AUTRES MATÉRIAUX

2.4.1. TRAITEMENT ET ÉTANCHÉITÉ DES JOINTS

De nombreux détails, intérieurs comme extérieurs, nécessitent la réalisation d'un joint entre des éléments d'ouvrage pouvant présenter un comportement différentiel. Du traitement du joint et de sa qualité de réalisation dépend le maintien des performances d'étanchéité recherchées — à la pluie, à l'eau, à l'air, au feu ou encore acoustique — tout en garantissant une liberté de comportement entre matériaux — dilatation ou gonflement, retrait, tassement, etc.

Ces variations dimensionnelles sont souvent inframillimétriques.

Cette partie concerne les joints de dilatation, de fractionnement, de tassement, à la jonction avec les menuiseries, les poteaux, les raidisseurs et des murs de nature différente.

Les joints seront traités soit :

- Par un élément formant couvre joint permettant un jeu libre entre les deux éléments. Il peut être fait usage de bandes de joint mousse pré-comprimée imprégnées ou non de résine synthétique.
- Par un joint constitué d'un mastic de calfeutrement et d'étanchéité de type mastic élastomère ou élastique élastomère à très forte adhésivité ou de cordon préformé (silicone, polyuréthane ou hybride) ou, le cas échéant, de cordon coupe-feu.

Les matériaux utilisables pour réaliser les joints³⁷ sont :

- les mastics pâteux applicables à froid ;
- les mastics pâteux applicables à chaud ;
- les mastics en cordons préformés ;
- les produits cellulaires en bandes adhésives ou non :
 - à cellules ouvertes imprégnées ou non,
 - à cellules fermées enrobées ou non ;
- les profilés :
 - en élastomère vulcanisé,
 - en matière plastique souple ou rigide,
 - en métal ;

Les produits utilisés seront adaptés aux supports concernés : matériaux de maçonnerie conventionnelle (brique, pierre, mortier, béton) ou autres matériaux (bois³⁸, acier, PVC, aluminium, etc.)

Dans le cas de murs ayant des exigences de résistance au feu, les joints doivent empêcher la propagation du feu. Ceux-ci pourront être traités par bourrage à l'aide de fibre minérale haute densité ou d'un joint coupe-feu. Les couches d'isolation dans les joints doivent être constituées de fibres minérales ayant un point de fusion supérieur à 1 000 °C ; les cavités éventuelles doivent être soigneusement calfeutrées. Les cordons coupe-feu sont généralement insérés côté intérieur de la paroi et sont protégés des infiltrations d'eau ou d'humidité par un joint ou un couvre-joint disposé sur la face extérieure du mur. Lorsque ceux-ci sont disposés sur le côté extérieur de la paroi, ils sont systématiquement protégés par un couvre-joint.

L'attention du maître d'ouvrage est attirée par le fait que la tenue des mastics des joints doit être vérifiée régulièrement, une fois par an minimum, afin de garantir la continuité dans le temps de l'étanchéité. L'apparition de retrait, manque ou fissuration dans le joint nécessitera une compensation de matière ou la reprise partielle ou complète du joint.

2.4.2. BANDES DE DÉSOLIDARISATION ET MATÉRIAUX RÉSILIENTS

Les bandes de désolidarisation, ou bandes résilientes, peuvent être placées entre la paroi et un autre élément de la construction³⁹. Elles sont constituées d'un matériau à bas module élastique. Elles permettent ainsi de dissocier les éléments et d'assurer une liaison élastique.

Les matériaux résilients et bandes de désolidarisation devront être conformes aux matériaux décrits dans le NF DTU 20.13 P1-2⁴⁰.

Une bande de désolidarisation est de largeur égale à l'épaisseur de la paroi finie.

2.4.3. OSSATURE PORTEUSE (REPLISSAGE)

2.4.3.1. OSSATURE EN BÉTON

La conception des ossatures béton porteuses devra obligatoirement respecter les règles de conception et de dimensionnement suivantes :

- L'Eurocode 0 — NF EN 1990 — Base de calcul des structures — avec ses annexes nationales
- L'Eurocode 2 — NF EN 1992 — Calcul des structures en béton
- NF DTU 21 — Travaux de bâtiment — Exécution des ouvrages en béton

³⁷ Les matériaux pour joints de type mastic sont définis par la norme NF EN 26 927

Les matériaux pour joints en caoutchouc sont définis par la norme NF EN 12 365 partie 1 à 4

Les matériaux pour joints de type élastomère, plastique ou mastic préformés sont définis par la norme NF P 85-304

Les matériaux pour mousses imprégnées sont définis par la norme NF P 85-570

³⁸ Les matériaux pour joints pour fenêtres en bois sont définis par la norme NF DTU 36.5

³⁹ Un bord séparé de la structure par une bande de désolidarisation est considéré comme un bord tenu.

⁴⁰ NF DTU 20.13 Cloisons en maçonnerie de petits éléments Partie 1-2 : Critères généraux de choix des matériaux

- La norme NF EN 13 670 Exécution des structures en béton
- La NF EN 206 béton et NF EN 10 080 Acier pour l'armature du béton
- L'Eurocodes 1 et ses annexes nationales (NF EN 1991-1-3/4)

Le dimensionnement des éléments de l'ossature, sections des poteaux et des poutres, armatures et contreventements, sera réalisé suivant les règles de l'art.

Le contreventement des ossatures béton pourra être réalisé par :

- Des voiles béton armé
- Des remplissages en maçonnerie

2.4.3.2. OSSATURE MÉTALLIQUE

La conception des ossatures métalliques porteuses devra obligatoirement respecter les règles de conception et de dimensionnement suivantes :

- L'Eurocode 0 — NF EN 1990 — Base de calcul des structures — avec ses annexes nationales
- L'Eurocode 3 — NF EN 1993 — Conception et calcul des structures en acier
- Le NF DTU 32.1 — Charpente en acier
- Norme NF EN 1090 (tolérances sur les pièces de métallerie)
- L'Eurocodes 1 et ses annexes nationales (NF EN 1991-1-3/4)

Le dimensionnement des éléments de l'ossature, sections des poteaux et des poutres, armatures et contreventements, sera réalisé suivant les règles de l'art.

Le contreventement des ossatures métalliques pourra être réalisé par :

- Des éléments de triangulation
- Des remplissages en maçonnerie

2.4.3.3. OSSATURE BOIS

Dispositions générales

La conception des ossatures bois porteuses devra obligatoirement respecter les règles de conception et de dimensionnement suivantes :

- L'Eurocode 0 — NF EN 1990 — Base de calcul des structures — avec ses annexes nationales
- L'Eurocode 5 — NF EN 1995 — Conception et calcul des structures en bois
- Le NF DTU 31.2 Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois (*le document n'est applicable qu'en France métropolitaine, les dispositions particulières liées au contexte mahorais sont explicitées ci-dessous*).
- Le NF DTU 31.1 — Travaux de bâtiment - Charpente en bois
- NF DTU P92-703 — Règles BF 88 — Méthode de justification par le calcul de la résistance au feu des structures en bois
- Règles professionnelles Afcobois - Cahier d'Iraboïs n° 8 « Construction en bois massif »
- Les Eurocodes 1, 2 avec leurs annexes nationales (NF EN 1991-1-3/4, etc.)

Le contreventement des ossatures bois pourra être réalisé par :

- Des éléments de triangulation
- Des panneaux à ossature bois
- Des murs ou remplissages en maçonnerie

Dispositions particulières liées au contexte mahorais

Les risques de dégradation encourus par les bois en œuvre dans un ouvrage vont dépendre de plusieurs facteurs, en particulier l'humidité et la température à laquelle les bois vont être exposés. Il faut être particulièrement attentif aux attaques qui peuvent être aussi bien dues aux xylophages — entre autres les termites — qu'à différentes espèces de champignons. En l'absence de dispositions antitermites spécifiques (traitement termicides, barrières physiques ou physico-chimiques, pièges, etc.) les bois utilisés seront les essences résistant naturellement aux termites⁴¹.

La conception des ossatures doit permettre d'éviter la présence prolongée d'eau ou d'humidité qui pourrait favoriser les attaques de champignons.

⁴¹ Suivant la protection contre les termites en application des articles R.112-2 à R.112-4 du 27 juin 2006 et suivant l'arrêté du 6 février 2010 ainsi que l'arrêté du 28 novembre 2014 modifiant l'arrêté du 27 juin 2006.

Classes d'emploi des bois

Les bois d'ossature employés exposés en murs extérieurs seront de classe 3.

Les bois de classe 3 peuvent être soumis à des alternances rapides d'humidité et de séchage. Ils sont naturellement résistants aux attaques de xylophages.

Les lisses basses des ossatures des murs des premiers niveaux des constructions devront également être de classe 3.

De même, toute partie d'ossature susceptible d'être soumise à la présence répétée d'humidité devra être de classe 3. Du fait de l'eau et de l'humidité apportées occasionnellement par la mise en œuvre du mortier à la pose des BTC, les éléments verticaux et horizontaux composant les murs intérieurs des ossatures en contact avec la maçonnerie sont au minimum de classe d'emploi 2.

L'utilisation de bois de classe 2 est possible pour certaines pièces intérieures de la structure, il nécessite un traitement chimique les rendant résistants aux attaques de xylophages⁴². Le choix de l'emplacement de ces pièces dans la structure doit les garder de toutes attaques de champignons.

L'entrepreneur est tenu de fournir au maître d'ouvrage une notice technique indiquant quelles sont les essences de bois utilisées, quels sont leurs emplacements dans la structure ainsi que les traitements utilisés et leurs compositions détaillées.

2.4.4. ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES

Les attaches et éléments métalliques accessoires seront identiques à ceux utilisés en maçonnerie classique de petits éléments. Tous les éléments métalliques doivent être conformes à la norme NF EN 845-1 « Spécification pour composants accessoires de maçonnerie ».

2.4.4.1. ATTACHES, FEUILLARDS ET ANCRAGES

Ces éléments de liaisons métalliques sont soit :

- En acier inoxydable A2 en zone littorale (bande de 10 km à ajuster selon topographie locale) ; classement du matériau de référence selon la norme NF EN 845-3
- En acier galvanisé avec protection de zinc, de classe A selon NF EN 10 244 parties 1 et 2.

Les combinaisons de métaux susceptibles d'entraîner de la corrosion sont à proscrire.

Les ancrages seront par exemple du type :

- Dans l'ossature bois : de pointes annelées 5x50 mm électrozinguées
- Dans le béton : de chevilles M8x65 mm électrozinguées

Résistance des attaches de liaison

Le nombre, la répartition et le type d'attache devront être déterminés en fonction des charges à reprendre. Il appartiendra à la maîtrise d'œuvre ou à l'entreprise de construction de réaliser au cas par cas des essais de résistance des ancrages afin de vérifier leurs conformités aux valeurs recherchées⁴³.

⁴² Les bois de classe 2, même traités, sont utilisables en intérieur et peuvent être soumis à un risque d'humidité ponctuelle.

⁴³ Les attaches pour parement peuvent être testées à l'arrachement selon la norme NF EN 845-1. Cette norme préconise 2 sens de chargement : en traction et en compression. Le nombre d'attaches devra être adapté en fonction des résultats des mesures de résistance à l'arrachement. Les fixations des attaches dans le support devront présenter également une résistance à l'arrachement en cohérence avec les valeurs recherchées.

2.4.4.2. ARMATURES DE RENFORT

Les armatures de renfort doivent être en acier et conformes à la NF EN 845-3. Elles seront choisies avec une épaisseur (ou un diamètre) inférieure ou égale à la moitié de l'épaisseur du joint de montage. Les armatures seront constituées d'au moins deux fils ou deux plats longitudinaux, reliés par des fils soudés. La section minimale d'une armature sera de 20 mm² en acier FeE500 (ou équivalent).

2.4.5. ISOLANTS

En fonction de la zone d'emploi de l'isolant, le concepteur devra en particulier s'assurer de sa convenance en ce qui concerne la réaction au feu et la résistance à l'humidité.

L'épaisseur de l'isolant ainsi que ses caractéristiques thermiques et acoustiques sont laissées à l'appréciation de la maîtrise d'œuvre de l'opération en fonction des exigences acoustiques et thermiques du projet.

Le concepteur s'assurera que l'isolant utilisé ne constitue pas une barrière vis-à-vis de la diffusion de vapeur d'eau. Les facteurs de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau des BTC est de l'ordre de $\mu = 10^{44}$, soit une valeur S_d pour un mur de 9,5 cm d'épaisseur : $S_d = \mu \times d = 0,95$ m et pour un mur de 15 cm d'épaisseur : $S_d = \mu \times d = 1,5$ m.

Afin de ne pas porter atteinte à la capacité de régulation hygrothermique de la terre crue et d'éviter tout problème de condensation, l'utilisation d'un matériau isolant étanche aux transferts d'humidité est proscrite. Il est conseillé que l'isolant utilisé soit très perméable à la vapeur d'eau, c'est-à-dire tel que sa résistance à la diffusion de la vapeur d'eau S_d soit inférieure à celle des parois maçonnées en BTC. Le μ de nombreux matériaux isolants étant inférieur à 2, le respect de cette recommandation est simple au vu des épaisseurs d'isolants envisagées.

Le cas échéant, les dispositifs de fixation et d'écartement des panneaux isolants doivent être imputrescibles et non corrodables.

2.4.6. PRODUITS DE FINITION DE LA MAÇONNERIE

Il est important de prendre en considération que le BTC est un matériau hygroscopique, qui a la propriété d'absorber et de restituer l'humidité. Il faut donc prêter une attention particulière à la nature des finitions et des revêtements utilisés et à leur mise en œuvre, afin de ne pas bloquer les échanges de vapeur d'eau et ainsi éviter des condensations malencontreuses à l'intérieur de la paroi.

Il convient donc préférentiellement d'utiliser sur les parois en BTC des dispositions et des produits perméables à la vapeur d'eau. L'application de produits de finition ou de doublage imperméables à la vapeur d'eau simultanément sur les deux faces du mur est proscrite⁴⁵.

2.4.6.1. FIXATEUR, VERNIS OU PEINTURE

Il convient d'utiliser des produits non filmogènes et perméables à la vapeur d'eau.

Les murs en BTC pourront recevoir :

- un badigeon ; (d'argile, de chaux, de ciment) ;

44 État de l'art *Caractéristiques hygrométriques, mécaniques et thermiques de la terre crue*, CRAtterre, 2011.

45 Hors cas spécifique des zones soumises aux projections et stagnations d'eau régulières (relevé d'étanchéité, solin, zones de concentration d'eau des pièces d'eau et salle de bains, etc.).

- un fixateur de surface, par exemple pour l'intérieur à base de caséines ou de cellulose ou, pour l'extérieur, à base de silicates⁴⁶
- une peinture ou un vernis — à base minérale ou polymères^{47 49}
- un revêtement d'imperméabilité de i1 à i4⁴⁸ ;

Les revêtements dits d'imperméabilité sont soit des enduits hydrauliques soit des revêtements de classe i1 à i4 au sens de la NF T34-722 (de E4 ou E5, V2, W2, et de A2 à A5 suivant la NF EN 1062-1). L'usage de revêtements de classe i3 et i4, épais et très plastiques, sera de préférence réservé au traitement de point singulier comme les zones de jonction ou d'interface particulières où des fissurations supérieures à 0,5 mm sont susceptibles d'apparaître. Leur emploi en partie courante des maçonneries est à éviter en raison de leur absence de perméabilité à la vapeur d'eau. Sur ces zones, il sera préférable de recourir à des peintures, vernis, ou revêtement d'imperméabilité de classe i1 à i2.

Les produits destinés aux supports minéraux (pierre, brique cuite, béton, etc.) conviennent couramment à une application sur des maçonneries de BTC.

Il existe de nombreuses recettes faites de différents adjuvants, liquides ou en poudre, généralement utilisées pour la finition des enduits⁴⁹, qui sont adaptées aux supports en BTC. Ce sont la plupart du temps des recettes ou produits à base de caséine, de sel d'alun, de méthylcellulose (colle à papier peint), des badigeons à base de chaux ou des solutions à base d'huile (huile de lin notamment). Il conviendra alors de pratiquer des essais sur des surfaces d'environ 1 m² afin de vérifier le bon comportement de la recette avec le support.

2.4.6.2. ENDUIT

Le concepteur s'assurera de la compatibilité de l'enduit avec le support en maçonnerie BTC selon les Règles professionnelles pour la mise en œuvre des enduits sur supports composés de terre crue⁵⁰.

2.4.6.3. DOUBLAGE

L'utilisation d'un matériau isolant étanche aux transferts d'humidité est proscrite. Ceci afin d'éviter les problèmes de condensation pouvant entraîner des pathologies liées à présence prolongée d'humidité.

46 Ces produits se trouvent souvent sous différentes appellations : durcisseur, fixateur, minéralisant, etc. Ils conviennent aussi bien en extérieur qu'en intérieur.

47 Les produits à base minérale seront à préférer car ils présentent une meilleure perméabilité à la vapeur d'eau et une meilleure compatibilité au support.

48 Le retour d'expérience réalisé en 2015 par les équipes en charge de la maintenance sur le parc locatif de la SIM à Mayotte qui se compose de plus de 1 800 logements réalisés en BTC, utilisant de nombreux types de peinture pour support de type minéral, n'a pas fait apparaître de problème de compatibilité entre ceux-ci et les BTC. Il n'a pas non plus été constaté de vieillissement prématuré de ces revêtements.

49 *Règles professionnelles, Enduits sur supports composés de terre crue*, Réseau Écobâtir, éditions Le Moniteur, Paris, septembre 2013.

Guide des bonnes pratiques de la construction en terre crue - enduit en terre, ARESO, ARPE Normandie, AsTerre, ATOUTERRE, CAPEB, Collectif des terroirs armoricains, FFB, Fédération des SCOP du BTP, Maisons paysannes de France, Réseau Écobâtir, TERA, décembre 2018.

Argiles et biopolymères : les stabilisants naturels pour la construction en terre, Vissac, Aurélie, Ann Bourgès, David Gandreau, Romain Anger, et Laetitia Fontaine. Villefontaine : CRAterre, 2017.

50 *Règles professionnelles, Enduits sur supports composés de terre crue*, Réseau Écobâtir, éditions Le Moniteur, Paris, septembre 2013.

3. CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT

Cette partie a pour objet de décrire les grands principes de conception à respecter pour la construction des parois en BTC visées par ces règles professionnelles, selon les caractéristiques mécaniques des BTC et les fonctions assurées par la paroi. Elle inclut des règles de dimensionnement et de calepinage des murs.

Il n'existe pas de solution unique pour la construction en BTC.

Chaque projet architectural adaptera sa conception et ses détails constructifs en fonction du contexte dans lequel il s'inscrit et selon les attentes esthétiques, techniques et structurelles.

3.1. GUIDE POUR LE CHOIX DES TYPES DE MURS

3.1.1. RÉSISTANCE À LA PÉNÉTRATION DE LA PLUIE DES PAROIS EXTÉRIEURES

Cette partie a pour objet de donner des indications pour le choix des dispositions constructives des murs et parois en BTC pour un usage en façades de bâtiments en tenant compte de l'exposition de ces façades à la pluie et au vent.

Les types de murs sont définis par leur résistance à la pénétration de la pluie battante, à la sévérité de l'exposition et l'environnement général de la construction.

La conception des bâtiments devra respecter impérativement les dispositions décrites dans ce document concernant les principes de :

- Soubassements ;
- Jonctions entre ossature et remplissage ;
- Protections hautes des ouvrages ;
- Conception des menuiseries ;
- Finitions, si nécessaire, en extérieur (enduit, peinture, etc.).

3.1.1.1. TYPE DE BLOCS

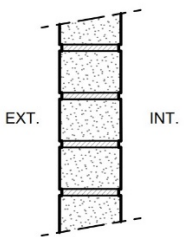
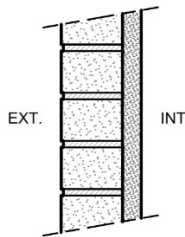
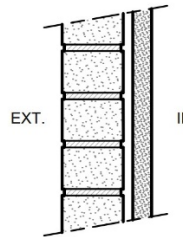
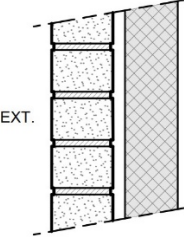
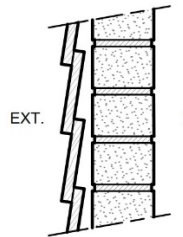
Les façades extérieures utiliseront au minimum des blocs :

- De catégorie de résistance Rc2 pour les maçonneries non porteuses ;
- De catégorie Rc3 ou Rc4 pour les maçonneries porteuses (*cf partie 2.1.1 Type de BTC*)
- De classe d'application CL1 ou ;
- De classe d'application CL2 et revêtus d'un enduit adapté (*cf. 2.4.6. produits de finitions de la maçonnerie*). Les maçonneries devront alors obligatoirement être protégées par un abri (non exposée – abritée ou semi-abritée - *cf. partie 3.1.1.3. Protection des parois par un abri*). Le type de paroi sera choisi dans le tableau 12

3.1.1.2. TYPES DE PAROI, TYPE D'EXPOSITION ET RECOMMANDATIONS

Les différentes parois et complexes de paroi extérieurs sont classés par type dans le tableau 10 ci-dessous. Ils présentent un niveau de protection à la pénétration de la pluie classé par ordre croissant de résistance.

TABLEAU 10 : TYPE DE PAROI EN FONCTION DE LA COMPOSITION⁵¹

Type I	Type IIa	Type IIb	Type III	Type IV
Paroi simple	Paroi + doublage sans lame d'air	Paroi + doublage avec lame d'air	Double Paroi + lame d'air + exutoire	Paroi + protection de façade
mur ne comportant ni revêtement imperméable sur son parement extérieur, ni coupure de capillarité dans son épaisseur	mur ne comportant aucun revêtement imperméable sur son parement extérieur, mais comportant, dans son épaisseur, une coupure de capillarité continue constituée par des panneaux isolants non hydrophiles	mur ne comportant aucun revêtement imperméable sur son parement extérieur, mais comportant, dans son épaisseur, une coupure de capillarité continue constituée par une lame d'air continue	mur dans lequel la paroi extérieure en maçonnerie, non protégée par un revêtement imperméable, est doublée par une seconde paroi séparée de la première par une lame d'air continue. La paroi dispose d'un dispositif d'évacuation d'eau en pied	mur dont l'étanchéité à la pluie est assurée par un revêtement imperméable situé en avant de la paroi en maçonnerie
				

Les murs extérieurs sont définis par la sévérité de l'exposition à la pluie battante en fonction de leur environnement dans le tableau 11 qui suit.

TABLEAU 11 : TYPE D'EXPOSITION DES PAROIS⁵² EN FONCTION DE LEUR ENVIRONNEMENT

Type d'exposition	Définition de la paroi
Non exposée	Abritée par un balcon, loggia, coursive, encorbellement ou débord de toiture et dont la hauteur est au maximum égale à la profondeur de l'abri (figure 9)
Abritée	Opposée aux vents fréquemment chargés de pluie
	Parallèle aux vents de pluie dans les régions où ceux-ci ont une direction bien déterminée et dont le débord de toiture ou encorbellement représente au minimum 1/5 de la hauteur du mur qu'ils protègent (figure 8)

⁵¹ Définie et amendée selon les dispositions du NF DTU 20.1

⁵² Définie et amendée selon les dispositions du NF DTU 20.1

	– Exposée aux vents de pluie – Abrisée par un balcon, loggia, coursive, encorbellement ou débord de toiture et dont la hauteur est au maximum de deux fois la profondeur de l'abri (voir schéma ci dessous) (<i>figure 7</i>)
	– Exposée aux vents de pluie – Protégée par un masque permanent (autre bâtiment, murs, murets, collines, etc.) situé à moins de 30 m et dont la hauteur est égale ou supérieure à la paroi ou la partie de la paroi qu'ils protègent ⁵³
Semi-abritée	Parallèle aux vents de pluie dans les zones où ceux-ci ont une direction pouvant s'écarter au maximum de 45° de part et d'autre du vent dominant chargé de pluie et dont le débord de toiture ou encorbellement représente au minimum 1/5 de la hauteur du mur qu'ils protègent (<i>figure 8</i>)
Exposée	Ni abritée, ni semi-abritée, ni non exposée

En fonction du type d'exposition (tableau 11), et de la hauteur des parois au-dessus du sol, des recommandations sur le type de paroi (tableau 10) à employer sont présentées suivant leur finition dans les tableaux qui suivent pour :

- Les maçonneries en BTC CL1 destinées à rester apparentes sans traitement de finition sur la face externe hormis un jointoyage soigné et les maçonneries BTC CL2 enduite dans le tableau 12 ;
- Les maçonneries en BTC CL1 avec traitement de finition sur sa face externe, a minima : vernis, peinture, enduit hydraulique, revêtements I1 et I2 dans le tableau 13 ;

Ces dispositions décrites sont considérées comme suffisantes pour assurer la protection des façades vis-à-vis des intempéries et quelle que soit la situation des bâtiments en fonction de l'environnement : centre urbain, ville ou village en dehors des grands centres urbains, rase campagne, zone littorale, front de mer ou situées dans les villes côtières.

Dans la plupart des cas, une paroi simple de façade de type I en BTC stabilisé de catégorie CL1 de 14 cm d'épaisseur minimum, soigneusement jointoyés et sans revêtement extérieur, ou de type CL2 avec enduit ou revêtement d'imperméabilité, garantit une étanchéité suffisante face à la pénétration de l'humidité en parement intérieur⁵⁴.

Pour les parois de type I mises en œuvre en situation d (zone littorale et front de mer), il est cependant rappelé qu'il existe toujours un risque ponctuel d'apparition d'humidité au nu intérieur du mur lors d'épisodes pluvieux exceptionnels.

Des types de murs présentant une protection moindre que celles décrites dans les tableaux 12 et 13 sont autorisées lorsque les exigences d'étanchéité sont peu contraignantes et s'accommodent également de l'apparition ponctuelle de traces d'humidité en parement intérieur.

Dans le cas de mur IIb et III ou le parement extérieur est la paroi en BTC, l'étanchéité à la pénétration de la pluie est assurée par le complexe de paroi qui comporte une rupture de capillarité continue dans l'épaisseur de la paroi constituée d'une lame d'air

⁵³ Selon les dispositions du NF DTU 20.1 P3 – voir également schémas explicatifs partie 3.1.1.3. Protection des parois par un abri

⁵⁴ Un retour d'expérience a été réalisé en 2015 par les équipes en charge de la maintenance sur le parc locatif de la SIM qui se compose de plus de 1800 logements réalisés en BTC. Celui-ci n'a relevé aucune sinistralité ou pathologie relative à la pénétration d'humidité au travers des parois, quel que soit le type de mur considéré : mur de type 1, de 14 à 30 cm d'épaisseur, ayant ou non reçu un revêtement de finition en parement extérieur (brut — vernis — peinture ou revêtement i3 ou i4). Il n'a pas non plus fait apparaître de problème de compatibilité entre les BTC et les différents revêtements courants employés en parement extérieur. Il n'a pas non plus été constaté de vieillissement prématuré de ces revêtements.

TABLEAU 12 : MAÇONNERIES APPARENTES – BTC CL1 SANS TRAITEMENT DE FINITION HORMIS UN JOINTOYAGE SOIGNÉ OU CL2 + ENDUIT

choix du type de paroi et épaisseur minimum	type d'exposition			
hauteur du mur au-dessus du sol (m)*	non exposé	abrité	semi-abrité	exposé
≤ 3	I	I	I	I ép. ≥ 22 cm ou IIa
3 à 6	I	I	I ép. ≥ 22 cm ou IIa	I ép. ≥ 22 cm ou IIa
6 à 12	I	I ép. ≥ 22 cm ou IIa	I ép. ≥ 22 cm ou IIa	I ép. ≥ 29,5 cm ou IIa ép ≥ 22 cm ou IIb
12 à 18	I ép. ≥ 22 cm ou IIa	I ép. ≥ 22 cm ou IIa	I ép. ≥ 29,5 cm ou IIa ép ≥ 22 cm ou IIb	IIb ép. ≥ 22 cm ou III

* hors pointe des pignons si les combles sont non habités

TABLEAU 13 : MAÇONNERIES DE BTC CL1 AVEC TRAITEMENT DE FINITION SUR SA FACE EXTERNE : VERNIS, PEINTURE, ENDUIT HYDRAULIQUE, REVETEMENTS I1 ET I2

choix du type de paroi et épaisseur minimum	type d'exposition			
hauteur du mur au-dessus du sol (m)*	non exposé	abrité	semi-abrité	exposé
≤ 3	I	I	I	I
3 à 6	I	I	I	I ép. ≥ 22 cm ou IIa
6 à 12	I	I	I ép. ≥ 22 cm ou IIa	I ép. ≥ 22 cm ou IIa
12 à 18	I	I ép. ≥ 22 cm ou IIa	I ép. ≥ 22 cm ou IIa	I ép. ≥ 29,5 cm ou IIa ép ≥ 22 cm ou IIb

* hors pointe des pignons si les combles sont non habités

Une partie des dispositions constructives présentées dans ces règles constitue des dérogations au DTU en vigueur :

- au NF DTU 20.1 concernant l'épaisseur des parois ;
- au NF DTU 31.2 concernant la nécessité d'un pare pluie.

Elles sont cependant compensées par des dispositions plus contraignantes concernant les soubassements et les protections des façades.

3.1.1.3. PROTECTION DES PAROIS PAR UN ABRI

Afin d'assurer une étanchéité à pénétration de la pluie et une protection à l'action de l'eau suffisante (érosion et humidité), le concepteur privilégiera la conception des parois de BTC comme non exposées ou abritées (tableau 11). C'est en particulier le cas pour les parois simples sans revêtement d'imperméabilité (type I),

Cet abri pourra être constitué de :

- un balcon, une loggia, une coursive ou un encorbellement ;
- un débord de toiture.

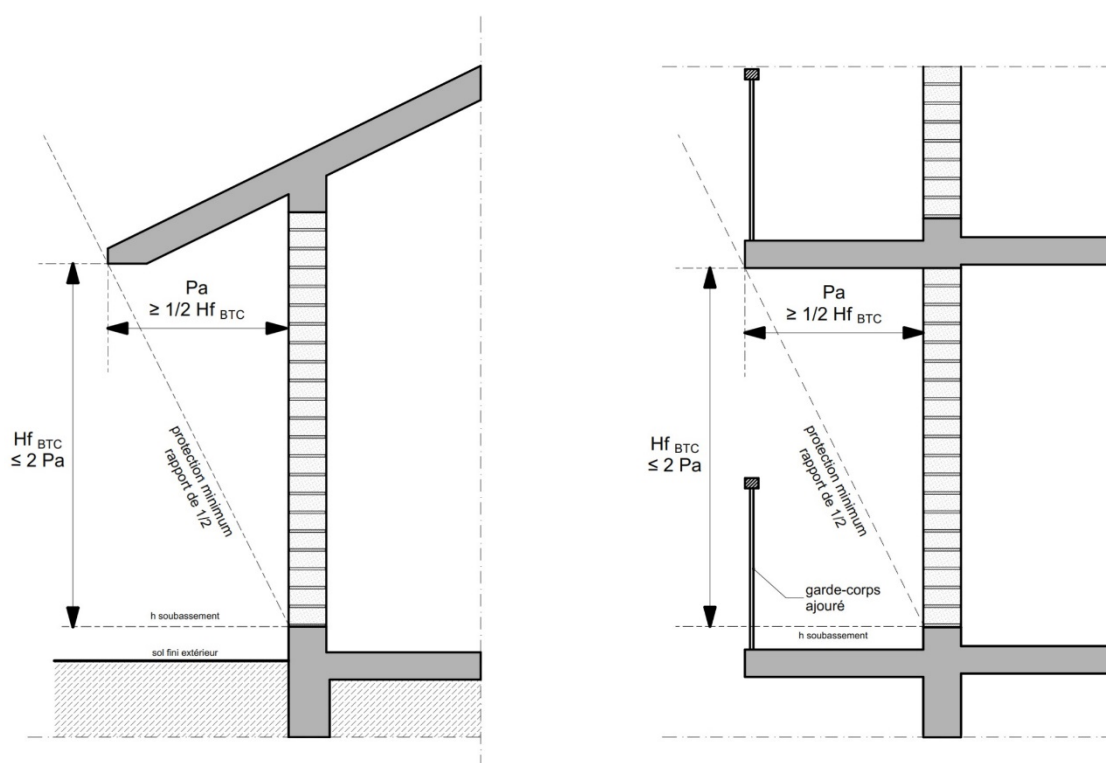
Il doit être conçu pour présenter une profondeur supérieure à la moitié de sa hauteur de la façade exposée en BTC :

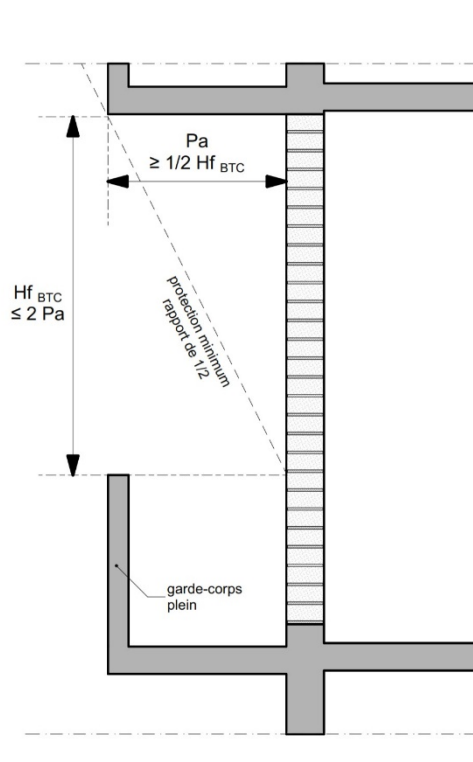
$$Pa \geq 1/2 Hf_{BTC} \text{ OU } Hf_{BTC} \leq 2 Pa$$

Pa : profondeur de l'abri — (longueur du balcon, de la loggia ou du débord de toiture protégeant la façade par exemple)

Hf_{BTC} : hauteur exposée de la façade BTC hors hauteur du muret de soubassement insensible à l'eau.

FIGURE 7 : FAÇADE ABITÉE, PRINCIPE SCHEMATIQUE DE LA PROFONDEUR DE L'ABRI – DÉBORD DE TOITURE, BALCON ET LOGGIA

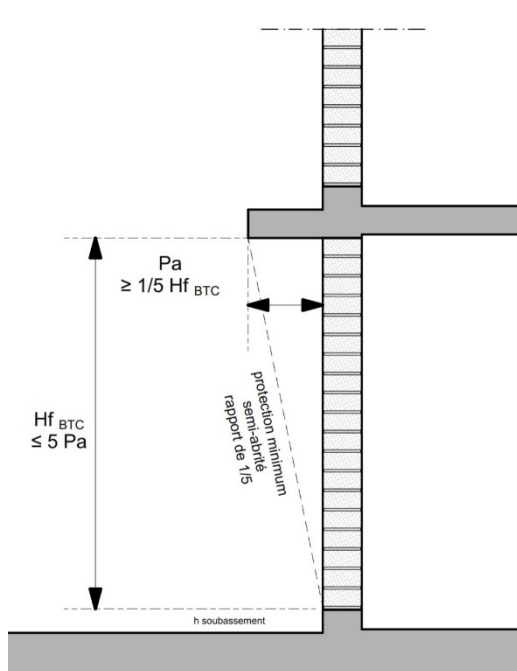




Une toiture intermédiaire sous forme d'auvent peut compenser un débord de toiture haut pas assez profond afin d'atteindre la protection recherchée sur l'ensemble de la hauteur d'une façade. Il faudra cependant être particulièrement attentif à la conception de ces auvents (cf. 4.1.7. *Émergences et solins*).

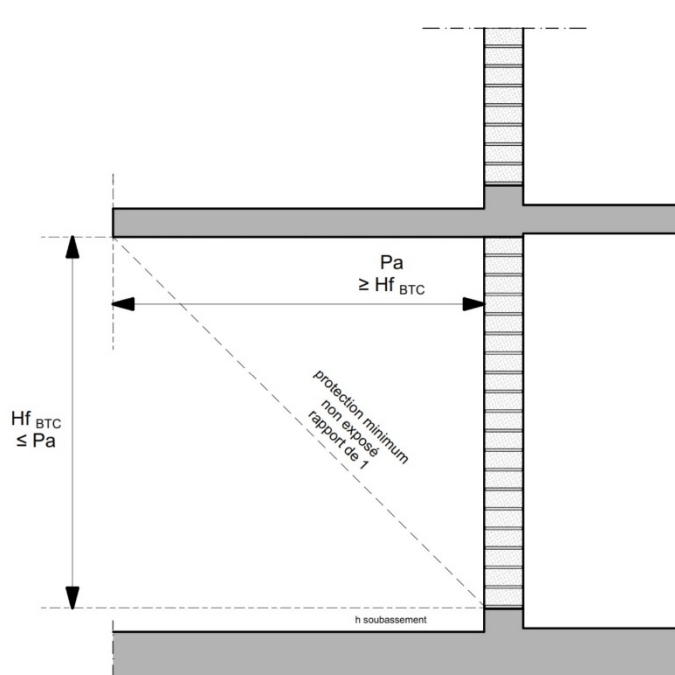
Dans certains cas favorables, par exemple dans les zones urbaines ou pour les façades les moins exposées ou parallèles aux vents dominants chargés de pluies, **les façades semi-abritées** peuvent être considérées comme abritées (tableau 11). La protection des ouvrages peut alors être réduite de telle sorte que le coefficient **$Pa \geq 1/5 Hf_{BTC}$ ou $Hf_{BTC} \leq 5 Pa$**

FIGURE 8 : FAÇADE SEMI-ABRITÉE, PRINCIPE SCHÉMATIQUE DE LA PROFONDEUR DE L'ABRI – DÉBORD DE TOITURE, BALCON ET LOGGIA



Dès lors que la profondeur de l'abri sera supérieure ou égale à la hauteur de la façade en BTC - $Pa \geq H_f \text{ BTC}$ ou $H_f \text{ BTC} \leq Pa$ – la façade pourra être considérée comme **non exposée**. Dans ce cas les contraintes de protection aux intempéries sont moindres.

FIGURE 9 : FAÇADE NON EXPOSÉE, PRINCIPE SCHÉMATIQUE DE LA PROFONDEUR DE L'ABRI – DÉBORD DE TOITURE, BALCON ET LOGGIA



3.1.2. ISOLEMENT ACOUSTIQUE

La conception du bâtiment devra répondre aux exigences en matière de réglementation acoustique⁵⁵. Il est par ailleurs rappelé que le respect des objectifs acoustiques réglementaires n'implique pas nécessairement la pleine satisfaction des usagers et riverains, c'est pourquoi il est recommandé de faire appel à des bureaux d'études spécialisés.

Suite à une étude basée sur des mesures en laboratoire et des modélisations permettant d'extrapoler les résultats obtenus, les indices d'affaiblissement acoustique R_w (C;Ctr) qui suivent⁵⁶ (tableau 14) sont proposés à titre indicatif pour des parois en BTC⁵⁷.

Les différentes variantes de parois proposées peuvent ainsi être intégrées à une grande variété de programmes : logements collectifs, hôtellerie, enseignement, santé, tertiaire, etc.

En particulier, les cloisons doubles et parois en BTC de 9,5 cm ou 14 cm d'épaisseur doublées peuvent convenir pour un usage en séparatif entre logements.

55 La RTAA DOM 2016 ne s'applique pas à Mayotte à la date de rédaction.

56. Mesures d'affaiblissement acoustiques réalisées en laboratoire selon la norme NF EN ISO 10140 sur des murs en BTC de 10 cm et 30 cm d'épaisseur. Les BTC utilisés présentaient des caractéristiques voisines aux BTC produits à Mayotte (masse volumique 1,9, module d'Young 3 GPa, et composition granulaire). À partir de ces mesures, une loi de comportement a été établie et des simulations numériques réalisées par le BET LASA pour estimer les affaiblissements de différentes parois analogues.

57 Parois nues, jointoyées, mais non enduites, l'ajout d'enduit peut conduire à de meilleures performances d'affaiblissement acoustique, notamment pour les cloisons simples non doublées. Les indices d'affaiblissement acoustique présentés dans le tableau 14 sont à considérer avec des liaisons périphériques étanches acoustiquement (feuillures, tasseaux, cornières...). À titre indicatif, une dégradation de l'indice d'affaiblissement de l'ordre de -5 à -15 dB a pu être constatée en laboratoire, après retrait des systèmes de calfeutrement.

Un soin particulier sera apporté :

- A la qualité du jointoiement ou du rejointoiement, par l'amélioration de l'étanchéité à l'air de la paroi en partie courante.
- Au calfeutrement des interfaces, notamment sur les côtés désolidarisés (interposition de bandes résilientes, de joints mousse expansée, de mastics, de tasseaux, cornières et autres systèmes à recouvrement etc.) afin de limiter les transmissions acoustiques parasites

TABLEAU 14 : PERFORMANCES ACOUSTIQUES DES PAROIS EN BTC

TYPE DE PAROI	Rw (C ; Ctr) en dB ⁵⁸ de l'ordre de
Mur simple de 9,5 cm d'épaisseur	44 (-1 ; -3)
Mur simple de 14 cm d'épaisseur	47 (-2 ; -4)
Mur simple de 22 cm d'épaisseur	50 (-1 ; -4)
Mur simple de 29,5 cm d'épaisseur	53 (-1 ; -5)
Mur double de 24 cm (2x9,5 cm / vide 5 cm avec 45 mm de laine isolante)	67 (-1 ; -3)

L'obtention de performances acoustiques in situ dépend cependant des types de parois et des principes constructifs propres à chaque projet (murs/planchers/menuiseries, etc.), la compatibilité des parois avec les usages envisagés devra être confirmée par des études acoustiques adaptées à chaque projet.

L'ajout d'un enduit sur une ou deux faces, ou l'ajout d'un vernis ou d'un fixateur, peuvent généralement conduire à une légère amélioration de l'affaiblissement acoustique de la paroi, notamment pour les parois simples non doublées de 10 et 15 cm (de l'ordre de 1 à 2 dB pour un fixateur/bouche-pores, et plus pour un enduit en fonction de son épaisseur).

L'attention est attirée sur le traitement des interfaces entre la maçonnerie et les raidisseurs ou murs de nature différente, ainsi que celle avec les dalles de plafond en particulier en l'absence d'essai en laboratoire sur les transmissions acoustiques latérales à ce stade.

Concernant les mises en œuvre en tant que paroi latérale, telles qu'en remplissage de façade, en séparatif sur circulation, etc., la performance d'isolement latéral des cloisons en BTC n'a pas encore fait l'objet d'essais en laboratoire. Il convient donc de prendre des précautions supplémentaires pour ces cas de mise en œuvre⁵⁹.

3.1.3. CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

Le BTC n'est pas un isolant, mais il a des caractéristiques intéressantes pour le confort thermique de l'habitat. Il apporte de l'inertie thermique au bâtiment, qui se traduit par un amortissement et un déphasage des variations de température intérieure par rapport aux variations de température extérieure, et améliore le confort hygrothermique, notamment via son potentiel d'échange de vapeur d'eau apportant un lissage du taux d'humidité de l'air intérieur.

Les maçonneries en BTC peuvent recevoir, si nécessaire, une isolation thermique par l'intérieur ou par l'extérieur. Selon l'épaisseur d'isolant et ses caractéristiques thermiques, le BET thermique de chaque projet vérifiera la compatibilité de la paroi avec les dispositions projetées.

⁵⁸ Les valeurs ci-contre ne tiennent pas compte d'éventuelles transmissions sonores parasites en périphérie de cloison.

⁵⁹ Un guide spécifique sur le sujet des transmissions sonores latérales des BTC a été rédigé par le BET LASA afin de proposer quelques guides de conception utiles.

Réglementation thermique applicable

La conception des parois BTC devra répondre aux exigences de réglementation thermique en vigueur.

En application de la Charte « MayEnergie », et en attente de l'application de la RTAA DOM 2016⁶⁰, la conception du bâtiment courant devra répondre aux exigences en matière d'économie d'énergie, de recours aux énergies renouvelables, de confort hygrométrique grâce à une ventilation naturelle de confort et des protections solaires.

La principale contrainte réglementaire repose sur le respect d'un facteur solaire maximum pour les parois. Celui-ci est calculé suivant la Charte « MayEnergie » en utilisant les valeurs de conductivité thermique des matériaux du mur et le coefficient d'absorptivité α de la paroi, défini ci-après.

Conductivité thermique, Résistance thermique et isolation

La conductivité thermique du BTC⁶¹ λ_{BTC} est de l'ordre de **0,8 W/m.K**

La résistance thermique **R** des parois courantes en BTC est donc de :

- **R = 0,17 m².K/W** pour une épaisseur de **14 cm**.
- **R = 0,27 m².K/W** pour une épaisseur de **22 cm**.
- **R = 0,37 m².K/W** pour une épaisseur de **29,5 cm**.

Les valeurs de conductivité thermique⁶² du BTC peuvent être évaluées par essais suivant les normes NF EN 12 664 et NF EN 12 667 (détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique) et norme NF EN 1745 (maçonnerie et éléments de maçonnerie — Méthodes pour la détermination des propriétés thermiques).

Coefficient d'absorptivité

Le coefficient moyen d'absorptivité α pour les BTC nus (bruts / non recouverts) est compris entre **0,55 à 0,65**

Le choix du ton de la peinture impacte les caractéristiques thermiques du mur.

Il est nécessaire de privilégier les tons clairs et les peintures à forte réflectivité permettant d'atteindre un facteur solaire aussi faible que possible.

TABEAU 15 : PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DU BTC

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES (valeurs moyennes)		
Conductivité thermique	λ	0,8 W(m.K) ⁻¹
Capacité thermique (à 20 °C)	C	800 J(kg.K) ⁻¹
Coefficient d'absorptivité (bloc nu)	α	de 0,55 à 0,65

⁶⁰ Les arrêtés de la RTAA 2016 s'appliquent dans les départements d'outre-mer à l'exception encore aujourd'hui de Mayotte.

⁶¹ Selon plusieurs sources, entre autres : Rapport d'essai BTC bloc Terrabloc (Prüfung der Wärmeleitfähigkeit gemäss SN EN 1745 / mittels Wärmestrommessplatten-Gerät nach SN EN 12664) et Analyse des caractéristiques des systèmes constructifs non industrialisés, Rapport final, CSTB 2007

⁶² Valeur par défaut. La conductivité thermique utile d'un BTC est obtenue en multipliant la valeur déclarée du fabricant par un coefficient qui vaut 1,15

3.1.4. PERMÉABILITÉ À LA VAPEUR D'EAU ET CONDENSATION

Le facteur de résistance⁶³ à la vapeur d'eau μ du BTC est au maximum de 15.

Soit une valeur S_d de :

- 2,1 pour une paroi de 14 cm d'épaisseur
- 3,3 pour une paroi de 22 cm d'épaisseur
- 4,4 pour une paroi de 29,5 cm d'épaisseur

Le BTC est utilisé principalement en paroi simple (monocouche), il peut être également utilisé avec une isolation rapportée (intérieure ou extérieure). Les caractéristiques du BTC tant en résistance à la vapeur d'eau que de capacité de transport capillaire et de sorption/désorption sont telles que le risque de condensation d'eau, humidité superficielle critique et condensation dans la masse, est quasi inexistant⁶⁴. En effet, à Mayotte, les différences de température et d'humidité de l'air entre l'intérieur et l'extérieur sont faibles et les locaux souvent très ventilés. De plus, le climat mahorais ne présente pas de période de froid intense et prolongé.

Locaux climatisés

L'usage de la climatisation amène la vapeur d'eau à diffuser de l'extérieur vers l'intérieur des bâtiments. Dans le cas d'une pièce isolée par l'intérieur — ce qui peut être un choix préférentiel pour des locaux climatisés — le risque de condensation est présent, mais très limité si on utilise des matériaux perméables à la vapeur d'eau. Il n'apparaît que dans des cas exceptionnels, difficiles à imaginer dans des conditions normales d'utilisations⁶⁵.

Cependant, dans tous les cas, **la présence d'un pare-vapeur ou d'une couche interstitielle imperméable intégrés à la paroi est à proscrire**, car elle favorise le risque de condensation entre l'isolant et le pare-vapeur.

Afin d'éviter tout risque de condensation dans le complexe mur-isolation, il convient de respecter une valeur de S_d décroissante des différentes couches (du moins perméable au plus perméable vers l'intérieur).

Il est conseillé que l'isolation intérieure et son éventuel revêtement ou doublage soient tels que leur résistance totale à la diffusion de la vapeur d'eau S_d soit faible, de préférence inférieure à 0,366.

En cas de climatisation des espaces intérieurs et afin de ne pas engendrer de dommages dus à d'éventuelles condensations au sein de la paroi, une isolation intérieure sera préférée. L'isolant et son éventuel revêtement seront tels que leur résistance totale à la diffusion de la vapeur d'eau S_d soit inférieure à 0,467.

Si nécessaire, un calcul selon la méthode de Glaser⁶⁶ (ou équivalent) pourra être effectué pour vérifier le bon comportement d'une composition de paroi.

63 Cette valeur maximum correspond à des BTC stabilisés aux liants hydrauliques, elle décroît le plus souvent avec le taux de stabilisation. Un BTC non stabilisé présente un facteur de résistance maximum de l'ordre de 10. MOEVUS, Mariette, FONTAINE, Laetitia, ANGER, Romain, DOAT, Patrice, 2013. Projet : Béton d'Argile Environnemental (B.A.E.) Rapport final. Paris : France, ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. 877 p.

64 Plusieurs calculs suivant la méthode de Glaser ont été menés et aucun n'a mis en évidence un problème de condensation sur une paroi simple « monocouche »

65 La condensation dans la paroi apparaît pour des conditions climatiques extérieures contraignantes et des consignes de climatisation très basses. Les différents calculs menés suivant la méthode de Glaser montrent une apparition des risques dans une paroi constituée de BTC de 22 cm, de 10 cm d'isolation type laine de roche et d'un parement intérieur en plaque de plâtre (BA13) pour un air extérieur très chaud et humide (plus de 35 °C et une l'humidité relative de l'air à plus de 95 %) — et une ambiance intérieure très froide inférieure à 13 °C pour un taux humidité relative élevé, de l'ordre de 95 %).

66 Valeur par exemple d'un complexe constitué de 10 cm de laine minérale et d'une plaque de plâtre type BA13, ou encore d'un enduit sable-ciment de 1 cm d'épaisseur.

67 De façon à avoir un facteur 5 entre le S_d de la paroi BTC et celui des autres composants (règles de l'art, entre autres citée dans Hespul 2015 et VAD 2010 et Enertech 2011)

68 Calcul à réaliser suivant NF EN ISO 13788

TABLEAU 16 : PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES HYDRIQUES DU BTC

CARACTÉRISTIQUES HYDRIQUES (valeurs moyennes)		
Teneur en eau massique	w	1 % (pouvant usuellement varier entre 0,5 et 2 %)
Perméabilité à la vapeur d'eau	δ (π)	$1.27 \cdot 10^{-10} \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})^{-1}$
Résistance à la vapeur d'eau	μ	15
Coefficient de transport capillaire	A	$A \leq 0.7 \text{ kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})^{-1}$
Porosité total	pt	25 à 35 %
Capacité de Tampon Hydrique	MBV	$2,4 \text{ kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \% \cdot \text{HR})^{-1}$

3.1.5. SÉCURITÉ INCENDIE

3.1.5.1. RÉACTION AU FEU

Le BTC et les mortiers de pose sont composés uniquement d'éléments minéraux, ils sont donc considérés comme des matériaux incombustibles. Un ouvrage de maçonnerie en BTC est classé en catégorie⁶⁹ A1⁷⁰.

3.1.5.2. RÉSISTANCE AU FEU

Un mur porteur de BTC Rc4 de 22 cm d'épaisseur est classé⁷¹ REI 180, soit une stabilité au feu, une étanchéité au feu et un degré coupe-feu de 3 heures.⁷²

Les parois BTC sont réputées présenter de bons comportements de résistance au feu, ce qui est confirmé par les résultats de nombreux essais de résistance au feu réalisés dans le cadre de plusieurs projets, sur des types de parois et de blocs variés (parois d'au moins 9,5 cm d'épaisseur et BTC de résistance Rc 4 minimum). Aucune de ces parois n'ont présenté une classe de résistance EI inférieure à 45 min⁷³.

En l'absence d'essais, et si une performance de résistance au feu particulière est recherchée, R, E ou I, il conviendra de mettre en œuvre des écrans coupe-feu.

Aucun test de résistance au feu (REI) n'a aujourd'hui été mené pour les systèmes constructifs utilisant des remplissages en pan de maçonnerie de BTC dans des ossatures ou raidisseurs bois ou métal. Il appartiendra donc au concepteur de dimensionner les ossatures utilisées en conséquence de la performance de stabilité au feu (R) recherchée.

69 A, B, C, D Réglementation européenne NF EN 13501-1 et M0 à M4 Réglementation française

70 Sans essai préalable, suivant la norme européenne NF EN 13-501-1 (Euroclasse) ou Arrêté du 13 août 2003 — art. 1 — La catégorie A1 est équivalente à la catégorie M0 – Classement également sans essai préalable, selon classements conventionnels de l'annexe 3 de l'Arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement.

71 Les euroclasses de résistance au feu sont décrites par catégories telles que : R : résistance mécanique ou stabilité — E : étanchéité aux gaz et flammes - I : isolation thermique (forcément utilisée en complément d'une classification R ou E). Stabilité, étanchéité (pare-flamme) et isolation (coupe-feu) au feu sont donc assurées pendant 180 minutes minimum selon euroclasses de résistance au feu.

72 Rapport d'essai d'essai au feu Efectis France disponible sur demande auprès de ART.Terre : rapport d'essai de résistance au feu n°EFR 17— J-002204 — réalisé selon NF EN 1363-1 : 2012 et 1365-1 : 2012. Charge appliquée 196 kN/ml – Dimension du mur d'essai de 330 x 300 cm (h x l)

73 Si une performance REI particulière est recherchée, elle devra être justifiée par un essai spécifique.

3.1.6. ENVIRONNEMENT – SANTE

Les produits utilisés à Mayotte ne font pas encore aujourd'hui l'objet d'une fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) spécifique. Pour une évaluation de l'impact environnemental, on pourra se référer, par exemple, aux données des FDES collectives des BTC ou à celles « par défaut », produites par le Ministère de la transition écologique – Ministère en charge du logement, disponibles sur la base INIES⁷⁴.

3.2. PRINCIPES DE CONCEPTION DES MURS EN BTC

3.2.1. PRINCIPES DE STABILITÉ STRUCTURELLE

La stabilité d'une construction dépend tout autant de la bonne logique de conception du bâtiment que des propriétés mécaniques du matériau et de la résistance des éléments qui composent l'ouvrage.

Sachant que la maçonnerie de BTC résiste bien en compression, mais mal en traction et en cisaillement, il faut éviter les sollicitations de flexion et limiter celles de cisaillement et de poinçonnement.

De ces principes généraux découle la forme couramment projetée des ouvrages en BTC, soit une géométrie simple et régulière des élévations.

Il conviendra également de bien répartir les sollicitations, en évitant les charges trop concentrées ainsi que les charges excentrées. Le concepteur portera d'ailleurs une attention toute particulière aux zones de concentration de contraintes, aux fixations mécaniques des éléments de structure ou des objets lourds dans les BTC.

Les murs peuvent être porteurs, autoporteurs — donc autostables — ou assurer leur stabilité en liaison avec l'ossature. La présence de contreforts peut améliorer la stabilité des pans de maçonnerie.

Dans tous les cas, les maçonneries doivent être conçues de telle sorte qu'elles résistent aux charges auxquelles elles sont soumises :

- poids propre ;
- action sismique ;
- action du vent ;
- conditions spécifiques d'exploitation

Les dispositions constructives des parois en BTC, notamment vis-à-vis des contraintes sismiques ou cycloniques, imposent des raidisseurs, tirants ou chaînages verticaux en angle ou en bord libre des murs⁷⁵.

3.2.2. SENSIBILITÉ À L'EAU

Les caractéristiques mécaniques du BTC baissent sensiblement lorsque la teneur en eau du matériau augmente (*cf. norme XP P13-901*) :

- Résistances à la compression réduite
- Résistance à l'abrasion plus faible
- Variations dimensionnelles

⁷⁴ <https://www.base-inies.fr/>

⁷⁵ Hors cas des contreforts du mur si ceux-ci ne présentent pas, pour leur bord libre, une longueur libre supérieure à 2 fois l'épaisseur du mur.

Pour assurer la pérennité de la construction, il y a lieu de respecter les principes constructifs des parties qui suivent et qui permettront de maintenir les éléments d'ouvrage à une teneur en eau satisfaisante. (Les dispositifs permettant d'assurer la protection des murs de BTC sont décrits dans la 3.1.1. *Résistance à la pénétration de la pluie des parois extérieures*)

Dans tous les cas, le BTC sera utilisé pour l'élévation des murs en partie courante sans possibilité de rejaillissement.

3.2.2.1. DRAINAGE

À proximité des bâtiments en BTC, il convient de prévoir d'évacuer au mieux les eaux de surface et souterraines :

- Drainer les abords des fondations lorsque la topographie et les conditions hydrogéologiques le nécessitent : une ceinture de drainage assurant une bonne évacuation des eaux est essentielle ;
- Empêcher les apports et la stagnation d'eau en pied de mur (descentes d'eau pluviale, VRD, etc.). Le terrain aux abords directs sera nivelé si possible avec des pentes écartant l'eau de l'ouvrage ;
- Ne pas gêner l'évaporation dans le terrain à la périphérie de l'immeuble.

Il n'existe pas de détail spécifiquement lié à la construction en BTC relatif au drainage. Il pourra être fait référence au NF DTU 20.1 P4 en ce qui concerne le drainage et la réalisation des ouvrages enterrés.

3.2.2.2. PROTECTIONS BASSES ET HAUTES DE MURS

- FONDATIONS : elles seront construites en matériaux non sensibles à l'eau : béton banché, béton armé, maçonneries de petits éléments (agglomérés de béton, pierres, etc.).
- SOUBASSEMENT : il doit former un dispositif de rupture capillaire. Le soubassement aura une hauteur suffisante au-dessus du sol extérieur fini pour protéger du ruissellement des eaux de pluie à la surface du sol, du rejaillissement et des projections (circulation automobile par exemple). *Voir partie 4.1.1. Protection contre les remontées d'humidité en pied de mur.*
- COUVERTURE protégeant le haut des murs des écoulements et des infiltrations des eaux de pluie. *Voir partie 4.1.8. Débord de couverture minimum*

3.2.2.3. ÉLÉMENTS EN RETRAIT OU EN SAILLIE

Il faudra être particulièrement attentif à la conception des éléments en retrait ou en saillie, en particulier si le risque de rejaillissement ou de stagnation des eaux de pluie est important, comme les appuis de fenêtre, terrasses, balcons, corniches, consoles, auvents, etc.

3.2.2.4. SENSIBILITÉ À L'EAU DES JONCTIONS OSSATURE ET REMPLISSAGE

Les façades en remplissage de maçonnerie d'une ossature, béton, mais plus particulièrement bois ou métal, présentent une grande sensibilité à l'eau au niveau des jonctions entre l'ossature et le remplissage tant en termes d'étanchéité que de zones potentielles de présence d'humidité. Des dispositions doivent donc impérativement être prises pour empêcher la pénétration de l'eau de pluie.

3.2.2.5. PIÈCES HUMIDES

Il est nécessaire d'aborder de manière appropriée la conception des pièces où la présence d'humidité est importante (bain, douche).

Pour mémoire, la première des dispositions pour éviter la présence prolongée d'humidité est une bonne ventilation des pièces humides ainsi que celles des vides de construction (dessous de baignoire, doublage des murs...)

Les dispositions particulières pour les pièces humides où la présence d'humidité est fréquente (douches, bain, etc.) sont décrites à la 4.1.13.4. *Revêtements spécifiques des pièces humides*.

Dans tous les cas, l'attention du maître d'ouvrage sera attirée sur les conditions d'entretien des murs apparents en BTC et des éléments contigus qui ne doivent pas être nettoyés par utilisation d'eau sous pression.

Les nettoyages réguliers ne devront pas non plus s'effectuer avec des produits agressifs (alcalins, acides chlorés...) et avec de l'eau d'une température supérieure à 40 °C.

3.2.3. SOLLICITATIONS À L'ABRASION

La détermination du niveau de résistance à l'abrasion d'un local incombe au maître d'ouvrage ou son représentant, le maître d'œuvre. En fonction de leur usage et de l'intensité prévisibles des sollicitations (circulation des établissements scolaire, autres...) il sera choisi une des catégories de résistance à l'abrasion de la XP P13-901 (Ab1 à Ab3). En cas de doute, il convient de protéger les parois BTC susceptibles d'être endommagées par des protections mécaniques des zones exposées.

Dans les cas d'utilisation courante, sans une fréquentation et un passage importants, les murs ne sont pas soumis à des risques d'abrasion élevés. Les BTC présentent alors une résistance à l'abrasion suffisante pour un usage en paroi extérieure ou intérieure subissant une sollicitation normale.

Dans le cas où une sollicitation forte est envisagée, les blocs seront soumis au préalable à un essai de résistance à l'abrasion selon les modalités de la norme XP P 13-901 afin de vérifier leur catégorie de résistance. La meilleure sera alors recherchée, soit Ab1, correspondant à l'obtention d'un coefficient d'abrasion inférieur ou égal à 0,14 g/cm².

Si aucun essai n'a été réalisé ou si le coefficient recherché n'est pas atteint, il faut prévoir des protections mécaniques des parties sensibles des parois en partie courante, en particulier au niveau des passages comme les encadrements des ouvertures de porte.

3.3. DIMENSIONNEMENT DES PAROIS

La présente partie a pour objet de fixer les dimensions couramment autorisées pour la conception et l'exécution des parois en BTC.

Les dimensions précisées ci-après sont indicatives et sauf mention contraire, il est possible d'y déroger si une justification particulière est proposée. Celle-ci peut s'effectuer par calcul ou par la réalisation d'un ou plusieurs essais spécifiques⁷⁶.

3.3.1. ÉPAISSEUR DES PAROIS

Épaisseur minimale

L'épaisseur minimale⁷⁷ des murs porteurs en BTC est de 15 cm, toutes classes de BTC confondues⁷⁸. Ces règles ne traitent pas des murs dont l'épaisseur serait inférieure à 9,5 cm.

Épaisseur maximale

Pour les parois non porteuses, on cherchera à privilégier des murs peu épais afin de ne pas surcharger ou surdimensionner inutilement les structures. Les épaisseurs supérieures à 15 cm seront principalement utilisées lorsqu'une performance particulière est recherchée : mécanique, acoustique, incendie, etc.

3.3.2. LONGUEUR MINIMALE

La longueur des trumeaux porteurs doit être au moins égale à 60 cm ou à la dimension équivalent à 2 fois la longueur de l'élément de maçonnerie en œuvre⁷⁹, en retenant comme valeur minimale la plus grande de ces deux valeurs. Les murs et éléments de murs formant des trumeaux de longueur inférieure à cette dimension⁸⁰ ne peuvent pas être considérés comme porteurs à moins qu'une justification par note de calcul ne soit fournie.

Dans tous les cas y compris en non porteur, les murs et éléments de murs peu épais, formant des trumeaux simples sans contreforts d'une longueur inférieure à 45 cm ou à 1,5 fois la longueur de l'élément de maçonnerie, doivent être soigneusement considérés du fait de leur mise en œuvre délicate.

3.3.3. LONGUEUR MAXIMALE

Quelles que soient la classe de BTC considérée et la hauteur des ouvrages, la longueur libre maximale⁸¹ des

76 Lorsque ces essais sont normalisés ou font l'objet d'un processus reconnu, leurs références sont précisées.

77 L'épaisseur considérée est l'épaisseur brute des parois courantes en blocs de terre comprimée, les enduits et revêtements de surface ne sont pas pris en compte dans ladite épaisseur. De même des dispositions spécifiques ponctuelles, telles que des saignées, des réservations, des habillages de raidisseurs ou de chainages,...., peuvent déroger à cette épaisseur minimale.

78 Compte tenu de l'éclatement géométrique maximal de 15 pour les murs porteurs, les murs porteurs de hauteur d'étage courant sont réalisés avec des blocs d'épaisseur supérieure à 15 cm.

79 En prenant en compte l'épaisseur d'un joint dans cette dimension, par exemple, pour un bloc de 29,5 cm de long, une dimension du trumeau de $2 \times 29,5 \text{ cm} + 1,5 \text{ cm}$ d'épaisseur de joint, soit 60,5 cm de valeur minimale.

80 Cas des trumeaux plus courts, mais aussi des meneaux, colonnes et piliers.

81 La longueur maximale d'un mur en BTC sert à prévenir les risques de fissuration des ouvrages liés au retrait du matériau lors de la phase de séchage. Au-delà des valeurs énoncées au paragraphe 3.3.3 *Dimensionnement des parois*, une étude spécifique du retrait du matériau peut être effectuée. Ce dimensionnement limite est le résultat du retour expérience concernant le comportement des parois en BTC. Il est la corrélation entre différentes enquêtes de terrain (cf. rapport de traitement des enquêtes MAYOTTE, enquêtes 98 sur l'habitat, CRAterre-ENSAG, décembre 1999 / 398 constructions en BTC enquêtées) et la consultation de l'ensemble des professionnels mahorais de la construction (producteurs, maçons, maîtres d'œuvre, maîtrises d'ouvrage, organismes de contrôle).

murs entre bords libres, murs de refends, contreforts, chaînages ou raidisseurs doit être égale à :

$$(26 \times (t_f + 1,5)) + 1,5$$

où t_f est l'épaisseur du mur exprimée en cm.

et 1,5 est l'épaisseur maximale en cm des joints verticaux (jt).

- Soit pour un **mur de 14 cm** d'épaisseur, une longueur maximum de **404,5 cm**
- Soit pour un **mur de 22 cm** d'épaisseur, une longueur maximum de **612,5 cm**
- Soit pour un **mur de 29,5 cm** d'épaisseur, une longueur maximum de **807,5 cm**

Pour les **maçonneries fines d'épaisseur 9,5 à 10,5 cm**, la tolérance est cependant portée à une limite de **311,5 cm maximum**⁸².

Spécificités pour les murs porteurs

L'espacement maximal des chaînages ou tirants verticaux est limité à 5 m.

Spécificités pour les murs de remplissage et les cloisons

Dans le cas d'une utilisation des BTC en pan de maçonnerie de remplissage d'ossature, on limitera la longueur maximale entre éléments verticaux, poteaux ou raidisseurs, à :

- **3,50 m pour une ossature bois** (principalement pour limiter les effets de fléchissement des structures) ;
- **5 m pour une ossature béton ou métal** (pour limiter les effets de fléchissement des structures et vis-à-vis de la contrainte sismique).

Pour les cloisons, la longueur maximale entre raidisseurs est de 4 m.

La longueur de la diagonale, en élévation, des pans de maçonnerie en remplissage ou en cloison ne sera pas supérieure à 40 fois l'épaisseur du mur ($40 \times t_f$).

3.3.4. ÉLANCEMENT ET HAUTEUR MAXIMUM DES MURS

Sans étude particulière de structure, les règles suivantes peuvent être appliquées :

Quelle que soit l'épaisseur des murs et toutes classes de résistance confondues, les hauteurs maximales des murs en BTC au-dessus du soubassement sont définies par les coefficients d'élanement⁸³ ci-après :

- Dans le cas d'un **mur porteur**, tenu en tête par un système de plancher ou de chaînage, le coefficient d'élanement des murs est tel que $h_f / t_f \leq 15$.
- Dans le cas d'un **mur de remplissage** non chargé, mais tenu en tête, le coefficient d'élanement des murs est tel que de $h_f / t_f \leq 20$.
- Dans le cas d'une **cloison** non chargée, mais tenue en tête, le coefficient d'élanement des murs est tel que de $h_f / t_f \leq 20$.

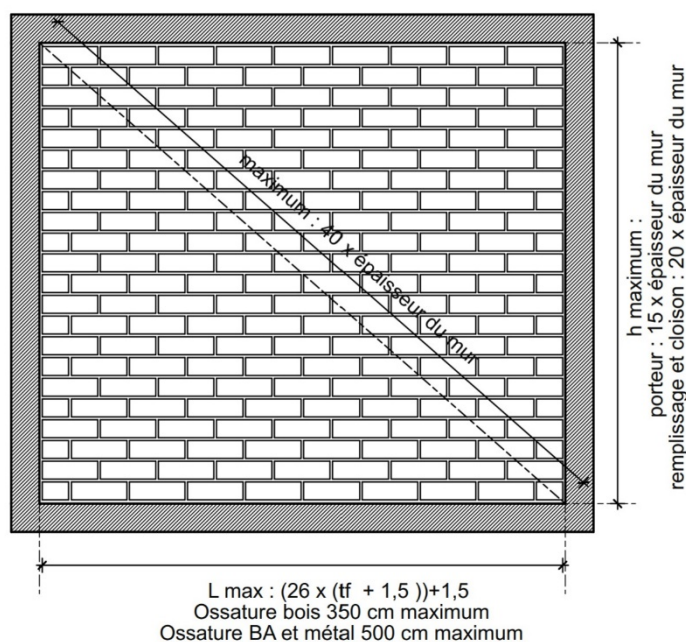
⁸² Cette dimension permet, sur chantier, de limiter la découpe des BTC, et de favoriser un calepinage régulier et la mise en œuvre d'un nombre entier de blocs de 29,5 cm de long.

⁸³ L'élanement est le rapport entre la distance verticale entre planchers, et l'épaisseur brute du mur porteur. Les valeurs maximales d'élanement données par l'EUROCODE 6 sont de 27, dans ces règles professionnelles, les valeurs sont volontairement plus faibles pour une approche sécuritaire. Des études spécifiques de stabilité peuvent être menées pour permettre des élanements plus importants sans toutefois dépasser cette dernière valeur.

Avec h_f la hauteur du mur et t_f l'épaisseur du mur⁸⁴.

Les situations extrêmes et les charges fortement excentrées sont à éviter. Dans le cas contraire, le recours à une vérification par une note de calcul de structure est indispensable.

FIGURE 10 : DIMENSIONS MAXIMALES : LONGUEUR, HAUTEUR ET DIAGONALE DES PANNEAUX DE MAÇONNERIE



3.4. PRINCIPES DE MAÇONNERIE EN BTC : BLOCS, APPAREILLAGE ET CALEPINAGE

3.4.1. FORMES ET DIMENSIONS DES BTC

Les blocs de terre comprimée sont des petits éléments de maçonnerie de forme parallélépipédique dont les dimensions diffèrent selon les types de presses et les moules utilisés. Les produits obtenus peuvent être extrêmement variés cependant la tradition de production des blocs de terre comprimée a adopté des dimensions permettant de réaliser des murs de 14, 22, 29,5 ou 45 cm d'épaisseur.

Les BTC sont de forme générale parallélépipédique. Les blocs les plus couramment produits sont :

- Les blocs dits « courants », qui sont utilisés pour constituer les parties pleines des murs ou des cloisons. Les blocs courants peuvent être entiers ou partiels ($\frac{3}{4}$ ou $\frac{1}{2}$). Ce sont des blocs pleins.
- Les blocs « accessoires », qui sont de formes ou de structures internes différentes de celles des blocs courants auxquels ils sont associés. Généralement, ils présentent un évidement plus ou moins important pour la

⁸⁴ Dans tous les cas, il convient de considérer que $h_f = h$ (h étant la hauteur réelle du mur au-dessus de son soubassement) et $t_f = t$ (t étant l'épaisseur réelle du mur).

réalisation de points particuliers de la maçonnerie tels que : chaînage horizontal, linteau, passage de gaine, etc.
Exemples : blocs de chaînage, blocs feuillure, blocs linteau, etc.

Les BTC peuvent être classés dans le groupe 1, éléments pleins ou constitués de trous de faible importance selon l'Eurocode 6⁸⁵.

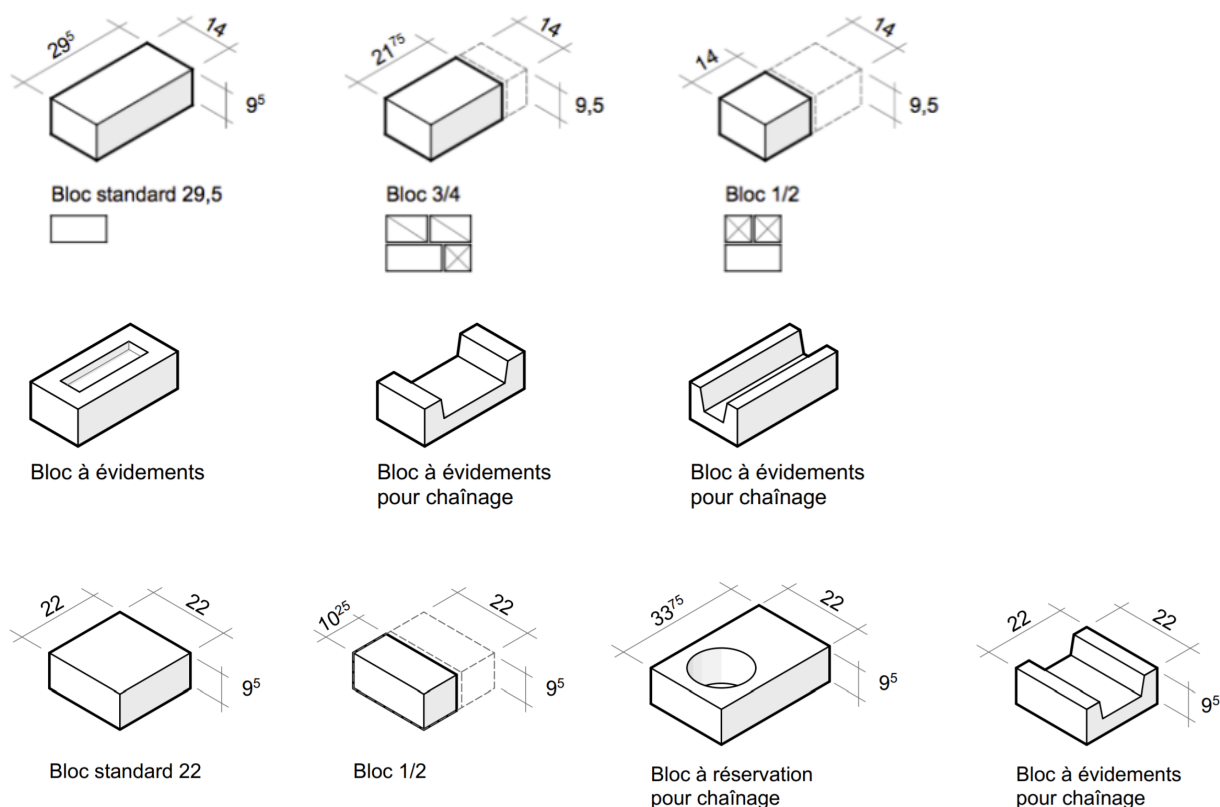
Les blocs courants de BTC les plus souvent utilisés à Mayotte sont de dimension 29,5 x 14 x 9,5 cm et 22 x 22 x 9,5 cm⁸⁶.

Les maçonneries de BTC sont appareillées avec des blocs entiers, $\frac{3}{4}$ et $\frac{1}{2}$.

Lorsque cela est possible, il est conseillé de ne pas utiliser de bloc inférieur au $\frac{1}{2}$ bloc

Il ne faut pas utiliser des blocs de dimension inférieure à 40 mm ou au $\frac{1}{4}$ bloc.

FIGURE 11 : FORMES ET DIMENSIONS DES BTC



85 Tableau 3.1 de l'Eurocode 6 — groupe 1 : bloc dont le pourcentage de volume des alvéoles (trous, réservation, évidement...) est inférieur à 25 %.

86 D'autres dimensions sont possibles, ainsi on trouve par exemple de plus en plus souvent des moules pour la production de blocs de 15 cm de largeur, des blocs plus fins pour les murs de parement ou encore des blocs de grands formats, permettant une mise en œuvre plus rapide, mais dont le poids important complique la pose et la manutention.

3.4.2. APPAREILLAGE

Le terme « appareillage » désigne le mode d'arrangement, d'assemblage et donc de liaison des blocs de terre comprimée entre eux, dans toutes les directions d'une structure en maçonnerie (plan horizontal et vertical, épaisseur du mur).

Le rôle de l'appareillage est essentiel pour garantir la cohésion, la stabilité et la résistance d'une structure en maçonnerie de petits éléments jointoyés au mortier.

Les dispositions de l'appareillage déterminent la position de chacun des blocs de terre, d'une assise à l'autre et servent notamment à éviter ce que l'on nomme un « coup de sabre » résultant de la superposition ou de la trop grande proximité de deux joints verticaux qui risque de favoriser la propagation de fissures structurales.

L'appareillage des blocs doit donc se faire impérativement à joints verticaux décalés d'une rangée sur l'autre pour garantir un comportement monolithique de la maçonnerie.

La logique d'appareillage et la rigueur dans la conception du projet entraînent une simplicité de réalisation.

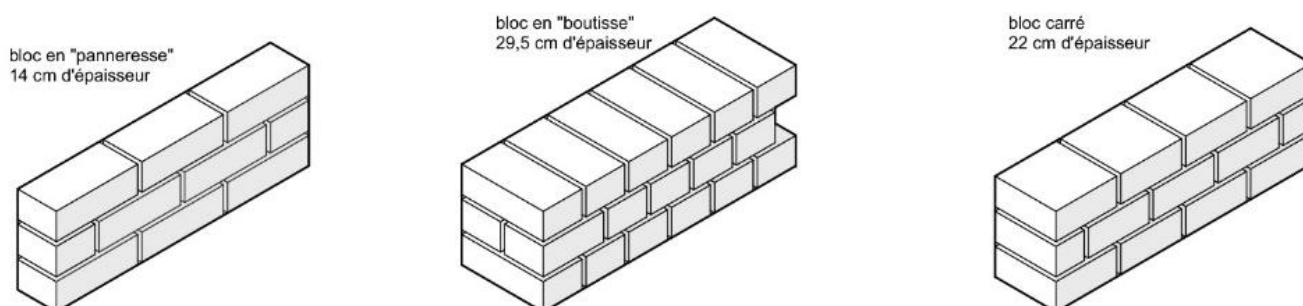
Le choix d'un appareillage doit être déterminé avant la mise en œuvre de la maçonnerie et dépend de cinq facteurs que l'on doit considérer ensemble :

- 1 — du type de structure ;
- 2 — de la taille de la structure ;
- 3 — de la dimension des blocs de terre comprimée ;
- 4 — de la qualification des maçons (degré de complexité adapté) ;
- 5 — de l'effet esthétique recherché sur l'aspect fini du parement de l'ouvrage.

La dimension des blocs de BTC permet la réalisation de parois de différentes épaisseurs. Celles-ci vont dépendre de l'épaisseur des blocs et de l'appareillage entre eux, par exemple :

- Les blocs de BTC de dimension 29,5 x 14 x 9,5 cm permettent par exemple la réalisation de parois d'une épaisseur de :
 - 9,5 cm avec des blocs maçonnés sur chant
 - 14 cm avec des blocs maçonnés en panneresse
 - 29,5 cm avec des blocs maçonnés en boutisse
 - Des parois plus épaisses : dont les épaisseurs correspondent à un multiple des dimensions des blocs + 1 épaisseur de joint : 45 cm, 60,5 cm, etc.
- Les blocs de BTC de dimension 22 x 22 x 9,5 cm permettent la réalisation de parois d'une épaisseur de 22 cm

FIGURE 12 : APPAREILLAGE DES BLOCS

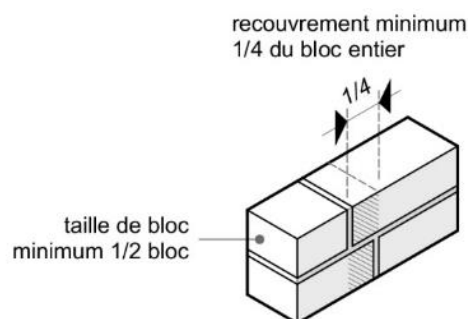


3.4.3. RECOUVREMENT MINIMUM

En dehors des joints de fractionnement, les joints alignés verticalement sont proscrits d'une assise sur l'autre⁸⁷.

Le décalage des joints verticaux d'une assise à l'autre doit toujours être au minimum égal au 1/4 de la longueur du bloc entier.

FIGURE 13 : RECOUVREMENT MINIMUM



Dans tous les cas, il convient d'appliquer les règles de recouvrement données par l'EC6. Dans ce cas, le recouvrement des éléments de maçonnerie ayant une hauteur inférieure ou égale à 250 mm doit être au minimum égal à 0,4 fois la hauteur de l'élément ou 40 mm. On choisira alors, selon les résultats obtenus — EC6 ou règle 3.4.3 ci-dessus — la plus grande des trois valeurs.

3.4.4. CALEPINAGE DES PLANS

Le « calepinage » désigne la planification de la disposition des blocs sur un plan ou une élévation. Cette étape est indispensable dans la conception d'un édifice en maçonnerie de BTC apparente.

Pour faciliter la pose de la maçonnerie, il est conseillé d'étudier le calepinage et d'adapter la longueur des murs et des pans maçonnés à la dimension des BTC.

Le dessin du calepinage des maçonneries sera réalisé avant le lancement des travaux par l'entreprise en charge des documents d'exécution (EXE), maîtrise d'œuvre ou entreprise de construction selon les cas.

Le calepinage fera l'objet d'une vérification par un montage à sec au moment du démarrage de la maçonnerie des ouvrages (cf. 5.2.1.11. *Vérification du calepinage*)

Afin d'identifier les problèmes de superposition des joints verticaux, il est conseillé de réaliser les plans :

- des deux premières assises ;
- des deux assises au niveau des ouvertures ;
- des assises particulières.

Le calepinage permet de déterminer avec précision :

- la manière dont les blocs sont disposés (notamment pour prendre en compte les cas particuliers tels que les angles, les jonctions, les baies) ;
- les types de blocs nécessaires (entier, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$) ;
- le nombre de blocs de chaque type.

FIGURE 14 : LONGUEUR DU MUR ET CALEPINAGE

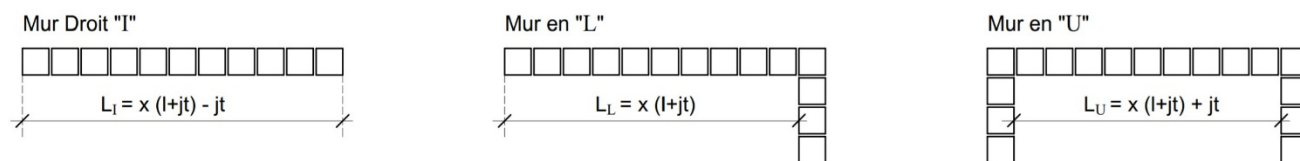
⁸⁷ Il est toutefois toléré, au maximum, 3 assises successives sans décalage des joints verticaux en particulier quand aucune autre solution d'appareillage n'est possible.

Longuer L des murs suivant leur forme

x : nombre de demi-bloc

l : longueur du demi-bloc

jt : épaisseur du joint



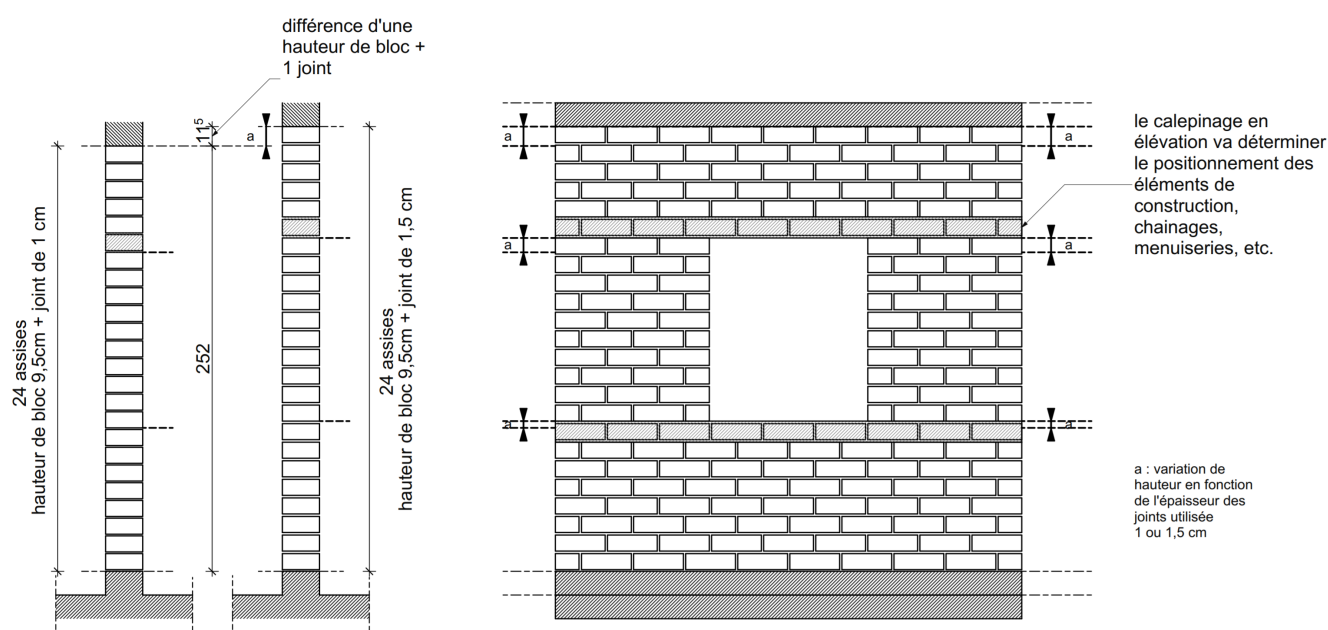
3.4.5. CALEPINAGE EN COUPE ET EN ÉLÉVATION

Le calepinage vertical des élévations est tout aussi important et indispensable que le calepinage du plan. Il sera recherché une dimension de paroi compatible avec la mise en œuvre d'un nombre entier de blocs ne nécessitant pas une opération délicate de découpe dans leur hauteur.

Dans la plupart des cas, l'épaisseur possible des joints horizontaux, de 1 à 1,5 cm, permet d'obtenir une souplesse suffisante sur une hauteur d'étage pour parvenir à ce résultat (voir figure 15 ci-dessous).

Ce calepinage permet également de bien régler la dimension verticale des tableaux d'ouverture, la position des chaînages, le passage de poutres / d'un plancher dans les murs, sur la modulation de la hauteur des blocs et de l'épaisseur des joints de mortier. Certains détails de systèmes constructifs peuvent être assez élaborés pour exiger leurs calepinages verticaux à la fois en élévation et en coupe.

FIGURE 15 : CALEPINAGE EN COUPE ET EN ELEVATION, VARIATIONS EN FONCTION DE L'ÉPAISSEUR DES JOINTS HORIZONTAUX



3.4.6. EXEMPLES D'APPAREILLAGE

Il existe une multitude de types d'appareillages, les exemples ci-dessous sont donnés à titre indicatif, mais de très nombreuses autres configurations sont possibles.

REMARQUE : les schémas présentés ci-dessous ne figurent pas les chaînages verticaux qui sont nécessaires au niveau des angles ou des bords libres des murs

FIGURE 16 : MUR DROIT SIMPLE ET DOUBLE ÉPAISSEUR – épaisseurs 14, 22, 29,5 cm

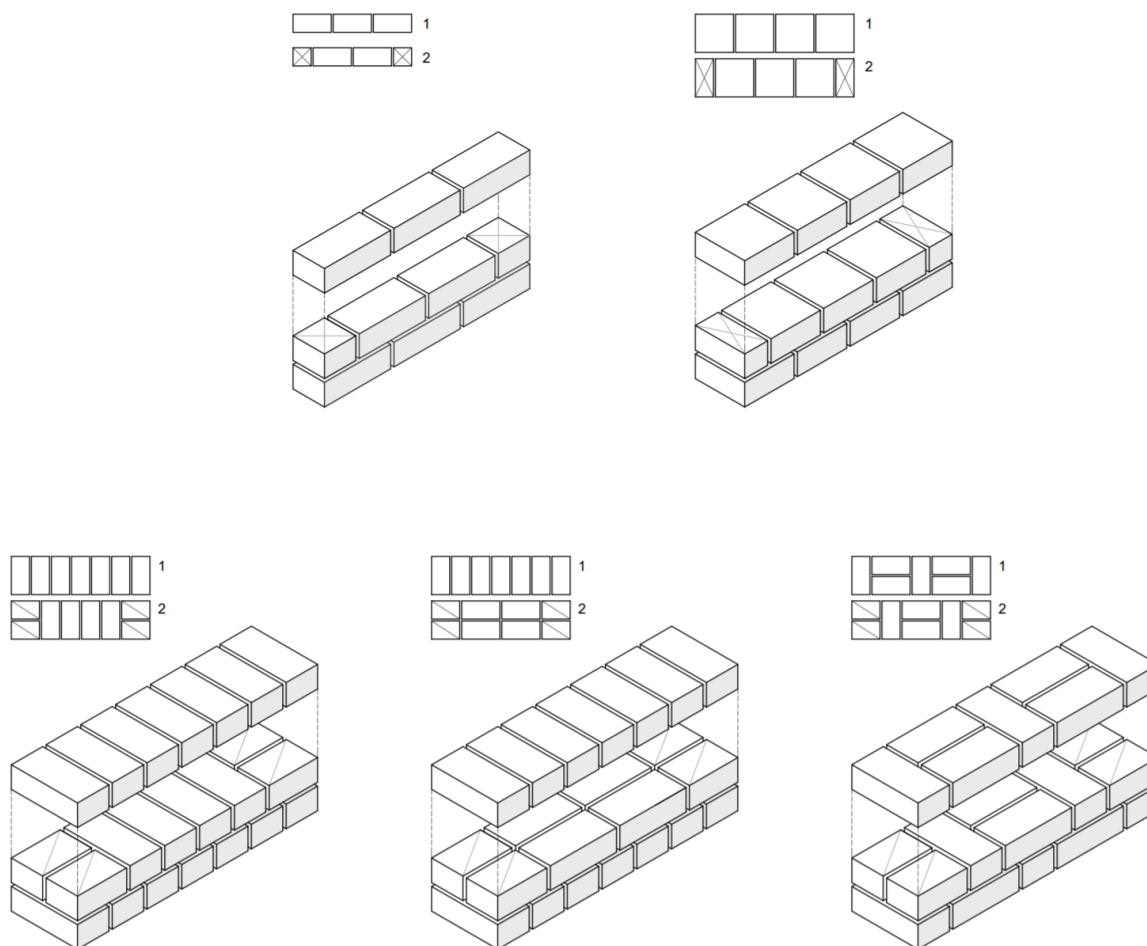


FIGURE 17 : ANGLES DE MUR SIMPLE ET DOUBLE ÉPAISSEUR DE BTC – épaisseurs 14, 22, 29,5 cm

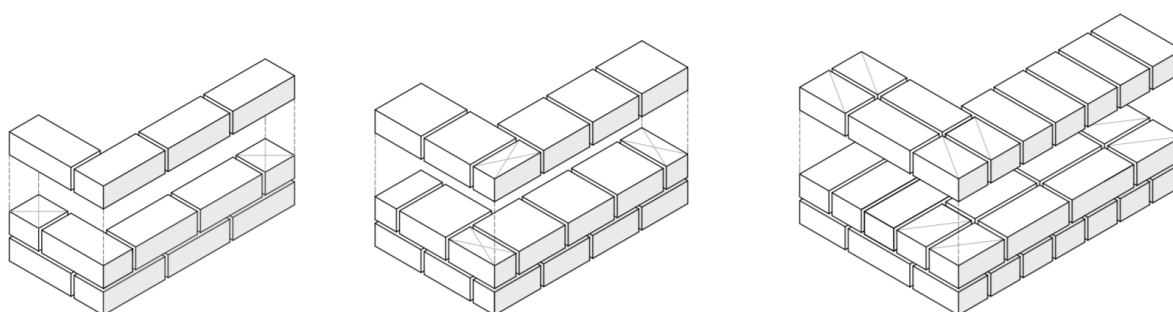


FIGURE 18 : MUR EN T – épaisseurs 14, 22, 29,5 cm

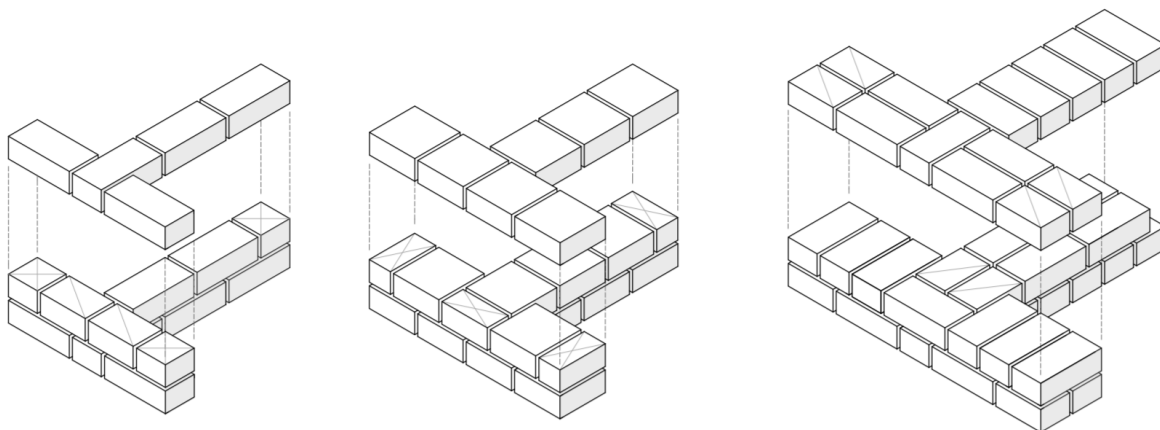
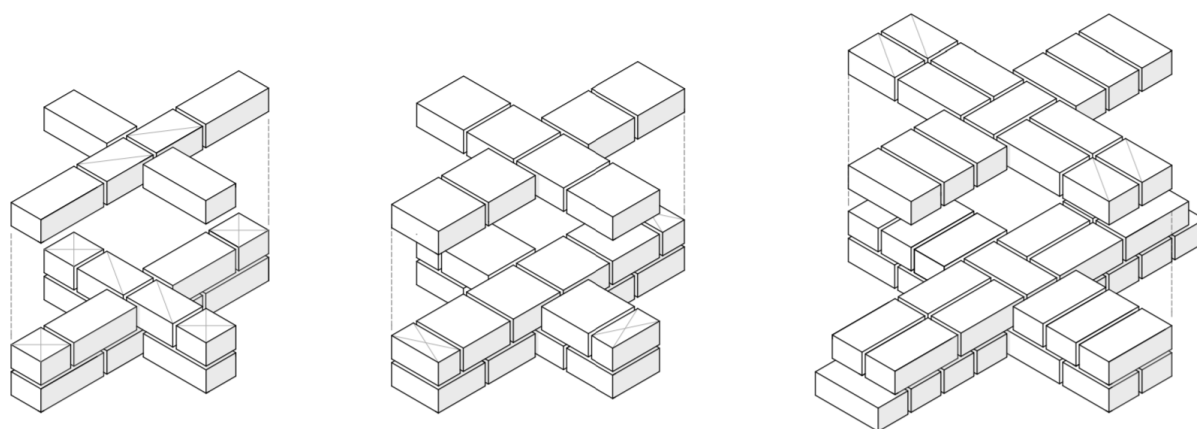


FIGURE 19 : CROISEMENT DE MUR – épaisseurs 14, 22, 29,5 cm



4. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Cette partie a pour objet de définir les dispositions constructives minimales applicables aux maçonneries de BTC.

Il n'existe pas de solution unique pour la construction en BTC.

Chaque projet architectural adaptera sa conception et ses détails constructifs en fonction du contexte dans lequel il s'inscrit et selon les attentes esthétiques, techniques et structurelles.

REMARQUES SUR LES ILLUSTRATIONS

Les dessins en plan et en coupe présents dans cette partie illustrent les principes schématiques d'emploi des BTC, en particulier au niveau des interfaces avec les autres éléments constructifs d'un bâtiment. Ils ont pour objet de faciliter la compréhension du texte et des principes décrits. Il existe une multitude de détails constructifs possibles. Il appartiendra au concepteur de respecter la logique constructive de chacun de ces principes qui ne constituent pas des dessins de détail d'exécution utilisables tels que pour la construction. Ils ne sont d'ailleurs pas toujours reliés à une proportion ou une échelle particulière. (Pour la légende des hachures et pochage voir 9.1. Annexe 1 — acronymes & sigles, glossaire, légendes des illustrations).

4.1. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES GÉNÉRALES

4.1.1. PROTECTION CONTRE LES REMONTÉES D'HUMIDITÉ EN PIED DE MUR (MUR EXTÉRIEUR)

Il convient d'éviter les remontées capillaires par les fondations et les infiltrations directes d'eaux provenant de l'extérieur (eaux de ruissellement, de rejaillissement, etc.). Un soubassement réalisé dans un matériau résistant à l'eau, disposé au niveau du plancher bas du rez-de-chaussée ou du dallage assure cette protection.

Sa hauteur minimale doit être :

- De 20 cm au-dessus du niveau le plus haut du sol extérieur définitif dans le cas d'un sol meuble et absorbant
- De 2 cm au-dessus du sol intérieur fini

Si des risques spécifiques existent sur la zone d'implantation (ruissellement, inondation, mur proche d'une voie de circulation et entouré d'un sol non drainant, etc.), il conviendra d'augmenter en conséquence la hauteur du soubassement par rapport au sol extérieur fini.

Dans le cas où le soubassement est réalisé en béton banché, il assure sans disposition complémentaire l'étanchéité à l'eau et la protection contre les remontées capillaires.

S'il est réalisé en maçonnerie de petits éléments, il doit être surmonté par une coupure de capillarité.

Cette coupure de capillarité est exécutée soit à l'aide :

- D'un chaînage en béton armé disposé au niveau du plancher bas du rez-de-chaussée ou du dallage sur toute l'épaisseur des maçonneries de soubassement
- D'une bande de feuille bitumineuse armée, ou de feuille plastique ou élastomère, posée à sec sur une couche de mortier de ciment⁸⁸, finement talochée, de 2 cm d'épaisseur après prise et séchage de ce dernier, et protégée par une deuxième couche de mortier de ciment de même épaisseur sommairement dressée. À leurs extrémités, les segments de bande sont placés à recouvrement minimal de 20 cm ;
- D'une chape de mortier hydrofugé de ciment⁸⁹.

⁸⁸ Comme défini dans la norme NF DTU 20.1 P1-2 (CGM)

⁸⁹ Comme défini suivant le paragraphe 3.6.5 de la norme NF DTU 20.1 P1-2 (CGM).

La rupture capillaire doit concerner l'ensemble des matériaux et composants de la paroi susceptibles d'être affectés par des remontées d'humidité.

FIGURE 20 : COUPES DE PRINCIPE DE SOUBASSEMENT

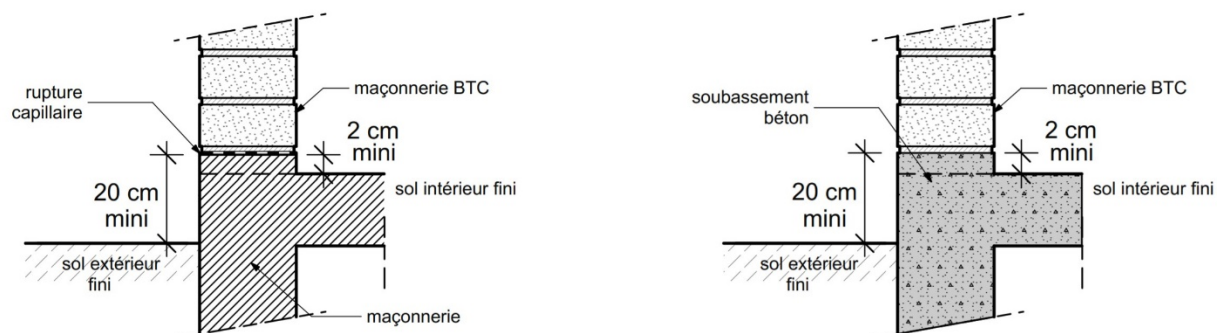
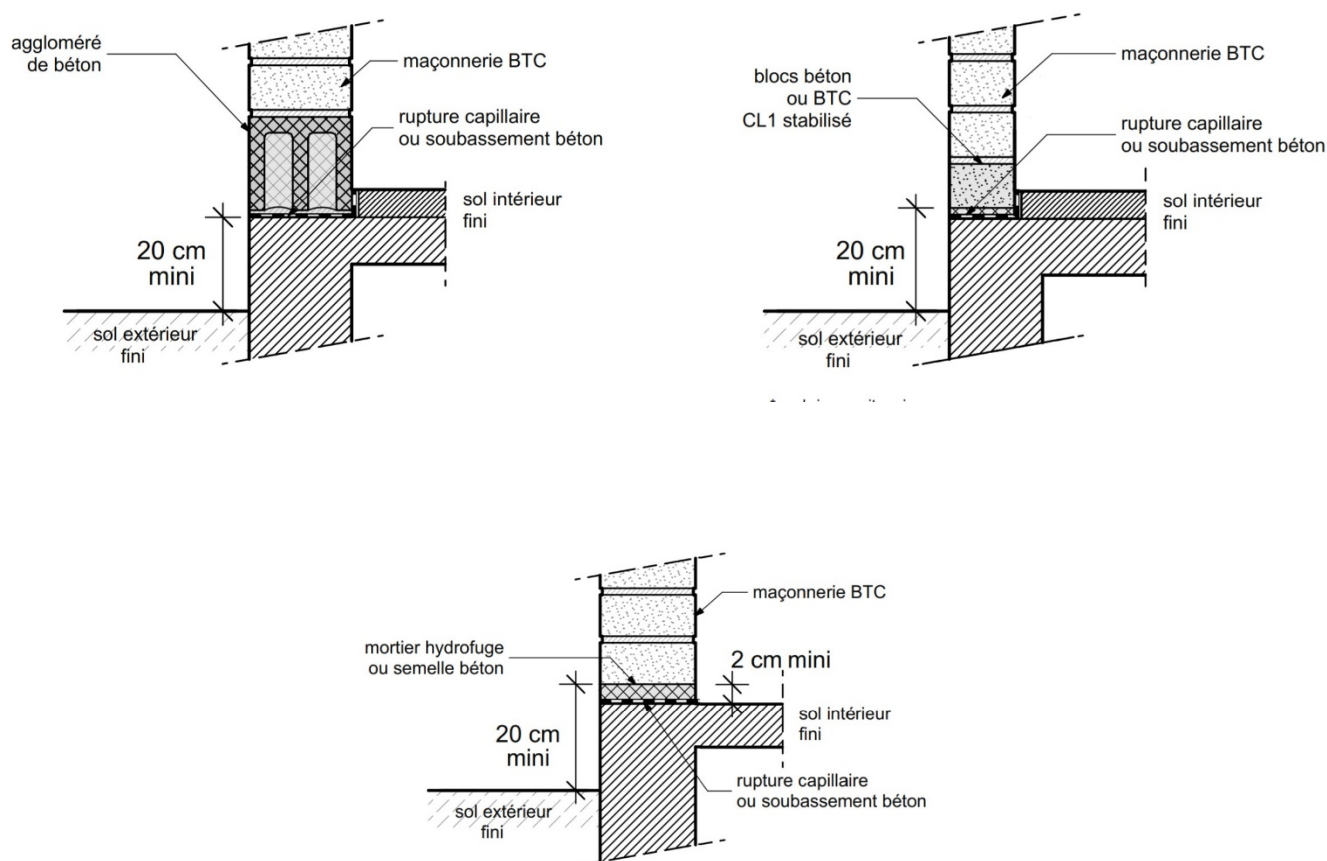


FIGURE 21: EXEMPLE DE SOUBASSEMENT AVEC PROTECTION CONTRE LES REMONTÉES CAPILLAIRES, COUPES DE PRINCIPE

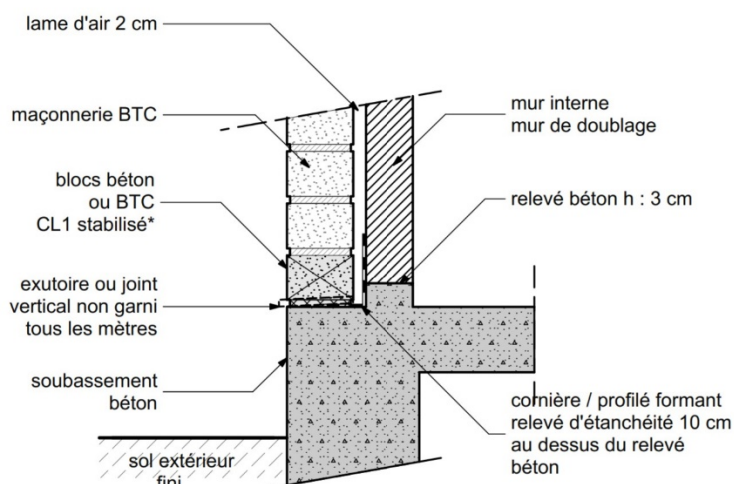


4.1.2. RECUEIL ET ÉVACUATION DES EAUX EN PIED DE PAROI (MUR EXTÉRIEUR)

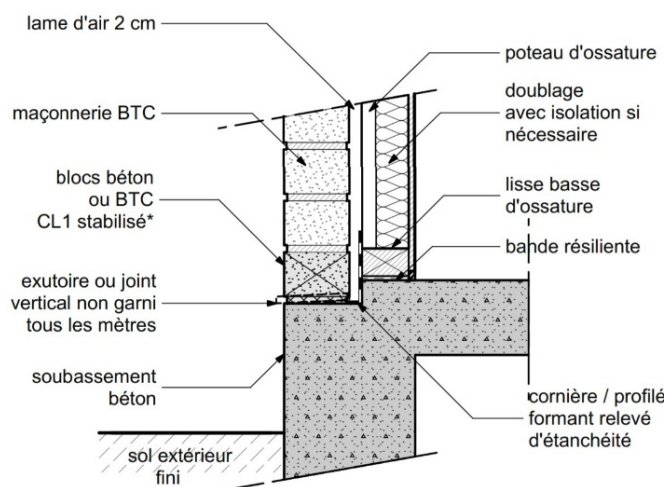
Pour les murs extérieurs avec doublage et les murs de parement, lorsqu'il existe une possibilité d'apparition d'eau au nu intérieur de la paroi externe, le principe de recueil et d'évacuation des eaux en pied de paroi devra être identique aux principes énoncés dans la norme NF DTU 20.1. C'est en particulier le cas lorsque la paroi externe en BTC ne permet pas d'assurer la non-pénétration de l'eau de pluie (cf. 3.1.1.2. Types de paroi, type d'exposition et recommandations). Les dispositions particulières suivantes doivent être appliquées :

- Un joint vertical est laissé non garni tous les mètres environ dans la première assise sur une hauteur de 5 cm au moins (ou un système d'exutoire pour les maçonneries enduites constitué d'un tuyau en métal non corrodable ou en plastique rigide, mis en place tous les 2 m au maximum, à la base de la paroi)
- Dans le cas de bandeaux saillants situés immédiatement en dessous des exutoires, placer un profilé formant larmier (complété au raccord entre deux bandes de profilés par une feuille d'étanchéité débordant de 20 cm de part et d'autre) ; un bandeau saillant avec rejingot ne nécessite pas un tel dispositif ;
- Le relevé du matériau étanche placé dans la rigole doit être au minimum de 10 cm et, en tous cas, de 3 cm de plus que la hauteur de l'exutoire. À leurs extrémités, les bandes de relevé sont placées à recouvrement minimal de 20 cm. Il faut veiller à la continuité de l'étanchéité de la rigole aux angles saillants et rentrants.
- **La première assise de la maçonnerie est réalisée avec des BTC CL1 stabilisés.**

FIGURE 22 : DISPOSITION PARTICULIÈRE POUR LE RECUEIL DES EAUX EN PIED DE PAROI EXTERIEURE – MUR AVEC DOUBLAGE / MUR AVEC PAREMENT – MUR BTC EN FACE EXTERNE (TYPE IIB ET III)



* ou brique cuite, pierre, ...

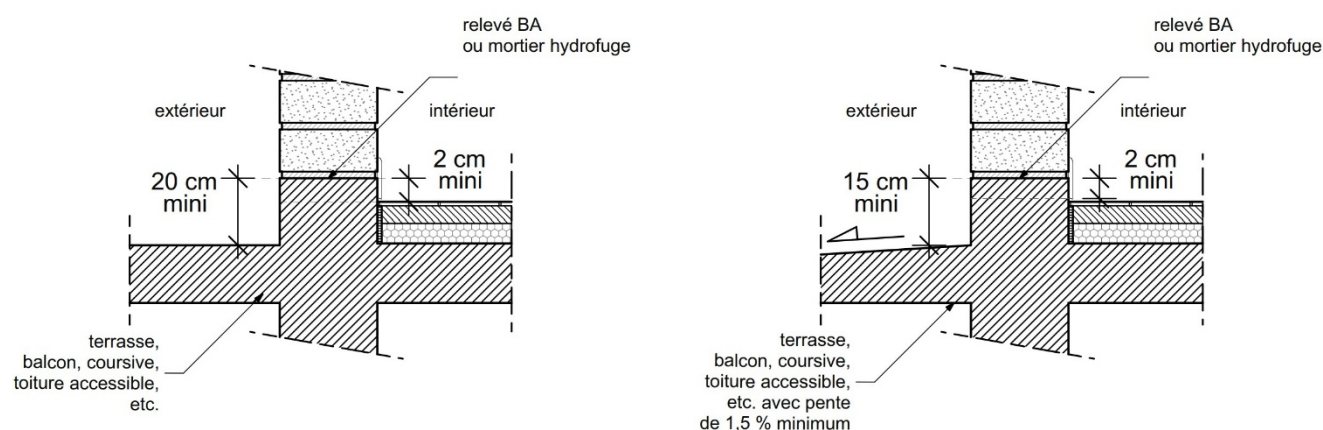


* ou brique cuite, pierre, ...

4.1.3. BALCON, TERRASSE, LOGGIA

Le pied de mur sur un balcon ou une terrasse sera traité de la même façon que décrit dans la partie 4.1.1. précédente. Si aucune stagnation d'eau n'est possible (avec pente vers l'extérieur de 1,5% minimum), la hauteur de la coupure de capillarité **pourra être réduite à 15 cm** au-dessus du niveau le plus haut de la surface formant l'étanchéité horizontale.

FIGURE 23 : COUPES DE PRINCIPE — PIED DE MUR SUR BALCON, TERRASSE, ETC.



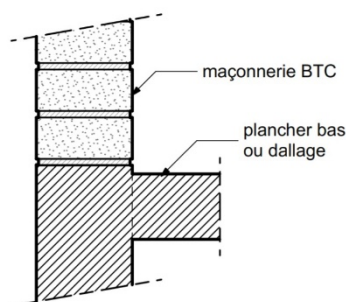
Dans le cas d'un balcon ou d'une terrasse en console, il faudra être attentif aux configurations formant un décaissé entre extérieur et intérieur et qui pourront correspondre à un fonctionnement « en manivelle », pouvant entraîner la mise en flexion du mur de maçonnerie. Cette configuration peut générer une concentration de contraintes sur le mur BTC entraînant l'apparition de pathologies (fissurations, dégradations).

4.1.4. DALLAGE OU PLANCHER BAS

Les dallages ou planchers bas, quels que soient leurs types (désolidarisés, liaisonnés, etc.), devront être positionnés au niveau du soubassement en béton armé ou maçonnerie. En aucun cas le dallage ne pourra être connecté au mur en BTC.

Les dallages sur terre-plein devront être conformes au NF DTU 13.3.

FIGURE 24 : COUPE DE PRINCIPE DE DALLAGE, OU PLANCHER BAS



4.1.5. PROTECTION INTÉRIEURE AU NIVEAU DES PLANCHERS

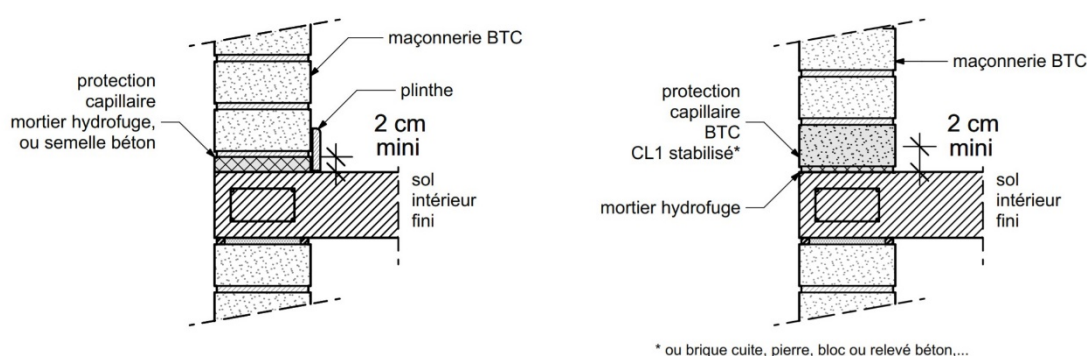
Pour la première assise de tous les niveaux courants, et pour tous les types de murs, une protection renforcée à l'humidité des bas de maçonnerie doit être assurée par un matériaux hydrofuge présentant une hauteur minimum de 2 cm au-dessus du sol intérieur fini. Cette disposition peut être obtenue par :

- la mise en œuvre d'un premier lit de mortier sable/ciment dosé à 600 kg/m³ ou d'une base en béton de l'épaisseur visée.
- la mise en œuvre sur mortier sable/ciment dosé à 600 kg/m³ d'une première assise des blocs présentant une très bonne résistance à l'humidité : bloc type aggloméré de béton, BTC CL1 stabilisé au liant hydraulique brique cuite ou toute solution équivalente.

Pour protéger des interventions trop agressives d'entretien comme, par exemple, les sollicitations mécaniques des balais ou lessiveuses, il doit être mis en œuvre à la base des murs :

- Des éléments de maçonnerie présentant une très bonne résistance à l'abrasion (béton, brique cuite, BTC CL1 résistance Ab1 à minima)
- Une plinthe côté intérieur renforçant la protection.

FIGURE 25 : EXEMPLES DE DISPOSITIONS POUR ASSURER UNE PROTECTION CAPILLAIRE RENFORCÉE AU NIVEAU DES PLANCHERS



4.1.6. FRACTIONNEMENT DES MURS PAR DES JOINTS DE RETRAIT, DE TASSEMENT OU DE DILATATION

Le fractionnement par des joints est une disposition générale de la maçonnerie en BTC. Il a été conservé dans ce texte, à titre informatif, mais reste un cas particulier pour Mayotte dont l'application sera conditionnée à des justifications sismiques particulières.

Avant tout début de travaux, les emplacements des reprises de maçonnerie et des joints de retrait, de tassement ou de dilatation doivent être définis dans tous les murs. Ils figureront sur les plans d'exécution.

4.1.6.1. JOINT DE RETRAIT ET DE FRACTIONNEMENT

Pour les murs de maçonnerie en BTC de grande longueur, des joints de retrait sont nécessaires⁹⁰. Le joint de retrait consiste soit en un joint creux, soit rempli d'un bourrage de mortier. Le joint peut être calfeutré par un mastic adapté (cf. 2.4.1. *Traitement et étanchéité des joints*). Il est le plus souvent à bords droits. Il existe des solutions par calepinage à redent de la maçonnerie.

FIGURE 26 : JOINTS DE RETRAIT, DISPOSITIONS DE PRINCIPES, VUES EN PLAN

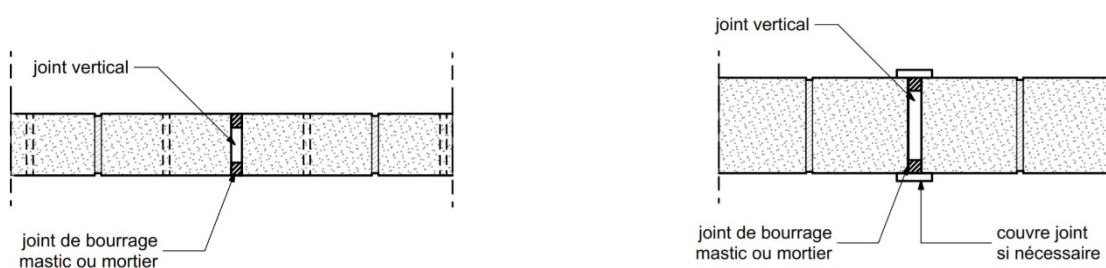
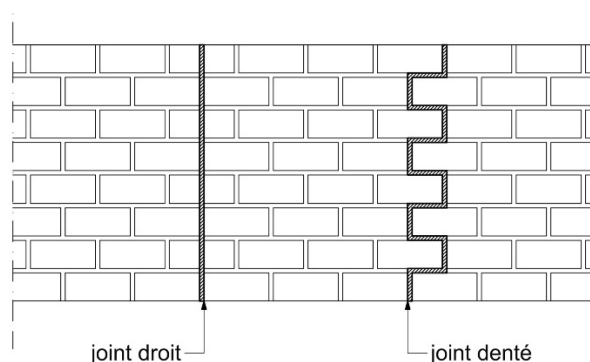


FIGURE 27 : JOINTS DE RETRAIT, DISPOSITIONS DE PRINCIPES, VUES EN ÉLEVATION



4.1.6.2. JOINT DE TASSEMENT SOUS POIDS PROPRE

Dans le cas de charges non uniformes, par exemple au niveau d'allèges réalisées comme un remplissage, des joints de tassement sont nécessaires. Le joint de tassement est un joint à bords droits, soit laissé vide soit rempli d'un bourrage de mortier. Il peut être calfeutré par un mastic ou un élastomère (cf. 2.4.1. *Traitement et étanchéité des joints*).

4.1.6.3. JOINT DE DILATATION OU DE RUPTURE NÉCESSAIRE AU BÂTIMENT

Dans tous les cas, les constructions en BTC devront comporter des joints de dilatation ou de rupture intéressant toute la structure ; leur espacement ne peut être supérieur à 35 m dans les régions humides et tempérées.

⁹⁰ Rappel : quelle que soit la classe de BTC considérée, la longueur libre des murs entre bords libres, joints de retrait, murs de refends ou contreforts ne doit pas dépasser un maximum de 26 x (tf+1,5 cm)

Si des joints de retrait sont prévus dans le soubassement, ils doivent impérativement être prolongés verticalement dans la partie maçonnée en BTC.

La largeur du joint doit être au moins égale à 4 cm. Les dispositions sismiques peuvent demander :

- Une dimension plus importante. Celle-ci sera déterminée par calcul ;
- La présence de raidisseurs de part et d'autre du joint pour les parois BTC.

Le joint pourra être laissé vide ou rempli d'une laine minérale ou d'un mastic adapté (cf. 2.4.1. *Traitement et étanchéité des joints*). Dans tous les cas, le joint de dilatation doit être traité en joint sismique et les déplacements doivent être libres de part et d'autre du joint. Les joints de dilatation peuvent être recouverts d'un couvre-joint.

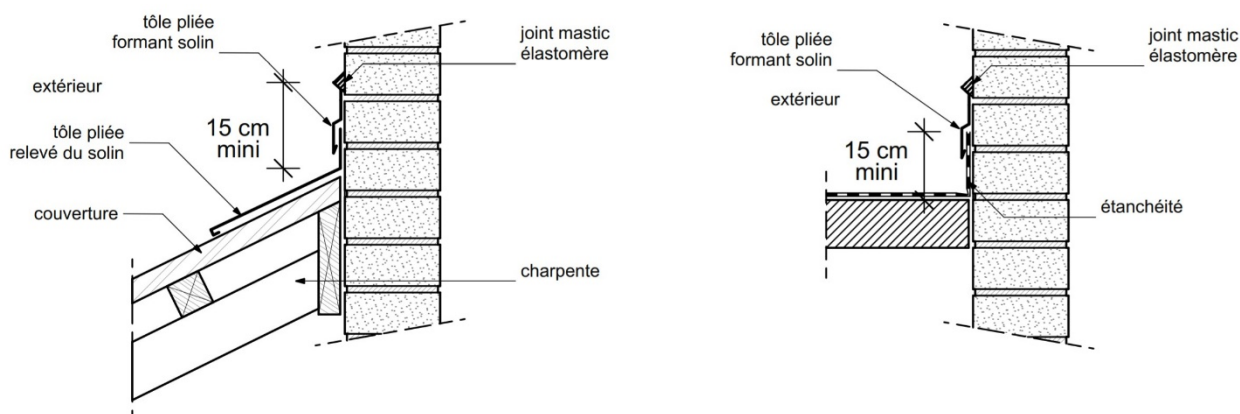
4.1.7. ÉMERGENCES ET SOLINS (EXTÉRIEUR)

Les émergences et les solins protègent de l'eau la base des murs en BTC au-dessus des toitures ou des terrasses. Ils s'intègrent dans un système d'étanchéité empêchant les infiltrations.

Pour les éléments collés ou accolés au mur et formant des saillies importantes, il sera mis en place sur le mur un solin, une émergence ou tout autre système équivalent, formant une barrière étanche de 20 cm de hauteur minimum.

Dans le cas d'un élément, balcon, saillie ou toiture par exemple, avec forme de pente sans possibilité de rétention d'eau au contact du mur, la hauteur de cet élément pourra être réduite à 15 cm.

FIGURE 28 : COUPES DE PRINCIPE DES SOLINS (PENTE SANS POSSIBILITE DE RETENTION D'EAU)



4.1.8. DÉBORD DE COUVERTURE MINIMUM

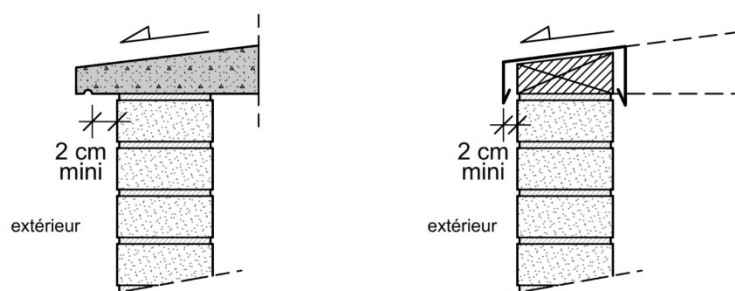
Les murs en maçonnerie de BTC doivent être protégés à leur sommet de l'infiltration de l'eau par une couverture imperméable⁹¹. **Une couverture disposée au minimum sur toute l'épaisseur du mur assure cette protection.**

La protection pourra préférentiellement présenter une profondeur ou une longueur de débord par rapport au mur telle qu'elle est définie à la partie 3.1.1. *Résistance à la pénétration de la pluie des parois extérieures.*

⁹¹ Les éléments de couverture doivent répondre aux spécifications de la norme NF DTU 40.

Dans le cas contraire, soit celui d'une couverture sans débord⁹² ou d'un élément en saillie du mur, la distance minimale à respecter entre le nu fini du mur et l'élément formant goutte d'eau est de 2 cm.

FIGURE 29 : COUPES DE PRINCIPE – COUVERTURE MINIMUM



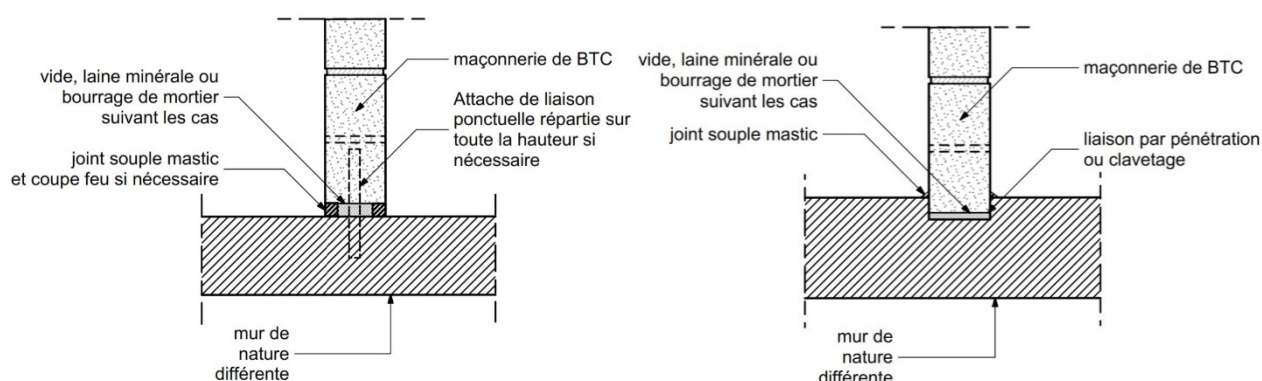
4.1.9. JONCTION AVEC MURS DE NATURE DIFFÉRENTE

L'intersection d'un mur en BTC avec un mur de nature différente pourra être réalisée avec le même type de liaison que celles décrites dans la partie traitant des liaisons avec l'ossature (cf. 4.3.3. *Jonction avec les poteaux de l'ossature et les raidisseurs*).

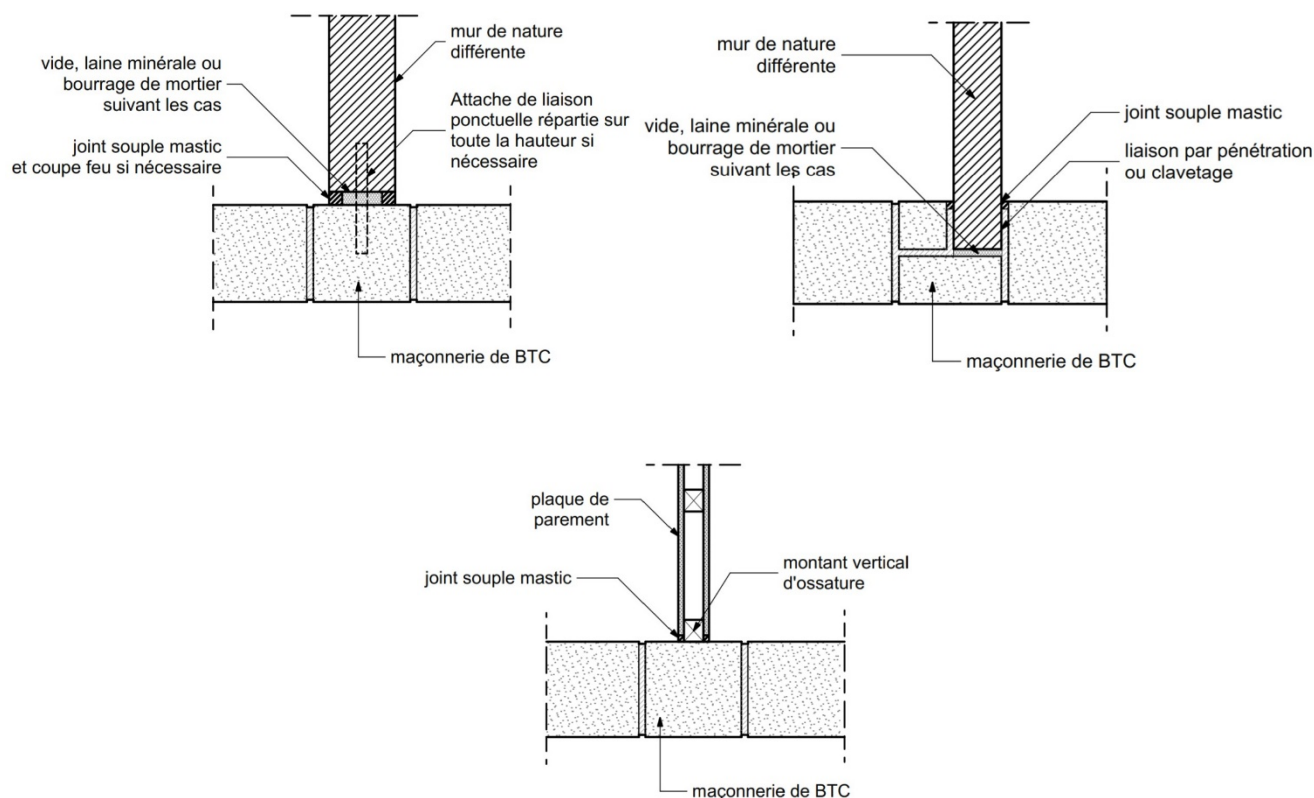
La liaison mécanique des murs concourants de remplissage de différentes natures devra être soigneusement étudiée, afin d'éviter l'apparition de tous défauts liés aux comportements différentiels des matériaux.

S'il subsiste un vide entre les murs, la jonction sera assurée soit par un mastic ou un élastomère continu pour garantir l'étanchéité, soit pour la sécurité incendie, par bourrage à l'aide de fibre minérale haute densité ou par un joint coupe-feu (cf. 2.4.1. *Traitement et étanchéité des joints*).

FIGURE 30 : PLANS DE PRINCIPE — EXEMPLES DE JONCTIONS DE MURS DE NATURE DIFFÉRENTE



⁹² Par sécurité, les concepteurs et constructeurs privilégient la réalisation de dépassées de toiture importantes qui protègent les maçonneries de BTC des intempéries.



4.1.10. OUVERTURES

Les ouvertures constituant un lieu privilégié d'apparition de pathologies, on doit apporter un soin tout particulier à leur conception et leur réalisation.

Les dispositions décrites dans cette partie sont des éléments généraux de la conception des ouvertures dans les parois en BTC. Il est rappelé qu'en raison du risque d'aléas sismiques présents à Mayotte, les ouvertures, doivent être encadrées par des chaînages et des raidisseurs verticaux.

4.1.10.1. TABLEAUX DE BAIE

Les tableaux des baies doivent être largement dimensionnés avec une grande inertie du linteau et de l'appui et une bonne stabilité des jambages. Il faut assurer une bonne reprise des charges et particulièrement des effets différentiels de tassement sous poids propre.

Le tableau peut être traité en maçonnerie, en bois ou en acier (veiller au travail différentiel entre le tableau et le mur). Des systèmes de tableaux préfabriqués, type précadre (bois, métal, béton), peuvent être utilisés. Ils seront étudiés en prenant en compte les différences de variations dimensionnelles, dilatation et retrait, des matériaux.

4.1.10.2. DIMENSIONNEMENT

Toutes les règles de dimensionnement des structures en maçonneries de BTC décrites précédemment s'appliquent.

Dans le cas d'une maçonnerie de BTC où les ouvertures sont réalisées comme des percements ponctuels d'une même paroi ou d'un même pan de maçonnerie, les règles complémentaires suivantes, indicatives, peuvent être appliquées⁹³.

Il convient d'éviter les trop grandes concentrations de vides ou les trop grandes ouvertures à moins d'avoir conçu la structure en conséquence :

- **Dans un même pan de mur**, le rapport des vides et des pleins ne doit pas être supérieur à 1/3 et doit être le plus régulièrement réparti.
- Les portées classiques des ouvertures se limitent à 1,20 m pour des linteaux de section classique. Pour les plus grandes baies, il faut dimensionner le linteau et son appui en conséquence.
- La distance minimale entre une baie et un angle de maçonnerie en BTC ou un bord du remplissage en BTC en contact avec un poteau de l'ossature est de 60 cm pour un mur porteur ou 45 cm pour un mur de remplissage non porteur.
- La largeur d'un trumeau commun à deux baies n'est pas inférieure à l'épaisseur du mur et doit présenter une largeur minimale de 60 cm pour un mur porteur ou 45 cm pour un mur de remplissage non porteur.

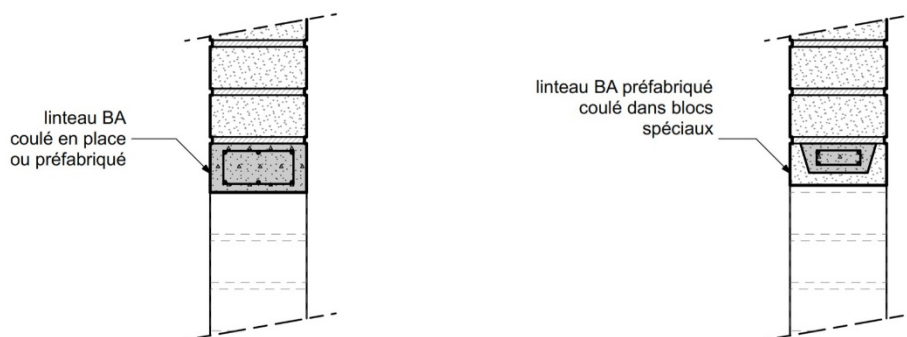
4.1.10.3. LINTEAUX

Ils sont coulés sur place ou préfabriqués et réalisés en béton, acier ou bois. La longueur d'appui ne peut être inférieure à 20 cm. Les linteaux préfabriqués nécessitent un appui homogène, ils seront mis en œuvre aux appuis sur un lit de mortier frais. La compatibilité de la déformation verticale du linteau avec l'usage des BTC doit être prise en compte de telle sorte que la flèche maximum du linteau soit limitée à 1/500 de sa portée.

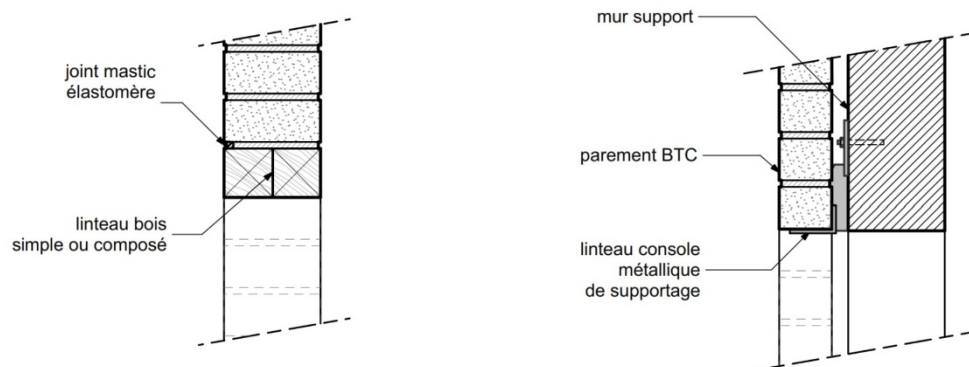
Les linteaux bois seront de classe d'emploi minimale 3 : 3.1 pour les bois abrités ou 3.2 pour les bois exposés (selon NF EN 335)

Les linteaux métalliques devront présenter une protection à la corrosion adaptée pour assurer leur pérennité. Le dimensionnement, la nature et le traitement de l'acier et la protection contre la corrosion devront être compatibles avec les catégories de corrosivité définies dans la NF EN ISO 12944.2 soit, pour Mayotte, les catégories C2 à C5. Il existe plusieurs procédés : galvanisation, peinture ou galvanisation + peinture (système duplex) pour les environnements très agressifs.

FIGURE 31 : COUPES DE PRINCIPE DES LINTEAUX BOIS, BÉTON OU CONSOLE MÉTALLIQUE



⁹³ Ces règles de dimensionnement des ouvertures dans une maçonnerie en BTC n'excluent pas la variété de conception de leur forme et de leur taille.



4.1.10.4. APPUI DE BAIE ET JONCTION ALLEGE-TRUMEAU

Les charges transmises par les jambages doivent être bien reprises afin d'éviter le risque de cisaillement de l'allège. Pour cela on pourra soit (*figure 32*) :

- Prolonger l'appui de part et d'autre de la baie dans le mur. Couramment d'une longueur équivalente à celle de l'appui du linteau
- Adopter une solution de joints de tassement entre l'allège et le mur (*cf. 4.1.6. Fractionnement des murs par des joints de retrait, de tassement ou de dilatation*) soit celle d'une allège indépendante traitée en remplissage⁹⁴. Dans ce dernier cas, si une contrainte de stabilité est recherchée, la liaison entre allège et paroi courante peut être traitée par l'intermédiaire de l'appui de fenêtre assurant le maintien de la tête du muret formant l'allège.

Les appuis de baie, réalisés sur place ou préfabriqués, quelle que soit leur nature⁹⁵ (béton, pierre, tôle pliée, etc.), doivent respecter les règles de l'art quant à leurs caractéristiques géométriques et leur réalisation. Ils doivent ainsi présenter un profil en pente vers l'extérieur d'au moins 10 %, complété par un rejingot faisant partie intégrante de l'appui (et non rapporté après coup).

Le larmier longitudinal en sous-face de l'appui (goutte d'eau ou casse goutte) devra se situer à une distance de **2 cm minimum du nu extérieur fini du mur BTC**. (*fig. 34*). L'appui de baie peut être idéalement complété côté extérieur par un débord du tableau, de part et d'autre de la baie.

Pour les ouvertures susceptibles d'être exposées abondamment à la pluie, afin de limiter les effets du rejaillissement et pour se prémunir de la pénétration d'humidité par capillarité dans ces zones, les relevés latéraux de l'appui présenteront une hauteur égale ou supérieure à 5 cm (*fig. 35*).

⁹⁴ Le colmatage des joints entre allège et paroi devra être réalisé ultérieurement, lors des finitions, une fois que la maçonnerie sera suffisamment sèche et de préférence après que les murs sont complètement mis en charge.

⁹⁵ pour les éléments en maçonnerie en particulier les dispositions du NF DTU 20.1 P1.1 Caractéristiques géométriques des appuis de baie

FIGURE 32 : PRINCIPE DE LA JONCTION ALLEGE-TRUMEAU AVEC APPUI DE BAIE QUI SE PROLONGE (a) / QUI NE SE PROLONGE PAS (b) / FORMANT JOINT DE FRACTIONNEMENT (RETRAIT) DE LA PAROI (c) - (les raidisseurs et chaînages pouvant intéresser la structure ne sont pas représentés)

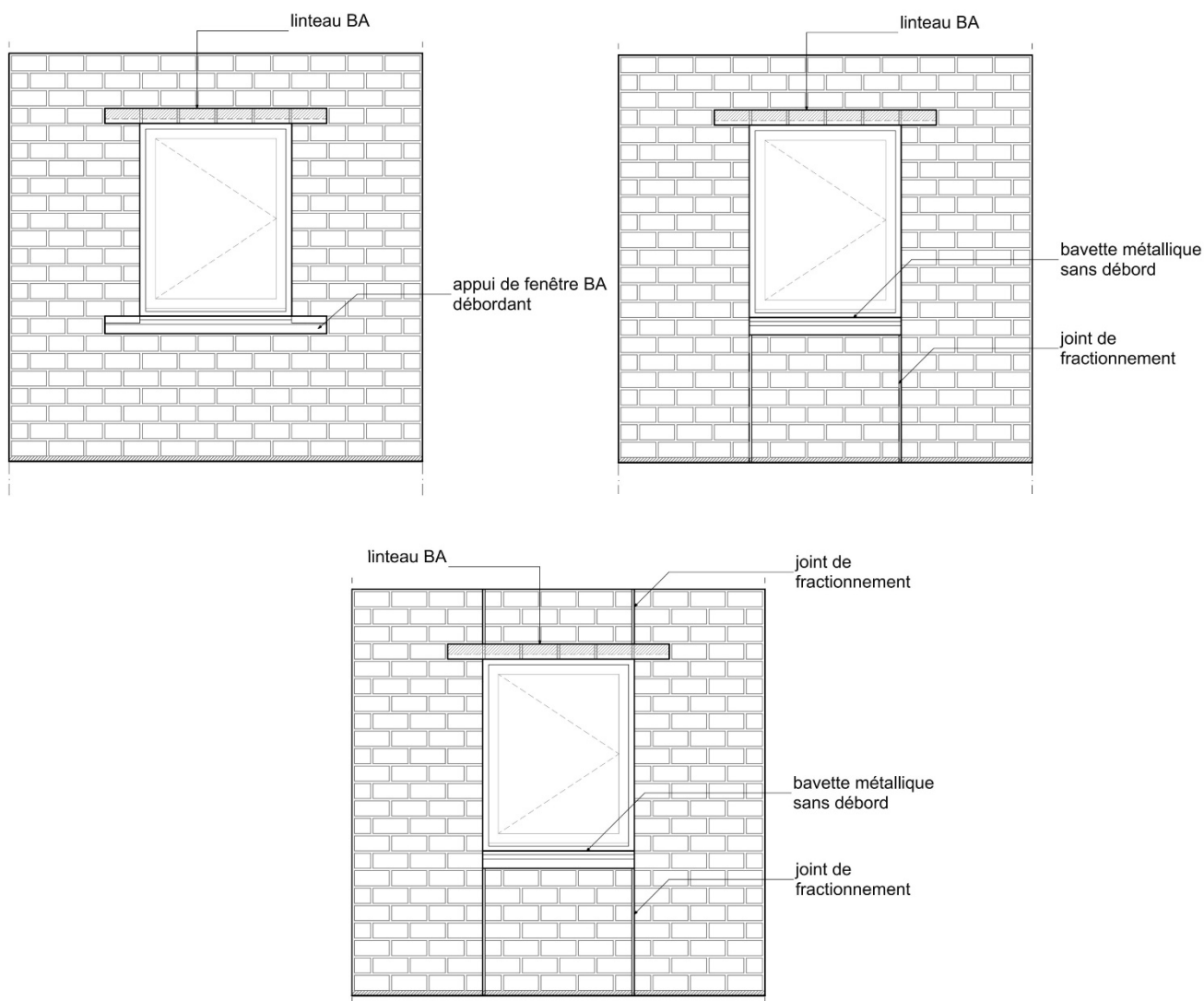


FIGURE 33 : COUPES DE PRINCIPE DES APPUIS DE BAIE

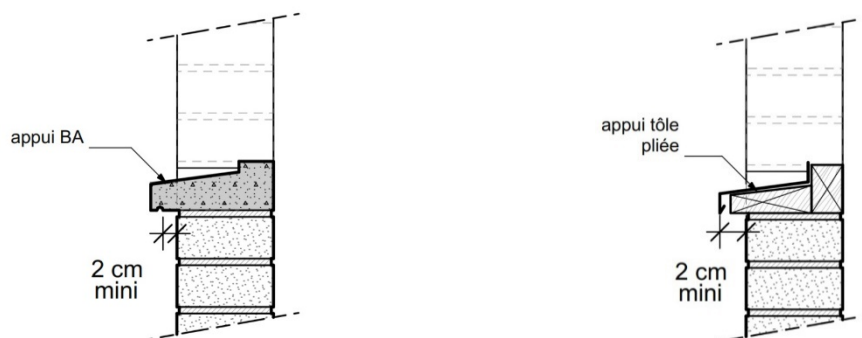
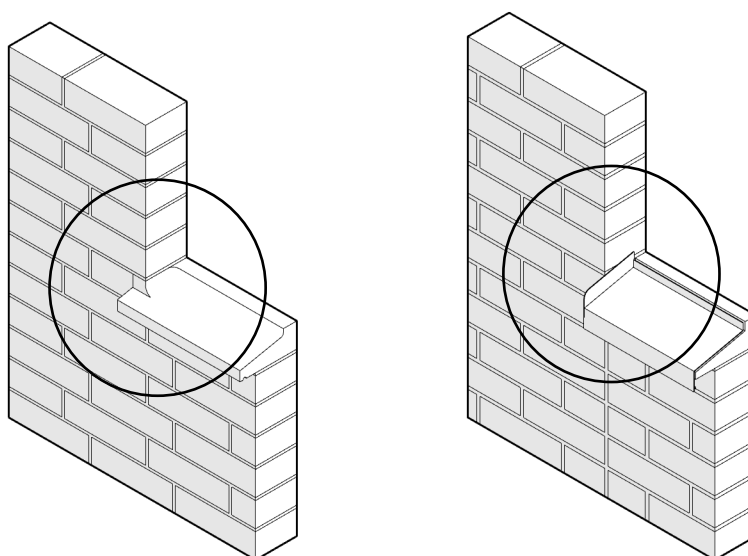


FIGURE 34 : PRINCIPE DES RELEVÉS LATÉRAUX DES APPUIS DE BAIE



4.1.10.5. LARMIER

Pour parer les effets nuisibles du ruissellement, on prendra toutes dispositions utiles telles que la mise en place de larmiers et de solins.

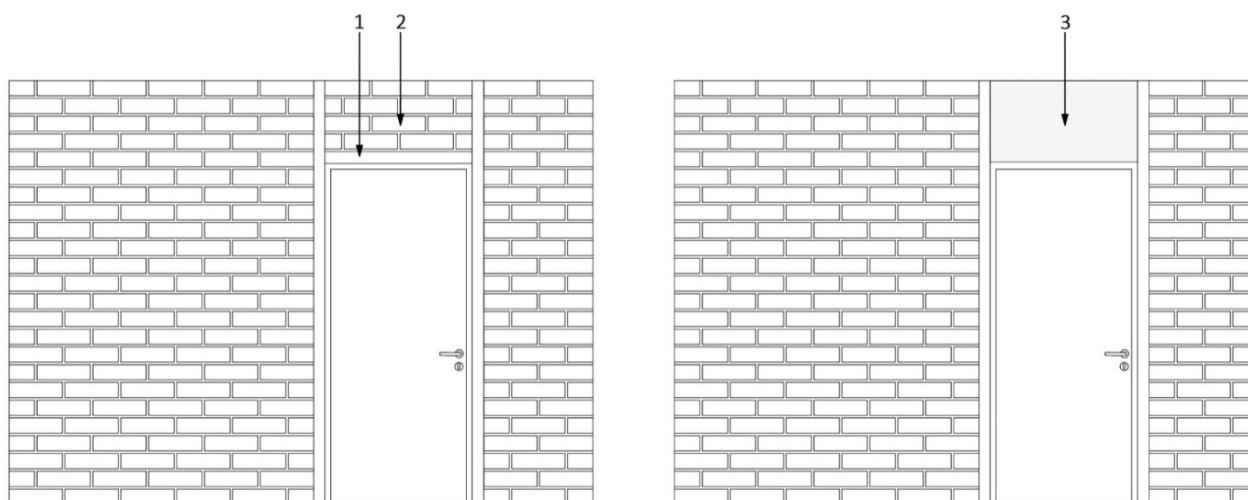
En particulier, il faut prévoir un larmier sous l'appui. On évitera les saillies en linteau et en jambages.

4.1.10.6. CADRE DE PORTE DANS LES CLOISONS

Le cadre de porte peut jouer le rôle de raidisseur.

Le cadre va jusqu'en haut du mur (huisserie à imposte fixée en tête et en pied). L'imposte est composée soit de maçonnerie en BTC, soit d'un autre matériau intégré au bloc porte et prévu par le lot menuiserie. Dans le cas d'une imposte en BTC, un linteau dimensionné pour supporter l'imposte doit être fixé aux raidisseurs.

FIGURE 35 : CADRE DE PORTE JOUANT LE RÔLE DE RAIDISSEUR - IMPOSTE EN BTC / IMPOSTE EN MATÉRIAU DIFFÉRENT



- 1. linteau fixé aux raidisseurs
- 2. imposte en BTC
- 3. imposte incluse dans le lot menuiserie avec le bloc porte

4.1.10.7. SCELLEMENTS ET FIXATIONS DES MENUISERIES

Les scellements doivent être particulièrement soignés. De même, il est préférable de renforcer les feuillures, ébrasements ainsi que tous scellements de chambranles, de gonds ou de paumelles.

On réalisera de préférence l'ancrage des cadres dormants des menuiseries dans les éléments de chaînages ou d'ossatures (béton, bois ou métal) à l'aide de fixations adaptées au support.

Un scellement direct des précadres de portes et fenêtres dans la maçonnerie de blocs de terre comprimée doit impérativement garantir un bon ancrage. Il peut être traité par des pattes de fixations métalliques, type feuillard, d'une longueur minimum de 120 mm, scellées dans le mortier des joints du mur et réparties sur la hauteur des cadres ou des précadres. L'ancrage par fixation mécanique est également admis dans la maçonnerie de BTC⁹⁶, par exemple vissée ou vissée et chevillée — voir partie 4.1.12.2. *Fixation charges lourdes*)

Le scellement doit être de préférence compatible avec l'entretien, les réparations et l'éventuel remplacement des menuiseries sans endommager la structure du mur.

FIGURE 36 : EXEMPLE DE TRAITEMENT DES FIXATIONS DES MENUISERIES DANS DES OSSATURES OU DES RAIDISSEURS

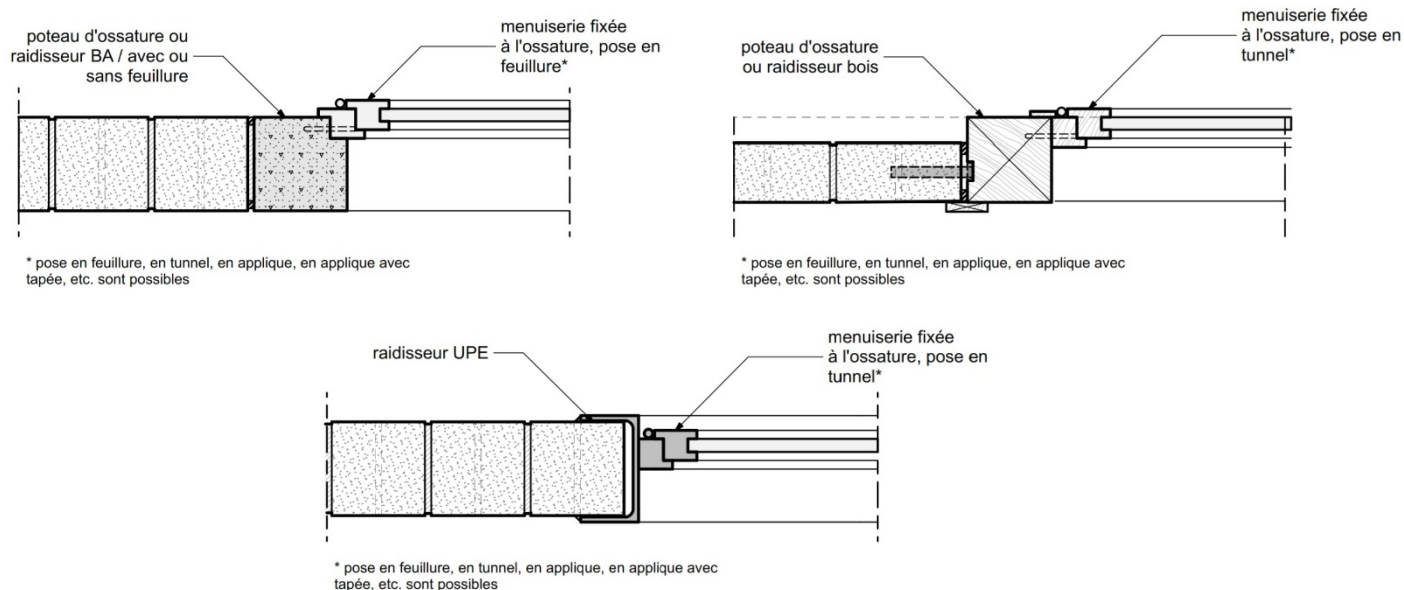
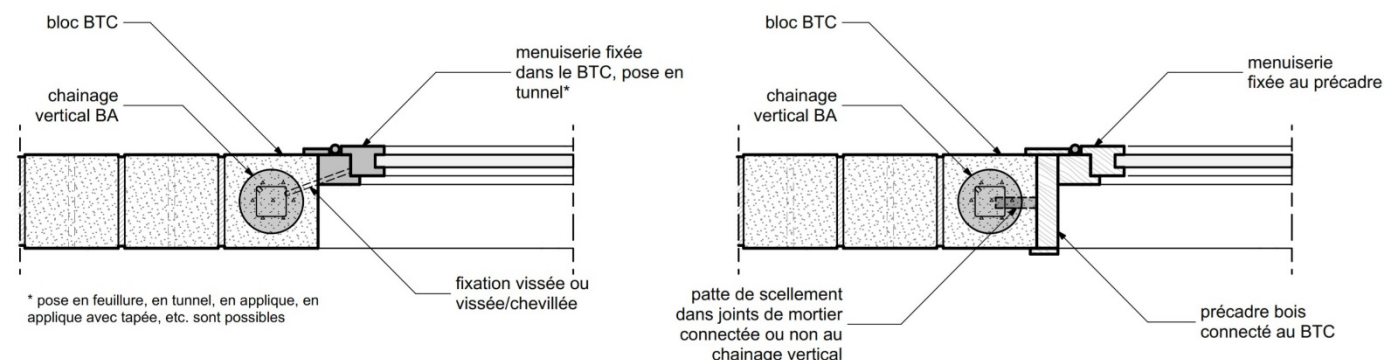


FIGURE 37 : EXEMPLE DE TRAITEMENT DES FIXATIONS DES MENUISERIES DANS LES PAROIS BTC



⁹⁶ La fixation des menuiseries peut également être réalisée dans des blocs en béton de ciment maçonnés en place.

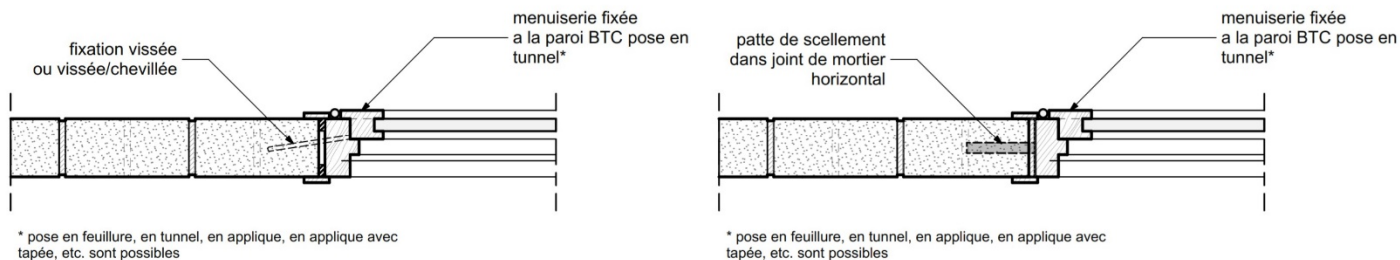


FIGURE 38 : EXEMPLE DE SOLUTIONS DE PRÉCADRE

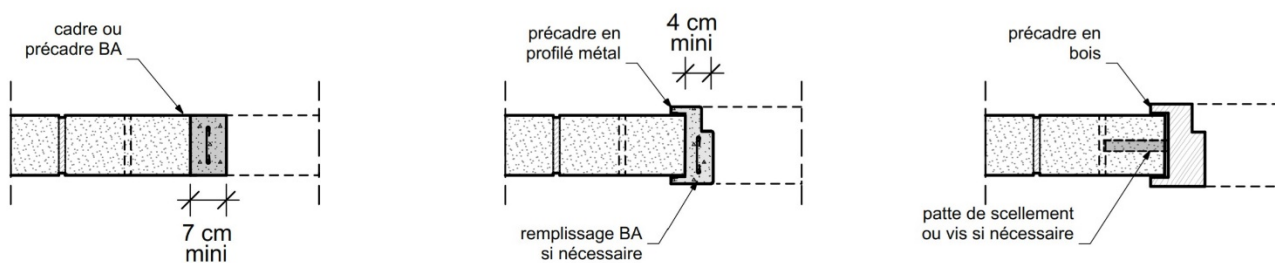
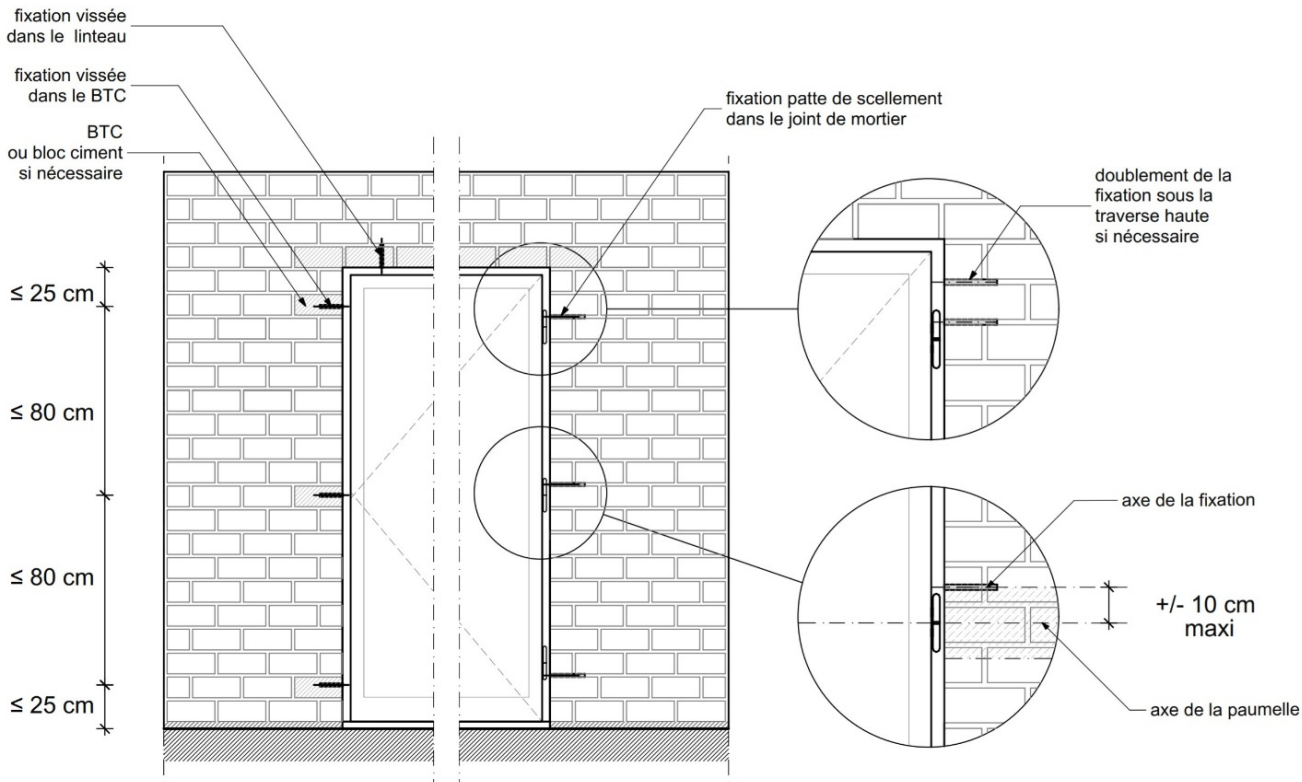


FIGURE 39 : PRINCIPE EN ELEVATION DE LA FIXATION DES MENUISERIE DANS LA PAROI BTC – CAS « GENERAL » : DISPOSITIONS ET DIMENSIONS À RESPECTER – (les raidisseurs et chaînages pouvant intéresser la structure ne sont pas représentés)



4.1.10.8. TRAITEMENTS DES JOINTS

Pour assurer l'étanchéité (eau et air) des menuiseries, il est d'usage courant d'utiliser des bandes de joint mousse pré-comprimée imprégnées de résine synthétique et des mastics de calfeutrement et d'étanchéité. (cf. 2.4.1. *Traitement et étanchéité des joints*)

4.1.11. PASSAGE DES RÉSEAUX

4.1.11.1. PASSAGE DES RÉSEAUX ET INCORPORATIONS

Les BTC étant destinés dans la plupart des cas à rester apparents, il est préférable d'éviter les saignées au profit d'autres types de passages, soit en applique, soit en les intégrant lors de la mise en œuvre des BTC. On pourra aussi chercher à profiter au mieux des éléments qui ne sont pas en BTC : le long des raidisseurs, les espaces entre deux parois ou entre paroi et doublage, en plancher, en plafond, etc. Pour ne pas détériorer les performances acoustiques d'une paroi double ou doublée, les réseaux ou gaines passant entre les deux parois ne doivent pas toucher les deux faces intérieures et ne doivent pas être comprimés.

Si le mur est destiné à être enduit, il est possible de passer des gaines dans un mur en BTC par saignées, rainurage et rebouchage.

Si la maçonnerie reste apparente et qu'il est nécessaire d'y incorporer des réseaux électriques, la gaine ICT doit cheminer dans la maçonnerie. On privilégiera alors des passages verticaux en encastrement dans les joints, entre les BTC, en taillant et/ou en perçant les blocs. Les passages sont alors alternés entre traversée dans les joints (blocs taillés) ou entre joint et traversée dans le centre des blocs (blocs taillés et perçés) (*figure 40*).

Pour les traversées horizontales, dans le plan du mur, on utilisera des blocs spéciaux de chaînage en U ou on procédera par taillage de rainures de dimensions adaptées aux gaines dans les faces de pose (*figure 41*).

Dans tous les cas, le passage par saignée et encastrement devra respecter la norme NF C15-100 et le mémento du NF DTU 20.13 P3 pour les canalisations électriques.

Pour tous réseaux incorporés aux murs, on veillera à ce que :

- ils n'affaiblissent pas localement la résistance des ouvrages,
- ils ne favorisent pas de corrosion ou de condensation,
- ils soient équipés d'un fourreau étanche sans rupture,
- ils soient incorporés dans les BTC avec des percements adaptés au passage de réseaux.

On cherchera en particulier à minimiser tout passage de gaines dans les parois maçonnées fines (épaisseur inférieure ou égale à 15 cm).

FIGURE 40 : PRINCIPES EN COUPE DE PASSAGE DE RÉSEAUX VERTICAUX DANS LES BTC

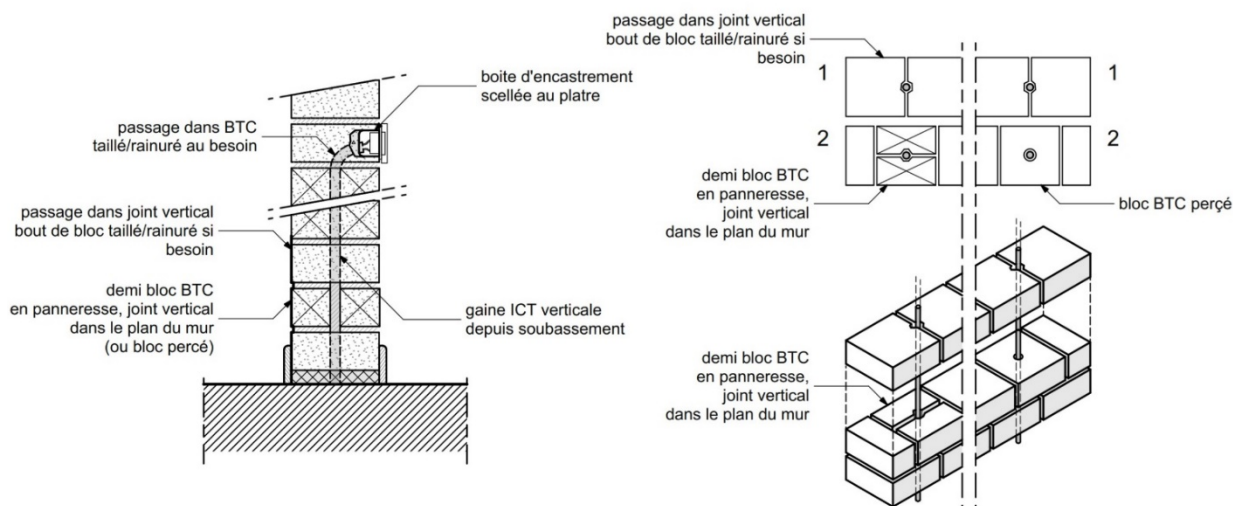
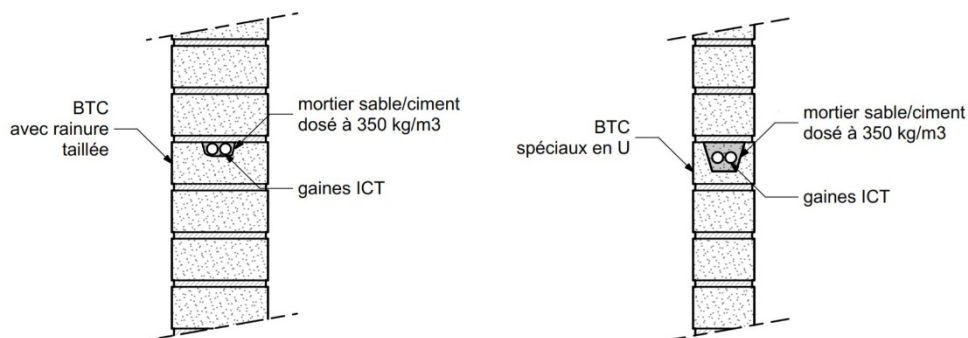


FIGURE 41 : PRINCIPES EN COUPE DE PASSAGE DE RÉSEAUX HORIZONTAUX DANS LES BTC



4.1.11.2. FIXATION BOÎTE ÉLECTRIQUE

Il est possible d'intégrer aux parois BTC des boîtes d'encastrement électrique pour des équipements de type interrupteur ou prise de courant. Cependant, pour une meilleure finition, on pourra chercher autant que possible à positionner ces équipements ailleurs que dans les murs BTC, par exemple :

- dans les soubassements béton lorsque cela est possible,
- dans les précadres de menuiserie,
- dans des parois d'une autre nature.

Lorsque ces dispositions ne sont pas possibles, le scellement de boîtes électriques dans les BTC se fait au plâtre classique en fond de trou. Le garnissage de finition sera quant à lui réalisé avec le mortier de pose ou de rejointoiement de la maçonnerie.

4.1.11.3. RÉSEAUX DE PLOMBERIE

L'incorporation des réseaux de plomberie (eaux) au sein du mur est proscrite. Seules les traversées ponctuelles sont permises. Les risques de pathologies dues à l'humidité peuvent avoir de graves conséquences. Tout raccord à l'intérieur du mur est proscrit, les traversées seront équipées d'un fourreau étanche sans rupture.

4.1.11.4. RÉSERVATION EN TRAVERSE DE CLOISON

Dans le cas où aucune performance au feu n'est attendue de la cloison, des réservations au travers de la cloison, par exemple pour le passage des réseaux, d'une taille maximale de 200 cm² sont permises, sans mise en place de raidisseurs, de linteaux ou d'un cadre support particulier. La largeur du passage sera à adapter au format des blocs en évitant, dans la mesure du possible, d'être supérieure à 10 cm. La largeur cumulée horizontale des réservations pour les traversés des cloisons ne doit pas fragiliser les maçonneries. Pour cela, on se limitera à une largeur cumulée d'au maximum 0,10 fois la longueur du pan de mur.

L'impact de ces traversées sur la performance acoustique de la paroi devra être vérifié par le concepteur.

Les passages de câbles et tuyaux unitaires d'un diamètre maximal de 100 mm peuvent être calfeutrés au mortier.

4.1.12. FIXATIONS NON STRUCTURALES

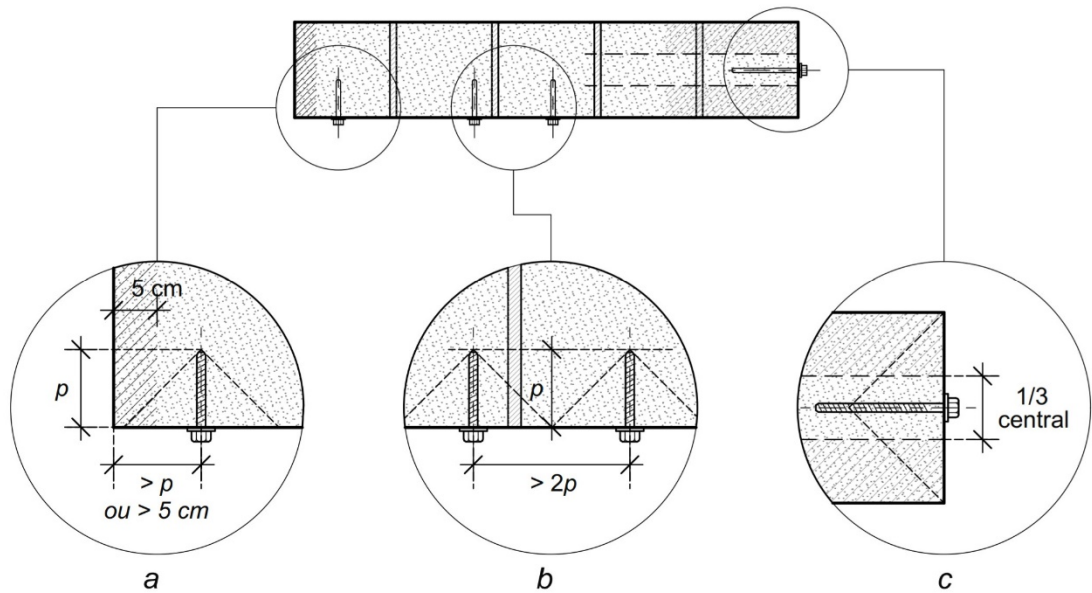
Dans tous les cas, on respectera une distance de fixation aux bords des parois supérieure à la profondeur d'ancrage (fig. 43 a).

Il est cependant conseillé, lorsque cela est possible, de conserver une distance minimum aux angles saillants de plus de 5 cm, même pour des fixations de longueur inférieure.

Si le sens de la fixation est parallèle au matériau, dans l'axe du plan du mur, perpendiculaire au bord, la fixation s'effectuera de préférence dans le tiers central du mur. Dans ce cas la distance au bord pourra alors être réduite (fig. 43 c).

Entre deux fixations un entraxe minimum supérieur à 2 fois la profondeur d'ancrage doit être respecté (fig. 43 b).

FIGURE 42 : DISPOSITION DES FIXATIONS (avec p : profondeur d'ancrage)



Seules sont concernées les fixations pour des applications non structurales (comme, par exemple, les tuyauteries, les canalisations et les chemins de câbles) ou des applications à risque « modéré » (risque de pertes en vies humaines quasi nul, conséquences économiques faibles, dommages localisés) comme la fixation d'éléments de mobilier, d'équipement, de menuiseries ou de doublage des murs.

Aucune fixation par clouage ou par pistoscellement ne pourra être réalisée.

En cas de doute sur la capacité de résistance de fixation, il peut être réalisé au préalable une série d'essais de validation (essai du fournisseur ou organisme indépendant)⁹⁷.

4.1.12.1. FIXATION CHARGES FAIBLES

Pour la fixation des charges faibles, inférieures ou égales à une charge de 30 kg⁹⁸ par fixation, on utilisera des chevilles à expansion dites « légères », en plastique (Polyamide/Nylon) ou caoutchouc, adaptées aux matériaux pleins (briques, carreaux de plâtre, béton, béton cellulaire, etc.). Le nombre, le diamètre et la profondeur des fixations devront être adaptés à la charge à supporter.

TABEAU 17 : VALEURS DE CHARGE POUR CHEVILLES A EXPANSION

Valeurs cibles					
Dimension de l'ancrage Ø de perçage x profondeur d'ancrage (mm)	Ø 5 x 40	Ø 6 x 50	Ø 8 x 60	Ø 8 x 100 Ø 10 x 70	Ø 8 x 120 Ø 10 x 100
Charge maximum F_{rec} en kN (1 kN ≈ 100 kg)	0,04	0,07	0,10	0,20	0,30

97 Les résistances caractéristiques des fixations sous des charges statiques ou quasi statiques peuvent être évaluées si nécessaire en préalable par la méthode de calcul selon ETAG001, Annexe C, Méthodes de conception-calcul des ancrages. Elles devront cependant être vérifiées par une série d'essais de validation.

98 En l'absence de campagnes d'essais et de tests spécifiques, qui n'ont pu être menés à Mayotte, les valeurs retenues pour les charges sont volontairement très faibles.

4.1.12.2. FIXATION CHARGES LOURDES

Dans le cas des fixations de charges lourdes (supérieures à 30 daN) dans des parois BTC, la capacité portante doit être justifiée par des essais préalables.

La fixation d'objets de masse supérieure à 30 kg est autorisée à raison de 2 vis ou tiges minimum.

Pour information, différents essais, menés sur différents types de blocs et différentes épaisseurs de parois ont permis d'obtenir des résultats satisfaisants de l'ordre de 3 à 30 kN. On pourra employer par exemple⁹⁹, dans un ordre croissant de performances :

- Des fixations "spécial" ancrage léger pour paroi en béton cellulaire (type cheville nylon de 130 mm TOX APOLLO ou équivalent) ;
- Des vis pour paroi en béton (par exemple du type HUS3 de Hilti ou équivalent) ;
- Une fixation "spécial" ancrage lourd type tiges filetées ou vis avec scellement chimique (par exemple : HIT-V de 70mm de profondeur et résine HY 170 de Hilti, SPIT ATP A4 diam 12 de 120 mm de profondeur ou équivalent).

4.1.13. FINITIONS — REVÊTEMENTS EXTÉRIEURS ET INTÉRIEURS

Il est important de prendre en considération que le BTC est un matériau hygroscopique, qui a la propriété d'absorber et de restituer l'humidité. Il faut donc prêter une attention particulière à la nature des finitions et des revêtements utilisés et à leur mise en œuvre, afin de ne pas bloquer les échanges de vapeur d'eau et ainsi éviter des venues d'eau ou des condensations malencontreuses à l'intérieur de la paroi.

4.1.13.1. FINITIONS BRUTES

La maçonnerie de BTC est destinée dans la plupart des cas à rester apparente sans traitement particulier de finition, hormis le jointoiement ou le rejointoiement éventuel.

4.1.13.2. FINITIONS ET REVÊTEMENTS COURANTS EXTÉRIEURS ET INTÉRIEURS

La technique du BTC permet de laisser le matériau brut. La pose d'une finition extérieure et/ou intérieure n'est pas toujours nécessaire¹⁰⁰. La protection des maçonneries de BTC susceptibles d'être exposées à des sollicitations spécifiques – climatiques ou abrasions — peut-être renforcée par certaines dispositions telles que : badigeon, peinture, enduit, etc. cf. 2.4.6. *Produits de finition de la maçonnerie*

Les revêtements appliqués directement en façade (peinture, enduit, etc.) doivent toujours s'arrêter à environ 15 centimètres du sol fini extérieur. Une bande de 5 à 15 centimètres sur le soubassement en pied de façade doit être laissée non traitée ou traitée avec de la peinture spéciale soubassement pour prévenir les remontées capillaires.

Maçonneries enduites

99 - Les chevilles TOX APOLLO et les fixations SPIT ATP A4 diam 12 ont fait l'objet d'essais au CSTB (Rapport d'essais n° EEM 21-03624-C Concernant les essais de traction sur un muret en brique selon l'EAD 330076-00-0604 et par analogie à l'EAD 330284-00-0604). Ce rapport est disponible sur demande auprès d'ART.Terre Mayotte. D'autres types de fixation peuvent être employés. Dans tous les cas il conviendra de mener des essais de traction ou de résistance conformément au protocole décrit dans le cahier 3750 du CSTB.

100 Sur les murs très sollicités (contact par frottement), il est possible d'appliquer un fixateur qui va bloquer la surface et éviter que des poussières ou grains fins ne se détachent du mur.

Les revêtements extérieurs et intérieurs sous forme d'enduits doivent respecter les Règles professionnelles pour la mise en œuvre des enduits sur supports composés de terre crue acceptées par la Commission Prévention Produits mis en œuvre (C2P) de l'Agence Qualité Construction en 2012.

La préparation du support par piquage de la surface peut être nécessaire.

Si l'enduit est continu et recouvre à la fois les éléments d'ossature et le remplissage en BTC, il faudra prendre soin, à la jonction des deux matériaux, soit :

- de créer, dans l'enduit, au droit de la jonction des matériaux, un joint franc et calfeutré ensuite par un mastic ;
- de laisser un joint souple de désolidarisation entre la maçonnerie et l'ossature. Ce joint se poursuit dans l'enduit et il sera calfeutré par un mastic selon la norme NF DTU 44.1.

Dans certains cas de figure, il peut être envisagé au droit de la jonction, de réaliser un enduit renforcé par des armatures — grillage, treillis ou maille de préférence non métallique — débordant d'au minimum 15 cm de part et d'autre de la jonction entre ossature et remplissage. Les armatures ou treillis sont incorporés par marouflage dans la première couche de l'enduit. Cette disposition bien que possible n'est cependant pas à privilégier en raison des comportements différentiels entre matériaux favorisant, même avec cette disposition, l'apparition de fissures dans l'enduit, et particulièrement dans le cas d'une ossature bois.

4.1.13.3. DOUBLAGE — ISOLATION

Les doublages, lorsque ceux-ci sont mis en œuvre, doivent être solidarisés aux superstructures de gros œuvre par fixation mécanique sur ossature.

La paroi peut rester non isolée sous réserve de la conformité avec la réglementation thermique¹⁰¹.

Dans le cas de la mise en place d'une isolation, on retiendra de préférence des solutions de parois isolées par l'intérieur (ITI).

Lors de la mise en place d'un isolant dans la conception de bâtiments spécifiques, l'isolation pourra être :

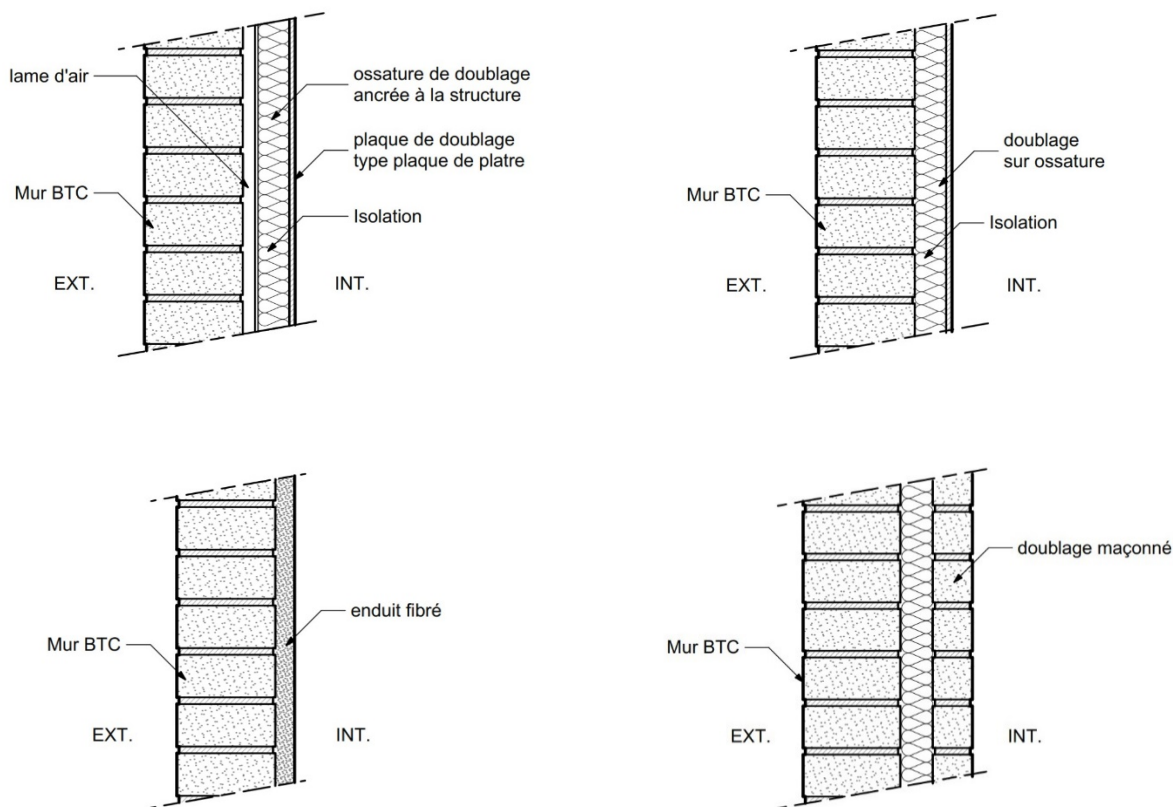
- Appliquée directement sur le mur, par exemple sous la forme d'un enduit épais fibré, spécialement formulé pour application sur support en terre crue ;
- Intégrée dans un doublage ;
- Constituée d'une structure rapportée, maçonnerie de blocs isolants ou structure portant l'isolant, par exemple ;
- Fixée sur le mur par collage et/ou par fixations ponctuelles de liaisons mécaniques¹⁰².

L'utilisation d'un matériau isolant étanche aux transferts d'humidité est proscrite. Ceci afin d'éviter les problèmes de condensation pouvant entraîner des pathologies liées à présence prolongée d'humidité.

¹⁰¹ Les arrêtés thermique, acoustique et aération de la RTAA DOM 2016, Réglementations thermique, Acoustique et Aération propres aux départements d'outre-mer. Ceux-ci ne sont pas encore appliqués à Mayotte à la date de rédaction de ces règles. En l'absence de réglementation, c'est la charte Mayénergie + qui sera appliquée.

¹⁰² Une justification de bonne tenue mécanique de la solution envisagée devra alors être démontrée.

FIGURE 43 : COUPE DE PRINCIPE DES DOUBLAGES ISOLANTS (ITI)



4.1.13.4. REVÊTEMENTS SPÉCIFIQUES DES PIÈCES HUMIDES

On soignera tout particulièrement l'équipement des pièces où la présence d'humidité est importante (douche, salle de bains, etc.).

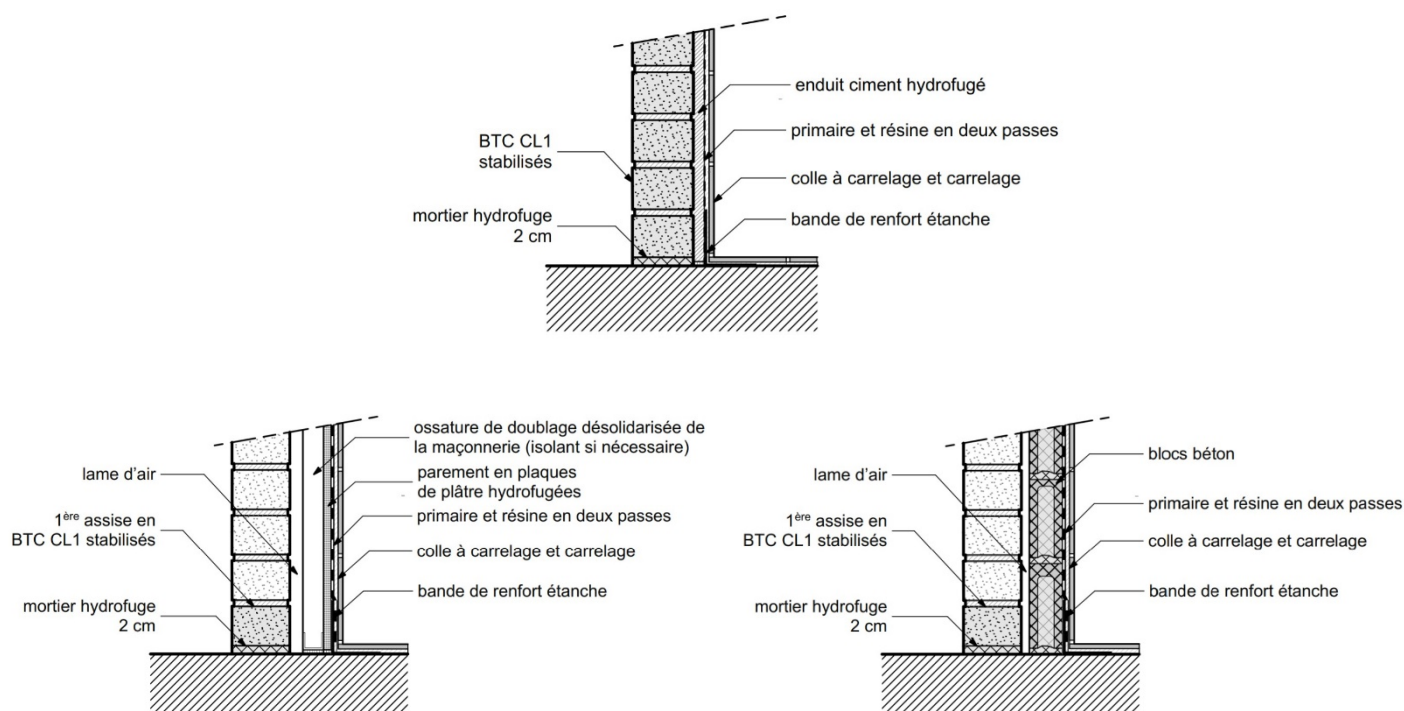
Un traitement de surface, étanche, protégera les murs en BTC dans les zones spécialement exposées aux projections et stagnations d'eau régulières.

Les murs en BTC pourront recevoir :

- un enduit ciment hydrofugé sur BTC stabilisés de classe d'application CL1, une étanchéité liquide et une finition type faïence,
- un doublage plaque de plâtre hydrofuge, avec lame d'air, une étanchéité liquide et finition type faïence.
- un doublage bloc ciment ou briques cuites avec lame d'air. Sur ce doublage, est mise en œuvre une étanchéité de type liquide suivie d'une finition de type faïence.

Les locaux devront recevoir les traitements suivants selon leur classification (cf. *partie 1.2.7. Exposition à l'humidité des parois* — *Tableau 1 : Classement des locaux en cours d'exploitation en fonction de leur hygrométrie*) :

- **Pour les locaux EB+ Privatifs : les solutions a, b ou c**, a minima sur les parois soumises aux projections régulières d'eau. Une barrière capillaire en pied de mur au minimum à 2 cm au-dessus du sol fini et une première assise en blocs de terre stabilisée de type CL1 sera mise en œuvre pour l'ensemble des parois BTC du local, y compris dans le cas de la mise en œuvre d'un doublage.

FIGURE 44 : EXEMPLE DE DÉTAIL EN COUPE DU PIED DE PAROI DANS LES PIÈCES HUMIDES **EB+ PRIVATIFS** : solution a, b et c

4.2. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PARTICULIÈRES POUR LES MURS PORTEURS

4.2.1. CHÂÎNAGES & TIRANTS

Il sera fait usage de chaînages horizontaux en béton armé¹⁰³ et de chaînages, tirants ou raidisseurs verticaux. Ceux-ci, conçus conformément aux dispositions constructives définies dans le NF DTU 20.1 P4, les NF EN 1996 et NF EN 1998, pourront être dimensionnés par application des codes de calcul Eurocodes.

4.2.1.1. CHÂÎNAGE HORIZONTAL

Les murs en maçonnerie de BTC porteurs sont obligatoirement ceinturés au niveau du plancher bas du rez-de-chaussée ou du dallage, à chaque étage, au niveau des planchers, ainsi qu'en couronnement des murs, par un chaînage horizontal continu. Ce chaînage périphérique ceinture les façades et solidarise les murs de refend.

L'espacement maximal des chaînages horizontaux est limité à 4 m.

¹⁰³ L'usage des chaînages en bois ou acier n'est pas interdit, mais leur dimensionnement devra être justifié, tout comme le bon comportement mécanique de la maçonnerie ainsi chaînée.

FIGURE 45 : COUPES DE PRINCIPE DE CHÂÎNAGE HORIZONTAL

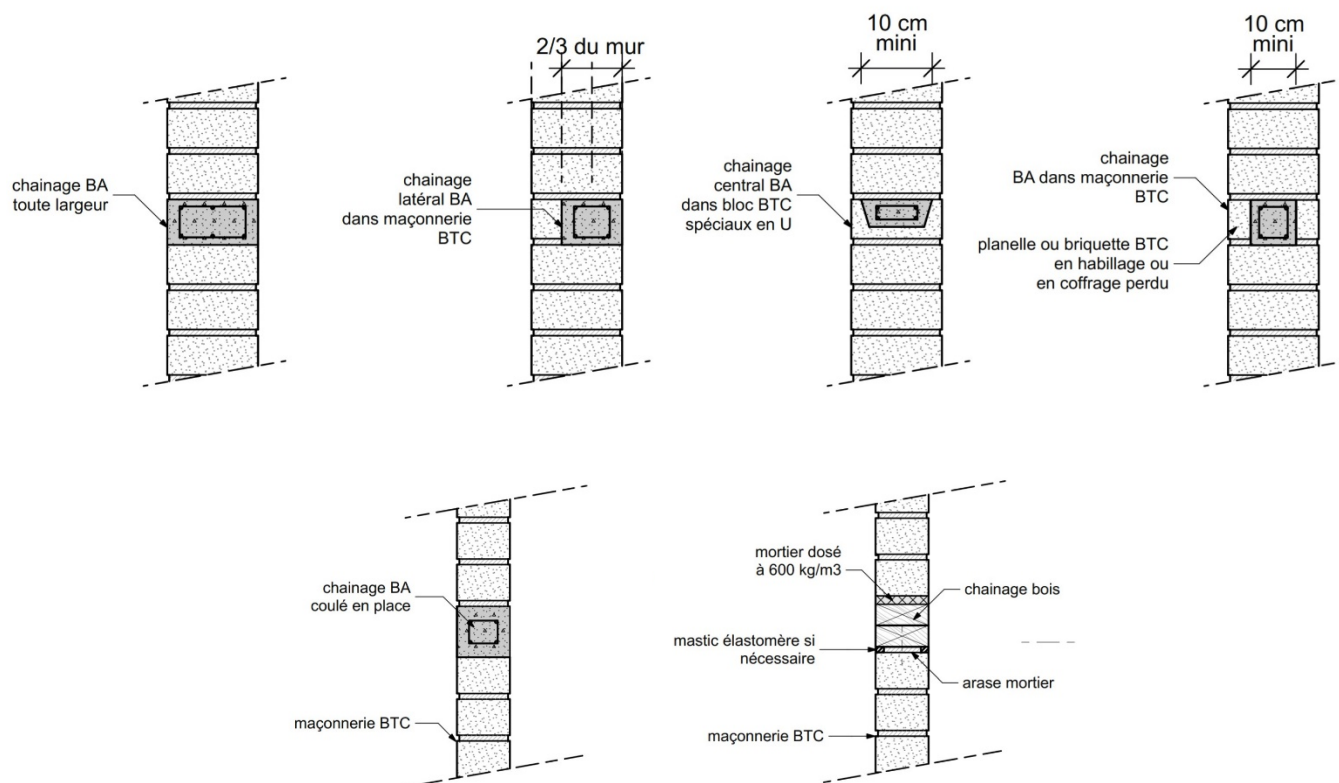
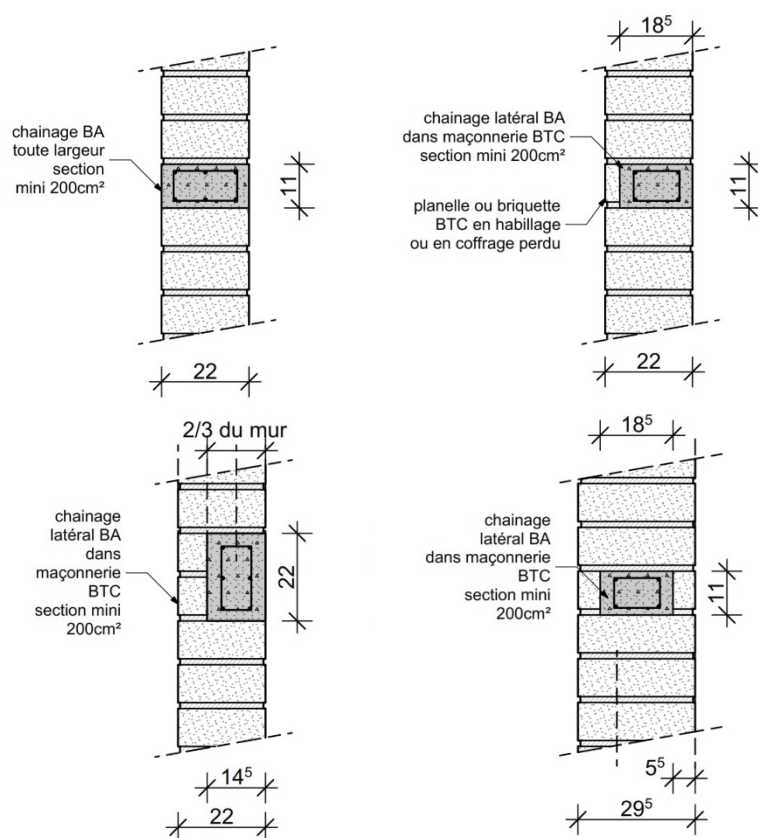


FIGURE 46 : EXEMPLES DE PRINCIPE DE CHÂÎNAGE HORIZONTAL ET DIMENSIONS MINIMALES



4.2.1.2. CHAÎNAGES ET TIRANTS VERTICAUX

Des chaînages verticaux (type tirants ou raidisseurs)¹⁰⁴ doivent être insérés dans les parois et connectés avec les chaînages horizontaux.

Ces chaînages verticaux doivent être réalisés au moins dans les angles saillants et rentrants des maçonneries, ainsi que dans les grandes longueurs (cf. 3.3.3. *Longueur maximale*). Une étude préalable de calepinage précisera leur disposition.

Leurs sections doivent permettre la bonne connexion avec les chaînages horizontaux afin de pouvoir mobiliser les bielles de compression.

L'espacement maximal des chaînages verticaux est limité à 5 m.

FIGURE 47 : PLAN DE PRINCIPES DES CHAÎNAGES VERTICAUX

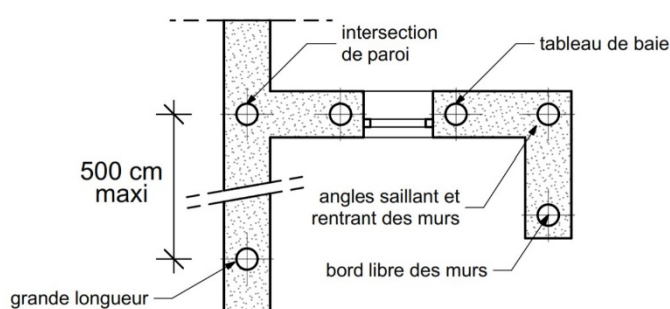
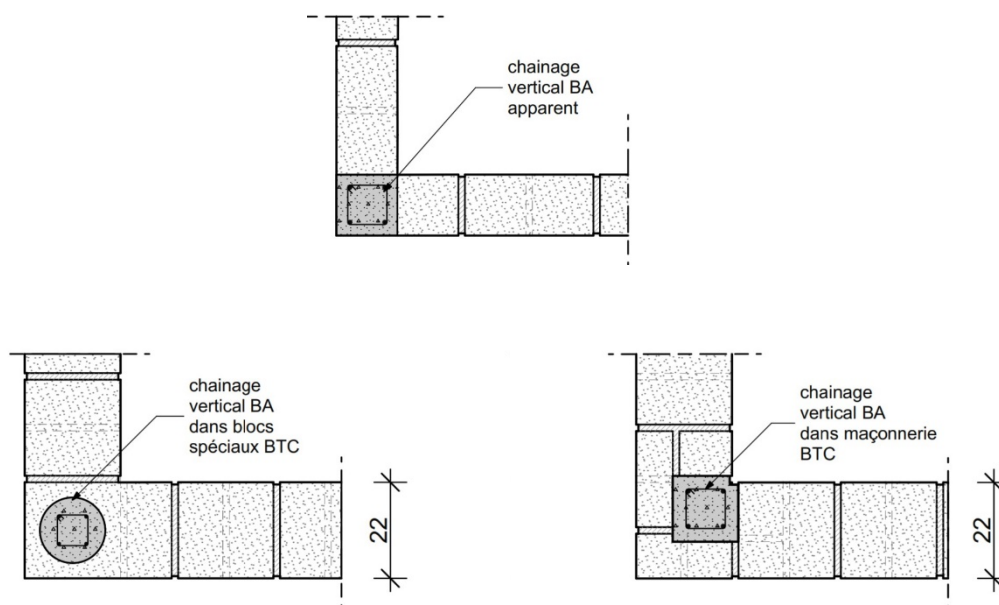
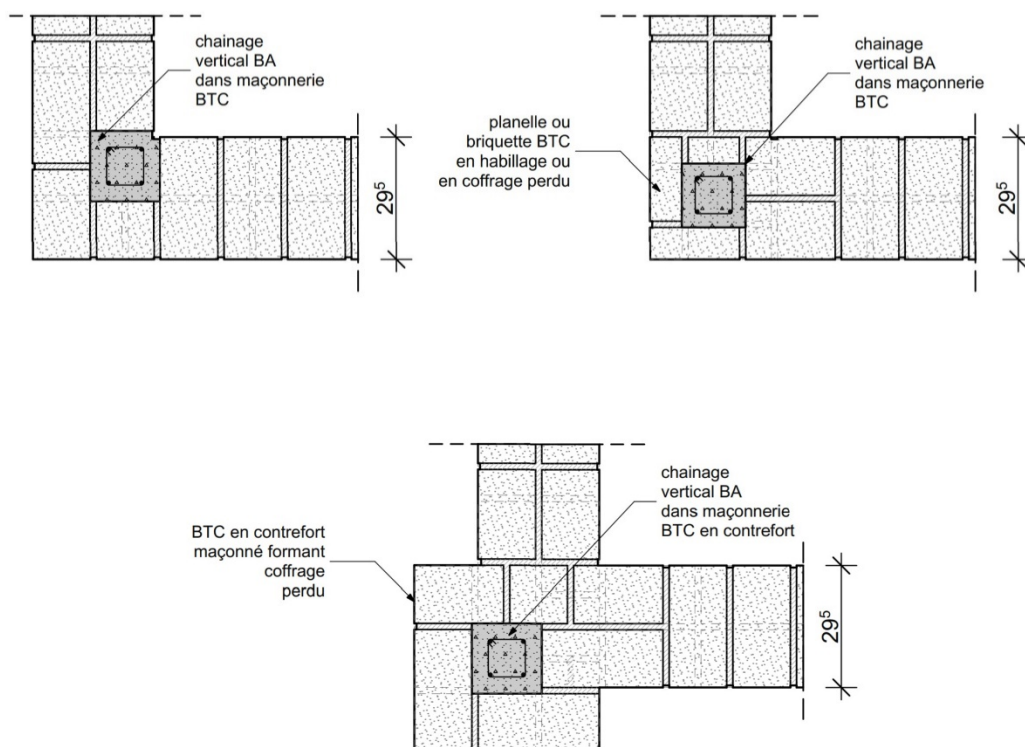


FIGURE 48 : PRINCIPES DE CHAÎNAGES VERTICAUX EN BETON ARME



¹⁰⁴ L'utilité des chaînages verticaux est double : ils ceinturent la maçonnerie en liaison avec les chaînages horizontaux et s'opposent, par ailleurs, au soulèvement des dalles de planchers en béton armé dans les angles en réponse aux sollicitations sismiques et à la poussée des vents.

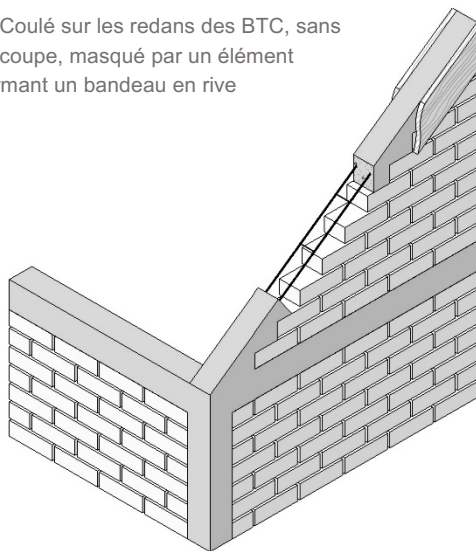


4.2.1.3. CHAÎNAGE INCLINÉ

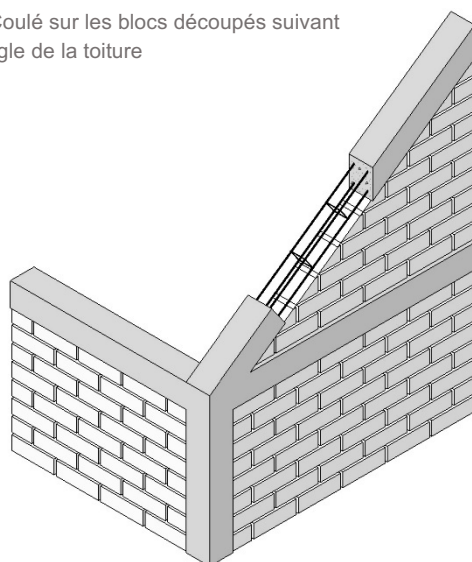
Dans le cas des pointes de pignon, un chaînage de couronnement incliné couronnera le mur. L'armature sera liée à celle des chaînages verticaux ou horizontaux.

FIGURE 49 : PRINCIPES DE CHAÎNAGE INCLINÉ EN BETON ARMÉ

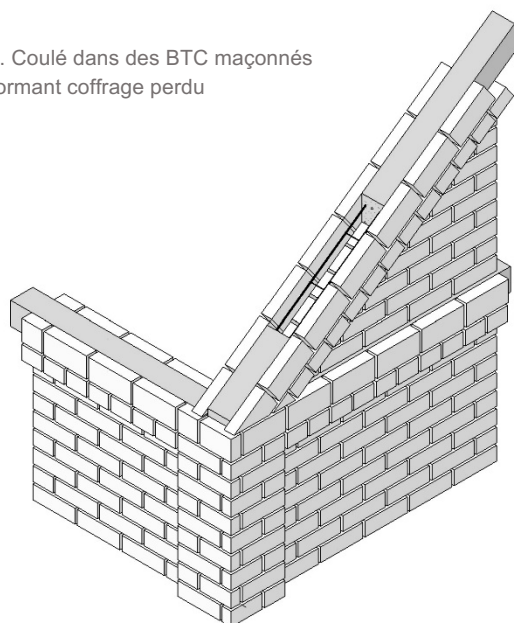
a. Coulé sur les redans des BTC, sans découpe, masqué par un élément formant un bandeau en rive



b. Coulé sur les blocs découpés suivant l'angle de la toiture



c. Coulé dans des BTC maçonnés formant coffrage perdu

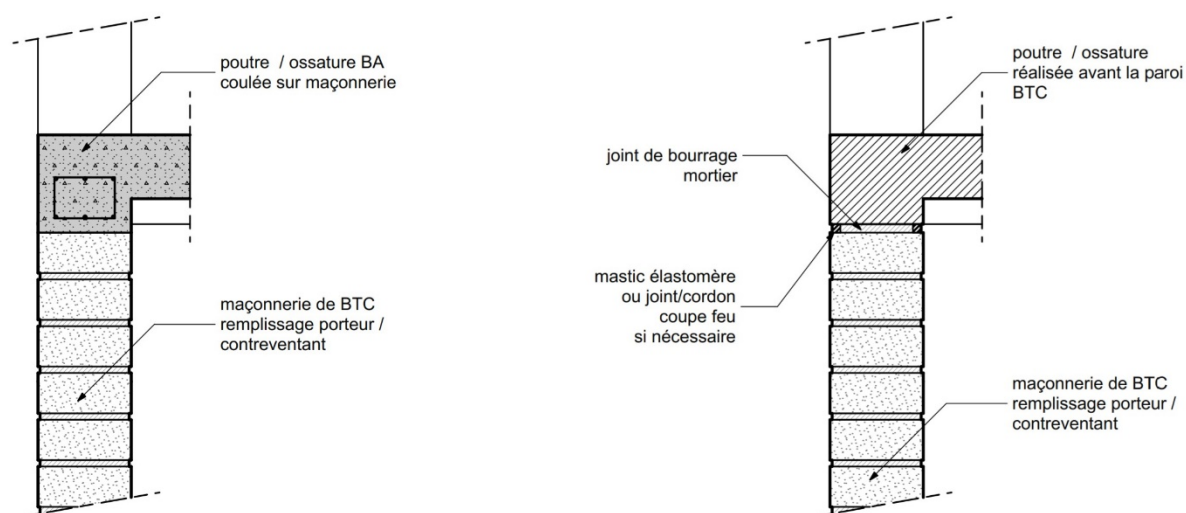


4.2.2. JONCTION AVEC UNE OSSATURE

Lorsqu'un remplissage en BTC est conçu comme porteur ou assurant le contreventement de la construction d'une ossature, il ne devra pas subsister de vide à la jonction entre les murs et l'ossature, poteaux et poutres. Lorsque celle-ci est en béton armé, elle peut être coulée après la réalisation de la maçonnerie. Dans le cas contraire, les jonctions entre mur et ossature devront soigneusement être bourrées au mortier.

Dans tous les cas, les détails spécifiques de la jonction entre l'ossature et le mur devront permettre de garantir si nécessaire l'étanchéité de la jonction à l'eau, à l'air, et au feu. La jonction pourra par exemple être complétée par un mastic élastomère pour garantir l'étanchéité des joints.

FIGURE 50 : JONCTION AVEC UNE POUTRE HAUTE D'UNE OSSATURE



4.2.3. APPUIS DES POUTRES, PLANCHERS ET CHARPENTES

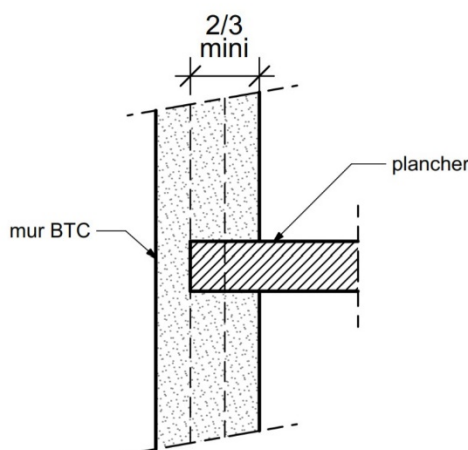
La profondeur d'appui des poutres, planchers et charpentes sur les parois porteuses est, sauf justification, au moins égale aux deux tiers ($\frac{2}{3}$) de l'épaisseur des parois sans être inférieure à 15 cm, enduits non compris. Si la répartition de l'appui est ponctuelle, dans tous les cas, sa surface sera d'au minimum 400 cm².

En tout état de cause, les surfaces d'appui devront être suffisantes pour respecter les charges limites admissibles (voir partie 2.3.1. Résistance à la compression)

Quel que soit le type de charge appliquée, on évitera dans la mesure du possible tout appui ponctuel concentré au nu d'un angle saillant du mur.

Pour tous les types de charges, il est fortement conseillé de les répartir sur la surface de mur la plus importante possible.

FIGURE 51 : COUPE DE PRINCIPE - PROFONDEUR D'APPUI



4.2.3.1. LIAISON PLANCHER-MUR

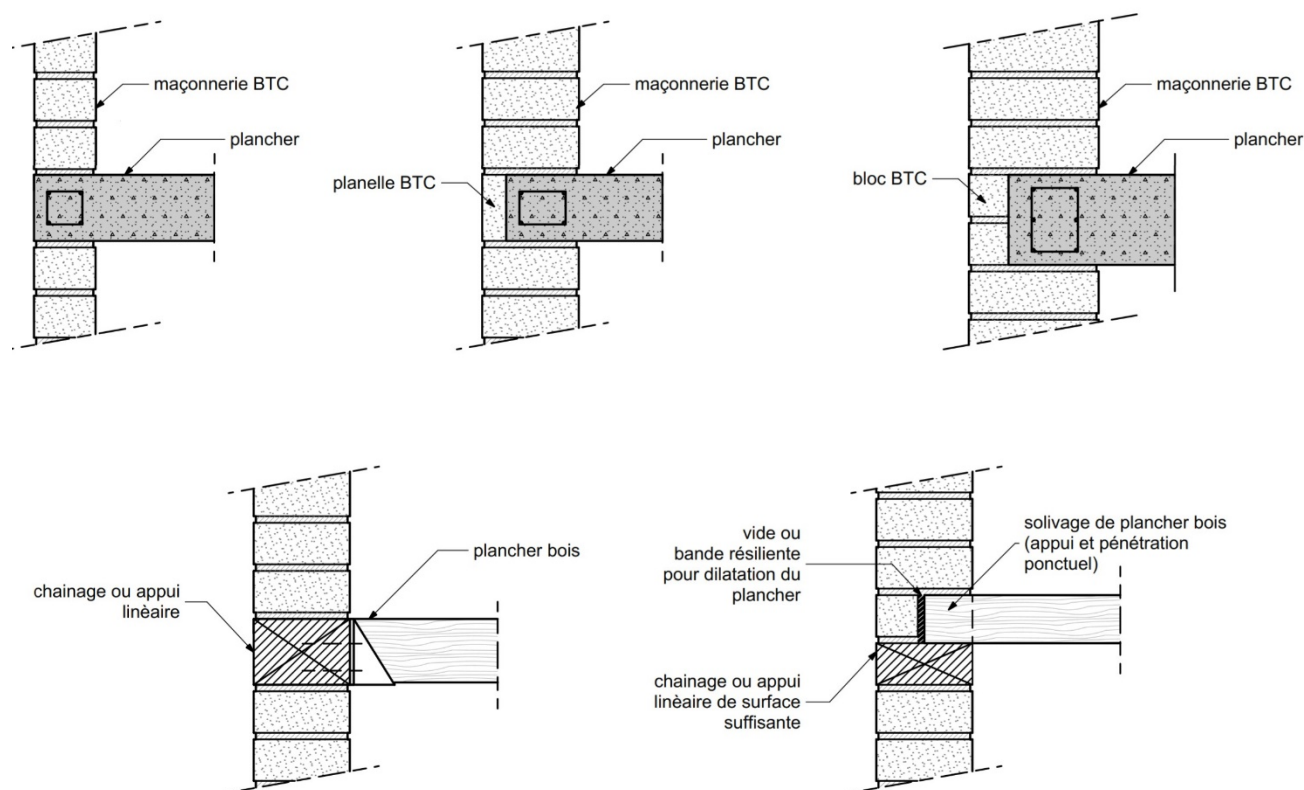
La maçonnerie en blocs de terre comprimée est destinée à supporter le plus souvent, des planchers de conception classique : ossature bois, poutrelles et hourdis en béton ou terre cuite, dalles portantes béton armé coffrées en place ou préfabriquées, etc.

Du point de vue structural, un plancher doit supporter les charges statiques d'utilisation, les charges concentrées (risques de poinçonnement) et doit transmettre ces charges vers son support porteur en blocs de terre comprimée. Ces charges doivent être uniformément réparties et orientées vers le centre de gravité du mur porteur.

La liaison entre le plancher et le mur qui le soutient se fait par l'intermédiaire d'un élément d'appui répartissant les charges, qui peut être constitué d'un sommier ou d'une ramasse (métal, bois, béton...).

Ce dispositif devra dans tous les cas assurer la liaison continue linéaire et surfacique pour le transfert des charges sans phénomène de poinçonnement.

FIGURE 52 : COUPES DE PRINCIPE – EXEMPLES DE DISPOSITIONS DES PLANCHERS



Les liaisons entre maçonneries BTC et planchers de grandes dimensions ou susceptibles de prendre des flèches importantes doivent être particulièrement étudiées. Des phénomènes de vibrations, de rotations à l'appui¹⁰⁵ et de dilatations hydriques et thermiques¹⁰⁶ peuvent apparaître. Des tolérances sont donc nécessaires.

Il est nécessaire d'établir un bon rapport charge / portée / section et de poser ou connecter le plancher à un chaînage. Il faudra par exemple éviter les encastresments partiels lorsque les risques de rotation sont importants ou ménager des joints de dilatation entre BTC et planchers bois qui sont soumis à des variations dimensionnelles.

Dans le cas où des éléments particuliers d'ancrage mécanique sont utilisés, tels qu'attaches, brides de fixation, étriers de support et consoles, ils devront être conformes à la norme NF EN 845-1.

D'un point de vue thermique, il peut être important de prendre en compte les éventuels ponts thermiques dans la conception des liaisons mur/plancher. La variation du comportement hydrique et thermique des matériaux du plancher et du mur peut provoquer l'apparition de condensation. Ce risque est faible à Mayotte, mais il faudra l'étudier dans le cas des locaux à forte hydrométrie ou à température « basse », comme des locaux climatisés. Une absence de contact direct entre le corps de charpente du plancher et le mur. Un chaînage intégré dans le mur réservant un parement extérieur en blocs de terre, permet de limiter ce risque.

¹⁰⁵ La rotation aux appuis intervient lorsque le plancher prend de la flèche. On observe alors un soulèvement, un décentrement des charges, des fissures et un écrasement au support. Pour empêcher la rotation, il faut rétablir un bon rapport charge / portée / section et poser le plancher sur un chaînage. Il faut être très attentif au risque de soulèvement aux angles dans le cas d'une dalle qui porte sur ses quatre côtés.

¹⁰⁶ L'absence de contact direct entre le corps de charpente du plancher et le mur en blocs de terre comprimée permet de lever ce risque.

4.2.3.2. APPUIS DES ÉLÉMENTS DE CHARPENTE EN ACIER OU EN BOIS

La partie supérieure des murs doit être munie d'un chaînage continu formant une ceinture périphérique et qui servira d'appuis aux éléments de charpente.

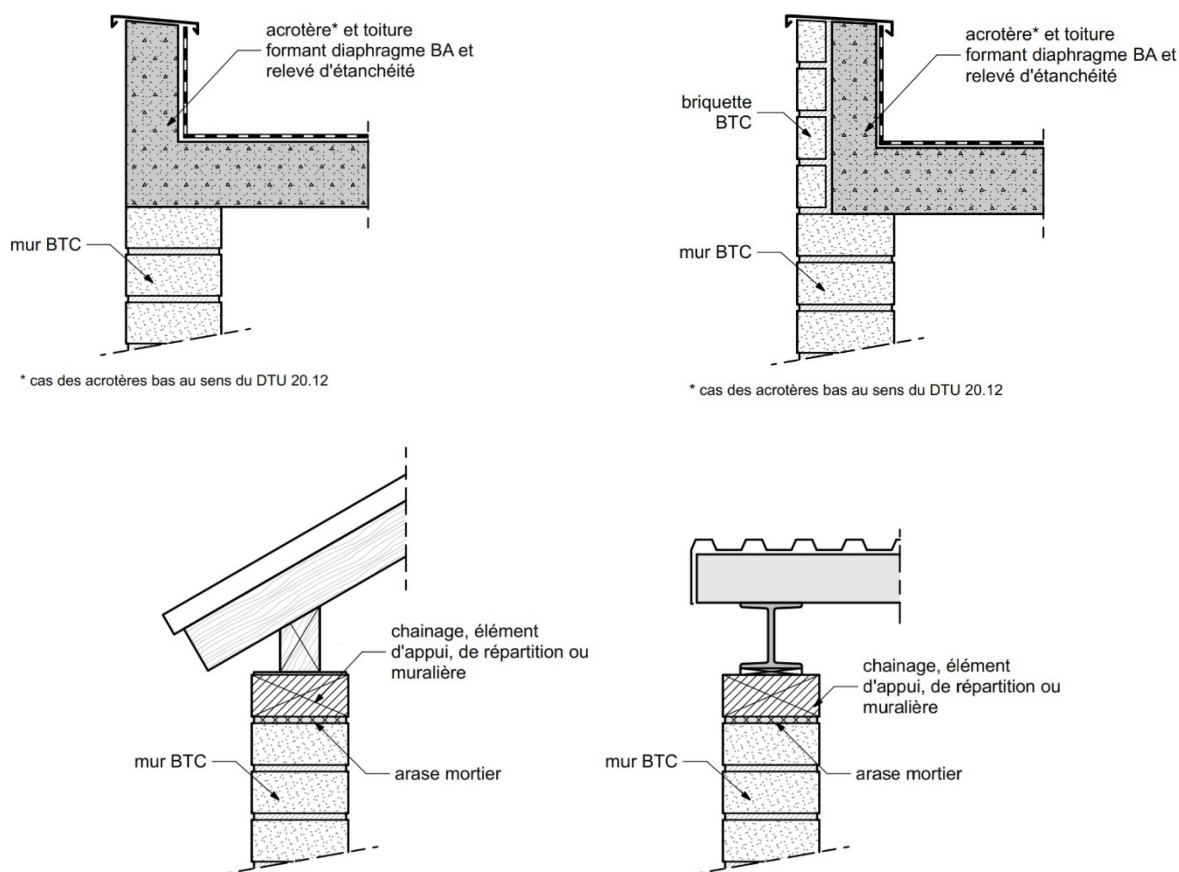
Dans le cas contraire,¹⁰⁷ une étude spécifique est nécessaire.

Le dispositif d'appui devra dans tous les cas assurer la liaison continue linéaire et surfacique pour le transfert des charges sans phénomène de poinçonnement.

Les ancrages de la toiture doivent être particulièrement soignés du fait des contraintes cycloniques et toujours être repris dans le chaînage¹⁰⁸ avec un agrafage en liaison continue avec le chaînage vertical lui-même ancré en infrastructure.

Les organes de liaison¹⁰⁹ doivent être conformes à la norme NF DTU 20.1 P1-2 (CGM) ou à la norme NF EN 845-1 et sont déterminés en commun avec le charpentier.

FIGURE 53 : COUPES DE PRINCIPE — EXEMPLES DE DISPOSITIONS POUR ASSURER LA LIAISON MUR – TOITURE : TOITURE TERRASSE AVEC ACROTÈRE EN BETON ARMÉ (BA), CHARPENTE BOIS, CHARPENTE MÉTAL



107 Pour les éléments de charpente en bois, on utilisera, par exemple, des traverses en bois fixées dans la maçonnerie ou des corbeaux ou étriers. Le type et le nombre de fixations seront déterminés selon les charges et le matériau de maçonnerie. On évitera en général, sauf accord du fabricant, de les fixer dans des éléments creux de maçonnerie.

108 En l'absence de plancher, la charpente devra être dimensionnée et contreventée en conséquence afin de recréer un diaphragme de contreventement.

109 Aucun principe de chevillage mécanique ou chimique ne sera pris en compte dans le calcul du cisaillement/traction pour les ancrages dans les BTC (sauf essai in situ par le fournisseur).

4.3. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PARTICULIÈRES POUR LES MURS DE REMPLISSAGE NON PORTEURS

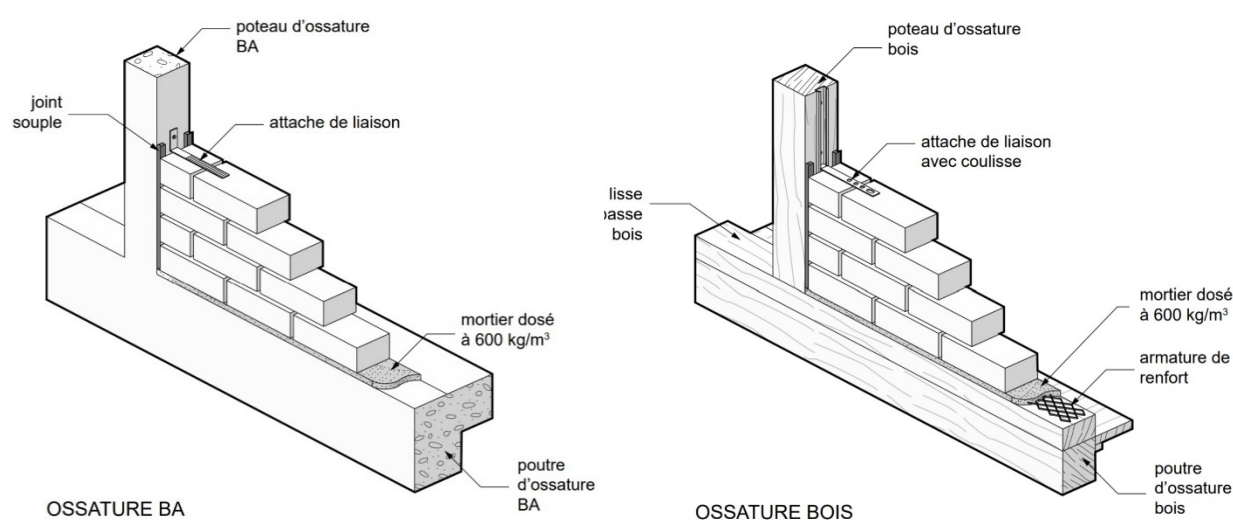
4.3.1. JONCTION BASSE AVEC L'OSSATURE PORTEUSE

Seule l'ossature assurera la connexion structurelle avec les planchers.

Dans le cas d'un remplissage maçonné sur un support en béton¹¹⁰, bois ou métal (soubassement, poutre ou lisse basse d'ossature, dallage, etc.) le lit de mortier recevant la première assise de maçonnerie sera constitué d'un mortier de sable/ciment dosé à 600 kg/m³.

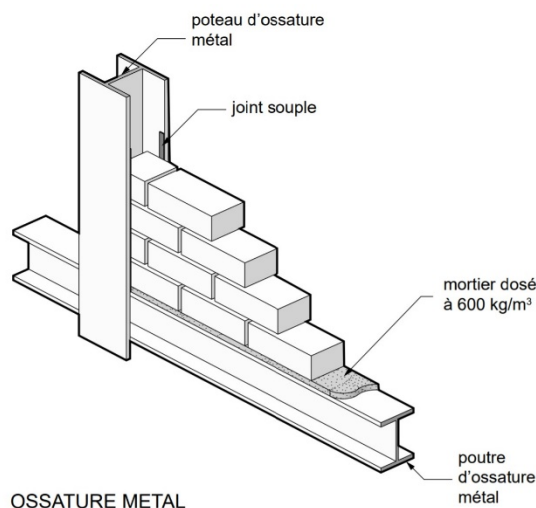
Dans le cas d'un remplissage en pan de maçonnerie mis en œuvre sur une pièce de structure horizontale en bois comme la lisse basse de l'ossature, une armature de renfort sera intégrée au lit de mortier recevant cette première assise de maçonnerie. L'armature de renfort est disposée dans l'épaisseur du joint de montage horizontal. Elle est choisie avec une épaisseur (ou un diamètre) inférieure ou égale à la moitié de l'épaisseur du joint de montage¹¹¹.

FIGURE 54 : SCHÉMAS DE PRINCIPE — JONCTION BASSE AVEC L'OSSATURE PORTEUSE – BA / BOIS / MÉTAL



110 Uniquement si celui-ci se situe au niveau du sol intérieur fini. Il s'agira dans le cadre des ossatures béton de se référer aux dispositions constructives des parties 4.1.1. *Protection contre les remontées d'humidité en pied de mur (murs extérieurs)* et 4.1.5. *Protection intérieure au niveau des planchers*

111 Cette disposition permet de limiter la fissuration possible du mortier de joint due au mouvement différentiel – dilatation / gonflement - avec le bois. La finition extérieure du joint pourra être complétée par un mastic élastomère et éventuellement l'ajout de dispositif de protection vis-à-vis de l'eau de pluie (e.g. bavette de protection)



4.3.2. JONCTION HAUTE AVEC L'OSSATURE PORTEUSE

Seule l'ossature assurera la connexion structurelle avec les planchers.

La jonction entre ossature et remplissage doit permettre de garantir la stabilité de la maçonnerie et, si nécessaire, l'étanchéité de la jonction à l'eau, à l'air, et au feu.

Le remplissage en maçonnerie de BTC doit être tenu en tête pour éviter de déversement tout en étant désolidarisé de la structure primaire afin de se prémunir d'une mise en charge des panneaux de remplissage.

Cette désolidarisation sera obtenue de préférence par un vide d'une épaisseur minimum de 10 mm, associé ou non à la présence de Compriband, de laine minérale de faible densité, de bandes résilientes de désolidarisation, etc..

Les pans de mur non porteurs discontinus seront tenus en tête à l'ossature soit :

- CAS 1 : par des systèmes linéaires régnant sur la longueur du mur de type feuillure, cornière ou pièces d'ossature rapportée. Ces éléments étant solidaires de l'ossature ;
- CAS 2 : par des systèmes de liaisons ponctuelles réalisées par des attaches d'ancrage de type feuillard, fil, vis pointe ou goujon réparties régulièrement sur la longueur du mur ;
- CAS 3 : par une mixité des 2 systèmes précédents.

4.3.2.1. CAS 1 — SYSTÈMES LINÉAIRES : PROFIL DE L'OSSATURE ET/OU PIÈCES RAPPORTÉES

L'ossature peut présenter un profil, formant un U en section, destiné à recevoir les blocs maçonnés de telle sorte que le dernier rang soit tenu en tête et que la maçonnerie ne puisse basculer.

Ce profil en U peut être obtenu :

- Par l'assemblage d'éléments horizontaux rapportés sur les côtés de l'ossature primaire :
 - En bois : pièces horizontales en contact direct de l'ossature primaire ou moisant le mur
 - Métallique – plat, cornières en L, U par exemple.
- Par la réalisation dans l'ossature primaire d'une d'une feuillure en L, recevant les BTC, et la fixation mécanique d'une pièce horizontale assemblée à l'ossature, maintenant la face libre des BTC, et fermant ainsi le profil en U.

Il faudra être attentif à la conception du système qui doit permettre la mise en œuvre des blocs en tête de mur, la connexion à l'ossature du dernier élément linéaire de maintien devant être réalisée après la réalisation de la dernière assise.

FIGURE 55 : COUPES DE PRINCIPES SCHÉMATIQUES DES LIAISONS LINÉAIRES EN TÊTE DE MUR — OSSATURE BA, BOIS, MÉTAL

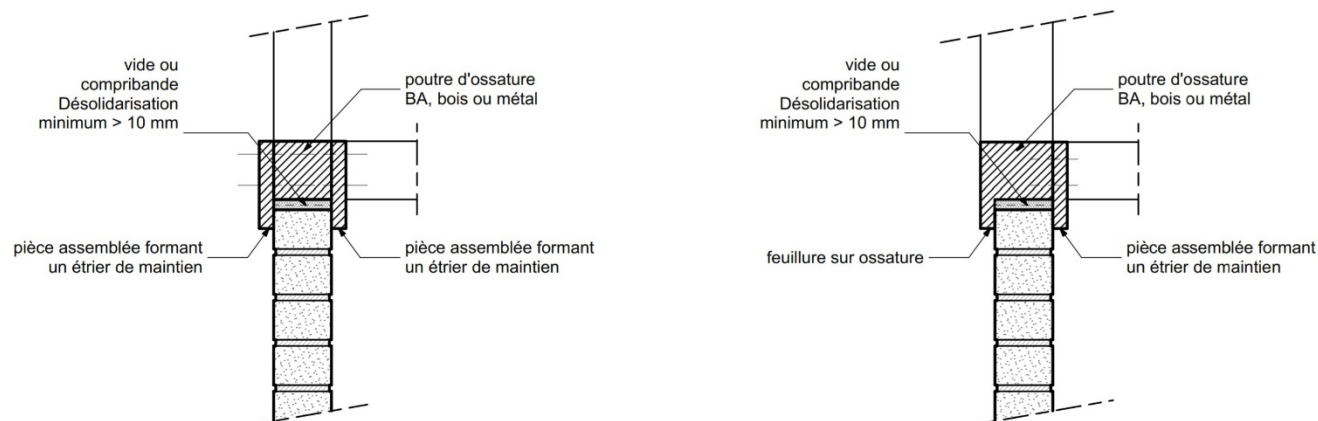
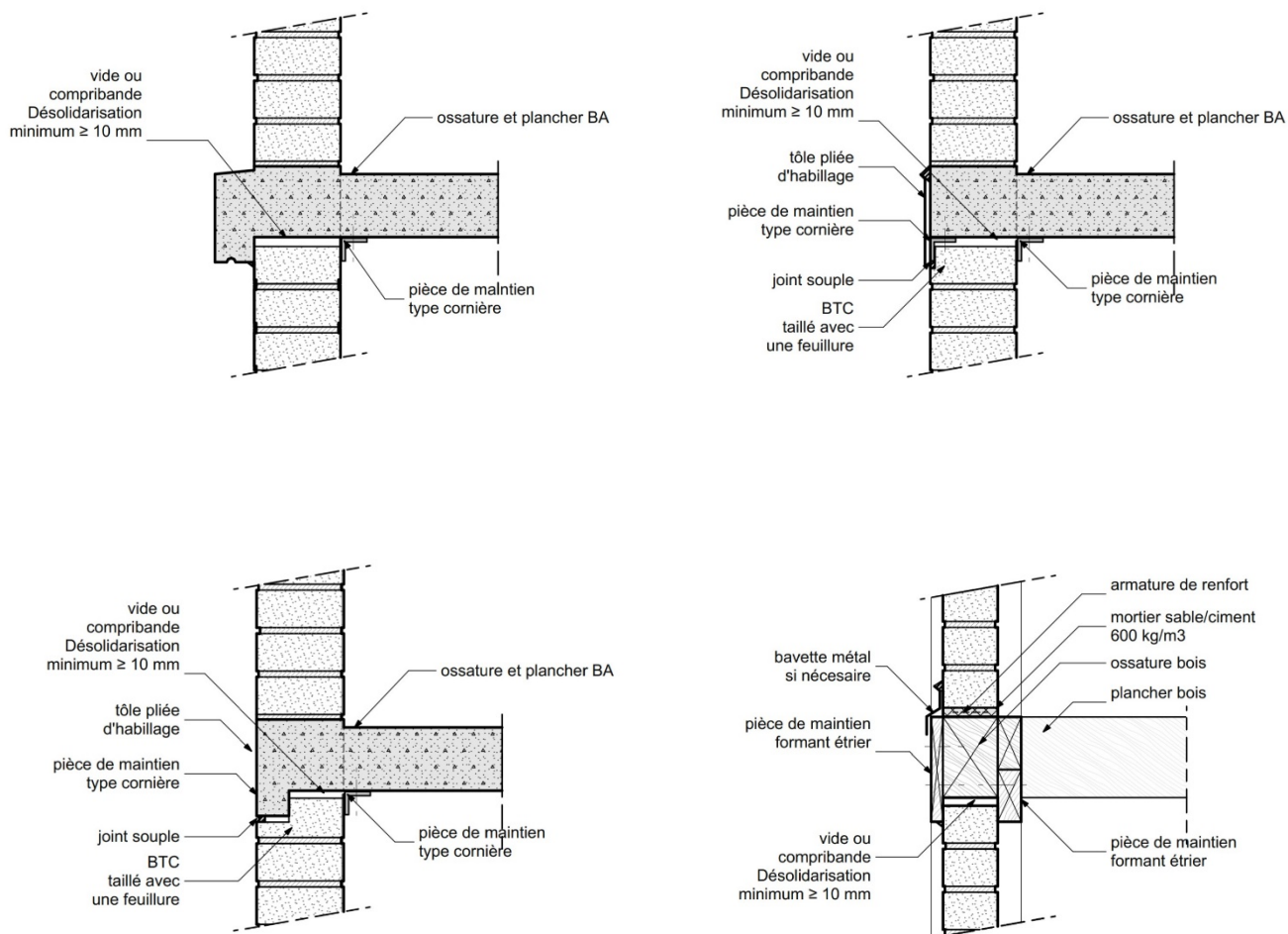
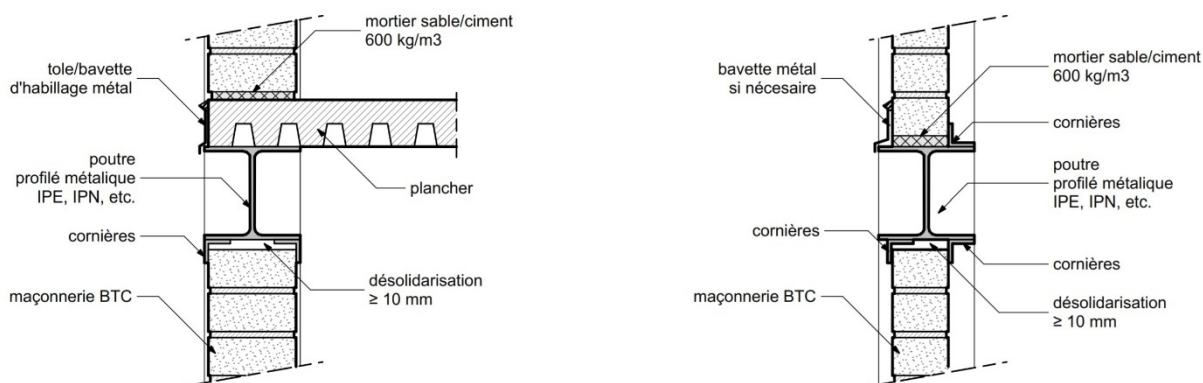


FIGURE 56 : QUELQUES EXEMPLES DES LIAISONS LINÉAIRES EN TÊTE DE MUR — OSSATURE BA, BOIS, MÉTAL





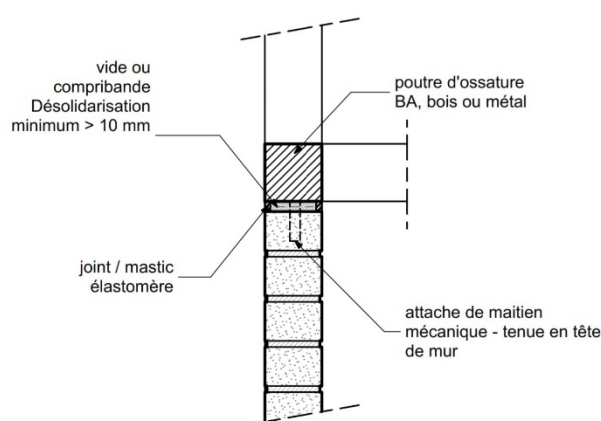
4.3.2.2. CAS 2 — SYSTÈMES DE LIAISONS PONCTUELLES : ATTACHES DE LIAISONS

Dans le cas 2, les attaches ponctuelles sont disposées régulièrement et espacées d'une distance maximum d'entraxe de 2 longueurs de blocs ou 62 cm (i.e. équivalent à deux longueurs pour des blocs de L : 29,5 cm).

Les attaches sont réparties uniformément sur la longueur des éléments horizontaux d'ossatures et scellées au fur et à mesure du montage dans le mortier des joints verticaux.

Le nombre d'attaches, leur répartition et leur type (caractéristiques mécaniques et dimensions) seront choisis en fonction des performances de résistance à atteindre.

FIGURE 57 : COUPE DE PRINCIPLE SCHÉMATIQUE - OSSATURE BÉTON, BOIS OU MÉTAL / LIAISONS EN TÊTE DE MUR PAR ATTACHES PONCTUELLES



On utilisera des éléments en métal : vis, goujon crête adaptés ou encore attaches, pattes, plats et équerre (cf. 2.4.4.1. *Attaches, feuillards et ancrages*) d'épaisseur minimale 3 mm et de largeur 20 mm minimum.

On privilégiera, pour la mise en œuvre, des attaches dont la profondeur d'ancrage est compatible avec une hauteur d'assise afin d'éviter des découpes et des calepinages complexes de blocs sur plusieurs assises (cf. figure 58).

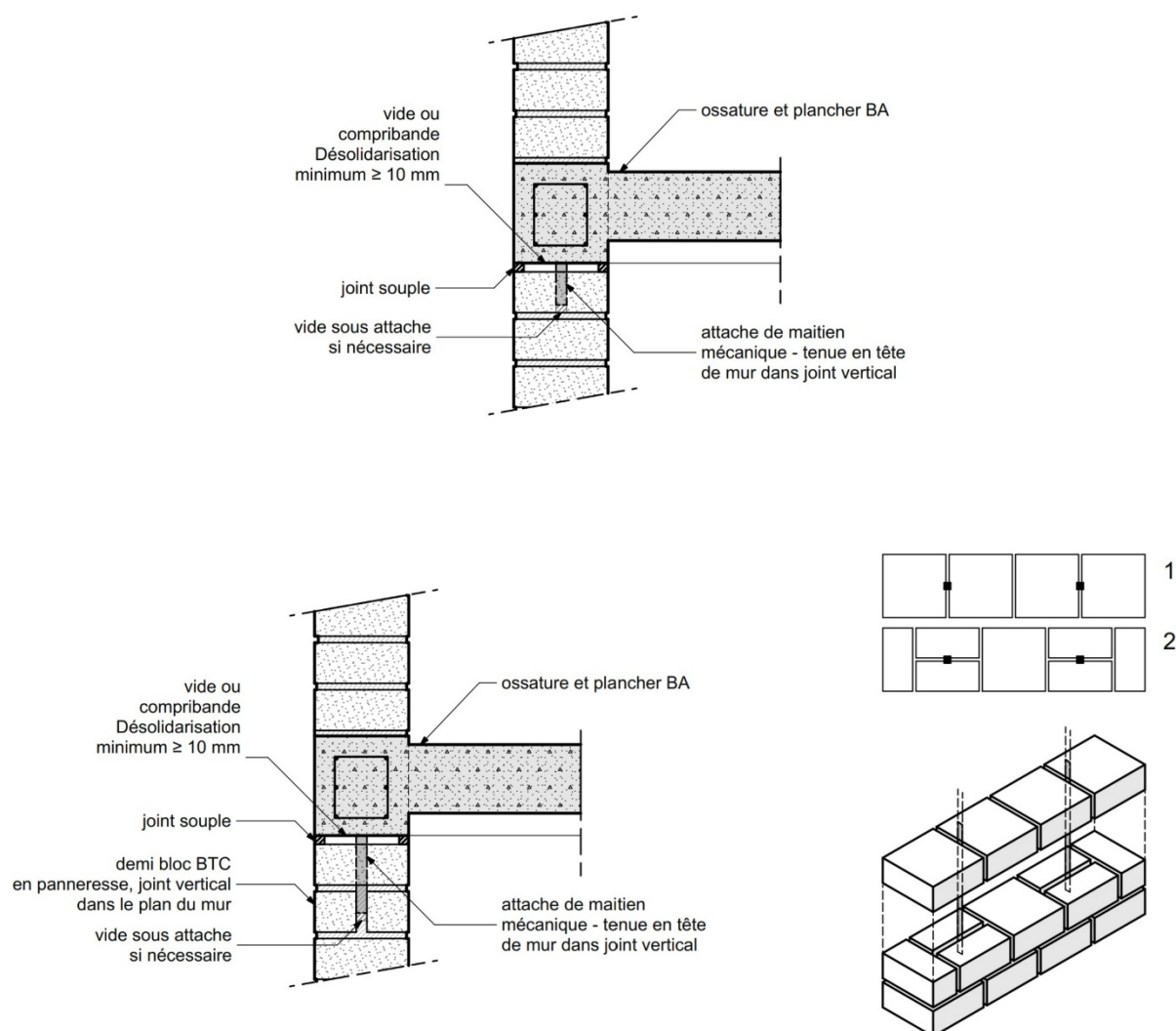
Dans tous les cas, il conviendra de s'assurer que les attaches, suivant leur type, présentent également la possibilité d'un jeu vertical libre d'au minimum 10 mm et qu'elles ne puissent en aucun cas poinçonner la maçonnerie de BTC. Par

exemple pour une équerre « rigide » de liaison, cet espace sous l'équerre dans le joint vertical ne sera pas garni de mortier. Pour cela, un morceau de mousse ou de matériau résilient pourra être placé sous l'équerre au moment de la mise en œuvre.

L'enrobage du côté extérieur des attaches de liaison sera d'au moins 30 mm (avant enduisage éventuel).

Ces attaches de liaison ne peuvent subir que des efforts axiaux (dans le sens horizontal ou vertical).

FIGURE 58 : EXEMPLES DE LIAISON LINÉAIRE EN TÊTE DE MUR — OSSATURE BA



4.3.2.3. TRAITEMENT DU JOINT

Le joint horizontal ossature-remplissage devra, si nécessaire, présenter une conception permettant d'assurer la non-pénétration de l'eau de pluie. Pour cela différentes dispositions constructives peuvent être envisagées : solin, bavette, relief avec goutte d'eau, larmier, etc..

Un joint souple, type mastic élastomère, pourra également être appliqué en finition pour assurer ou renforcer ces dispositions.

Dans le cas où une performance au feu est recherchée, un mastic coupe-feu sera appliqué. (cf. 2.4.1. *Traitement et étanchéité des joints*).

4.3.3. JONCTION AVEC LES POTEAUX DE L'OSSATURE ET LES RAIDISSEURS

Dans le cas d'un remplissage non structurel, celui-ci assurera sa stabilité en liaison avec l'ossature. Cependant le remplissage ne devra pas créer de bielles de contreventement sur l'ossature qui pourraient entraîner un affaiblissement de la structure. Il est impératif de créer des vides ou des espaces de mouvement / glissement entre le remplissage et l'ossature. La jonction entre ossature et remplissage devra là aussi permettre de garantir, si nécessaire, l'étanchéité de la jonction à l'eau, à l'air, et au feu.

La stabilité des murs est renforcée, au droit des éléments verticaux d'ossature, par des éléments de maintien liés à l'ossature primaire :

- CAS 1 : linéaires sur toute la hauteur du mur formant en plan un profil en U (gorge) ou en T (nervure centrale),
- CAS 2 : ponctuels, réalisés par des attaches de maintien
- CAS 3 : par une mixité des 2 systèmes précédents

La résistance mécanique de cette liaison doit permettre d'assurer la stabilité des maçonneries face aux séismes et à l'action du vent.

4.3.3.1. CAS 1 — SYSTÈME LINÉAIRE

Profil de l'ossature en U formant une gorge

L'ossature peut présenter un profil en plan formant un U, destiné à recevoir les blocs maçonnés de telle sorte que les bords de la maçonnerie soient tenus latéralement et que la maçonnerie ne puisse pas basculer.

Ce profil en U peut être obtenu par exemple :

- Par l'utilisation de profilé métallique (U, I, H, etc.) ;
- Par la réalisation d'une gorge, de l'épaisseur de la maçonnerie en BTC, en réservation dans les poteaux béton ou bois ;
- Par l'assemblage d'éléments verticaux rapportés sur les côtés de l'ossature primaire :
 - En bois : pièces en contact direct de l'ossature primaire ou moisant le mur,
 - Métallique – plat, cornières en L, U par exemple ;
- Par une hybridation des systèmes précédents.

Le profil formant une gorge en U ménagera une profondeur minimum de 25 mm de façon à ce que le recouvrement de la maçonnerie se fasse sur une profondeur minimale de 15 mm.

Profil de l'ossature en T formant une nervure centrale

Dans le cas de maçonnerie d'épaisseur supérieure ou égale à 14 cm, les structures verticales de l'ossature peuvent également présenter en plan un profil en T (ou en $\perp$) formant une nervure centrale permettant une liaison par emboîtement avec les blocs. Par exemple, un redent béton, un tasseau bois (de largeur 25 mm et de profondeur 35 mm) ou encore un profil métallique (profondeur 35 mm) pourront être fixés au poteau d'ossature, une rainure est réalisée par sciage et évidement dans le bout des blocs pour recevoir la nervure.

FIGURE 59 : COUPES DE PRINCIPE SCHÉMATIQUE DES SYSTÈMES LINÉAIRES DE MAINTIEN : OSSATURE BA, BOIS, MÉTAL — AVEC PROFIL ADAPTE / FEUILLURE / ASSEMBLAGE

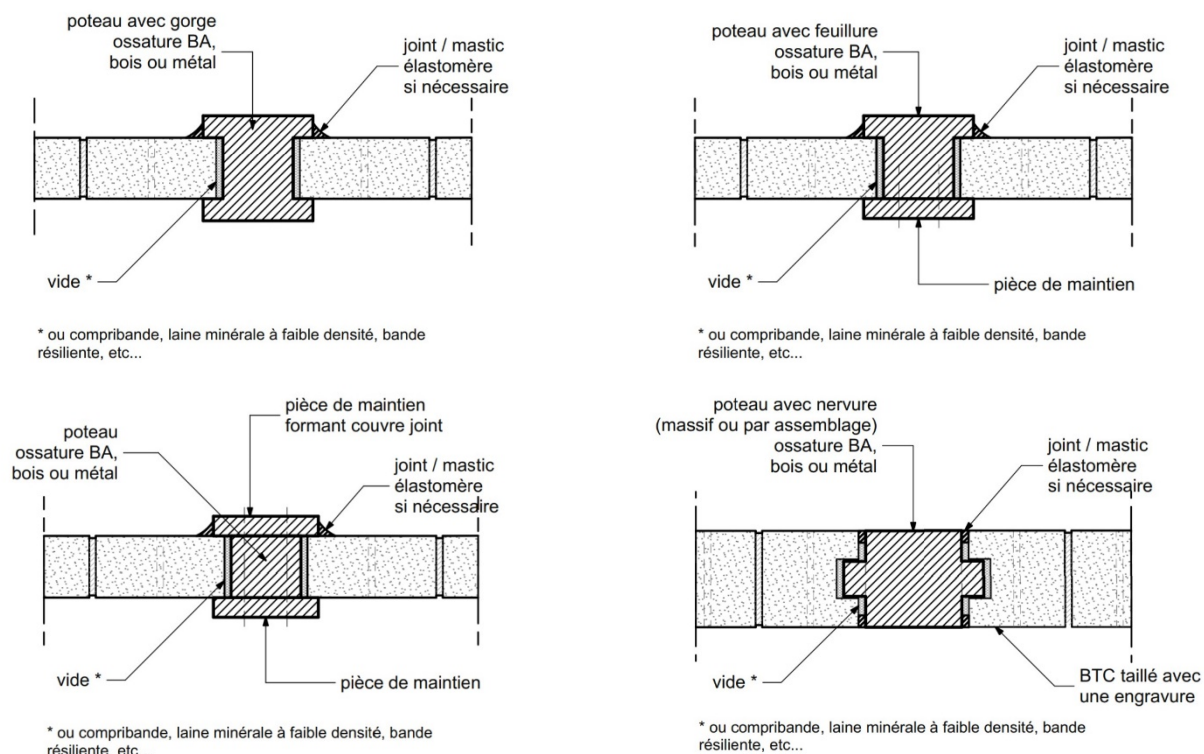
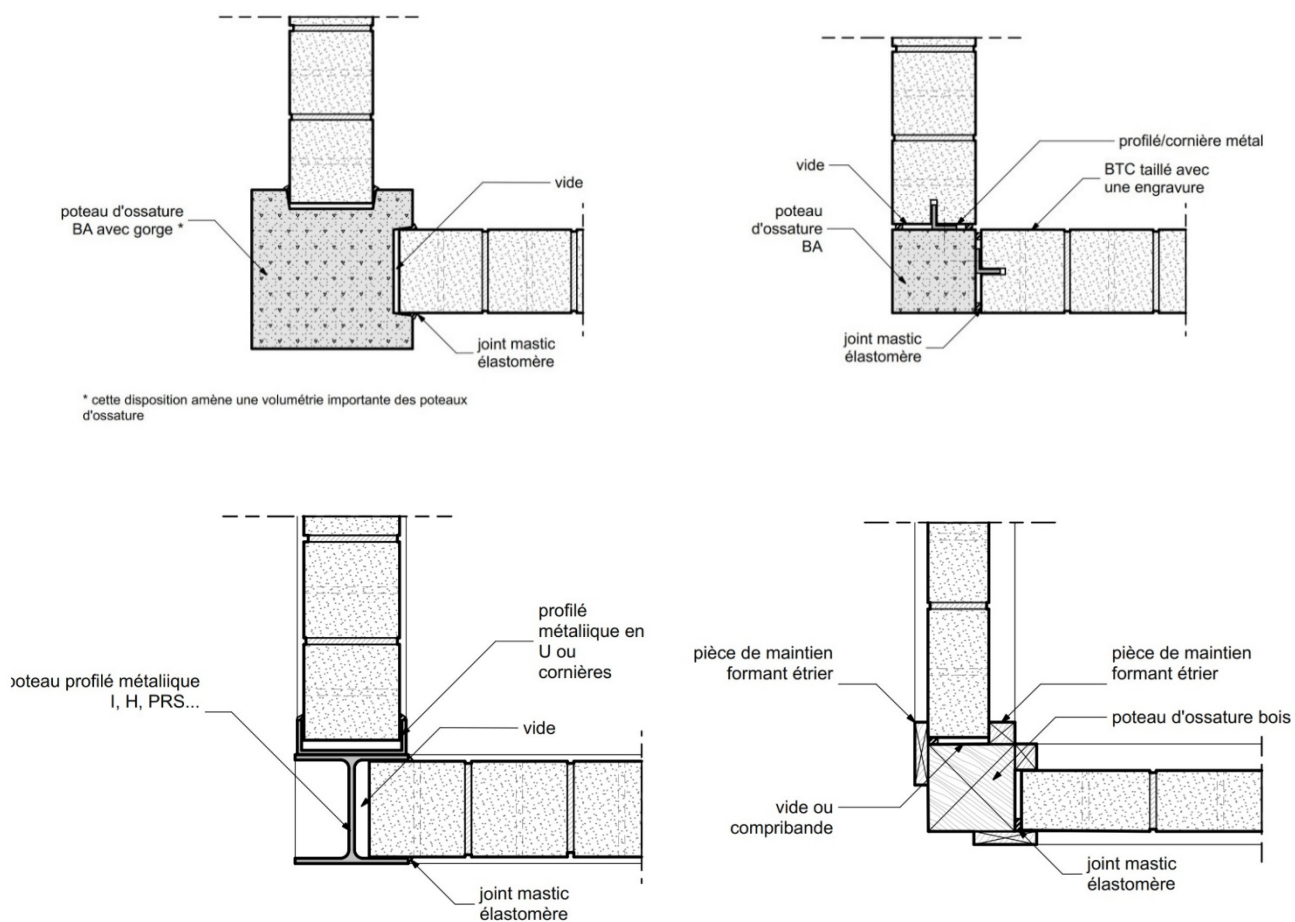


FIGURE 60 : QUELQUES EXEMPLES DES LIAISONS LINÉAIRES DE MAINTIEN À L'OSSATURE — OSSATURE BA, MÉTAL, BOIS



4.3.3.2. CAS 2 — SYSTÈME DE LIAISONS PONCTUELLES : ATTACHES DE MAINTIEN

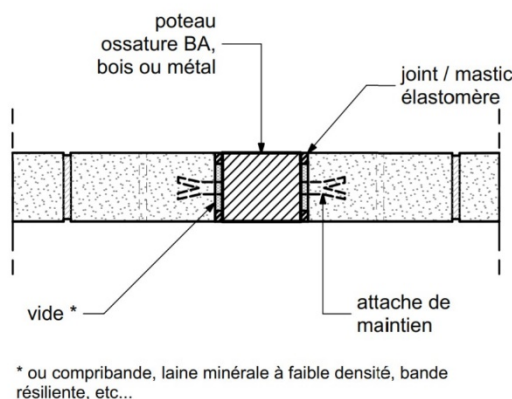
Des éléments de maintien de type attaches de cadres sont liés aux structures verticales de l'ossature et répartis régulièrement sur la hauteur de la paroi. Ils peuvent être réalisés par des attaches d'ancrage métalliques, en acier inoxydable ou galvanisé, de type équerre, feuillard, fil ou pointe.

Elles sont scellées au fur et à mesure du montage dans le mortier des joints horizontaux et sont disposées tous les quatre lits de maçonnerie ou espacées d'une distance maximum de 45 cm.

Les attaches d'ancrage sont fixées mécaniquement aux raidisseurs par des vis et/ou des chevilles adaptées à la nature du matériau et à la résistance recherchée.

Elles sont disposées au plus proche de l'axe du plan du mur, dans le $\frac{1}{3}$ centrale de l'épaisseur de la cloison et doivent présenter une épaisseur (ou un diamètre) inférieure ou égale à la moitié de l'épaisseur du joint de montage.

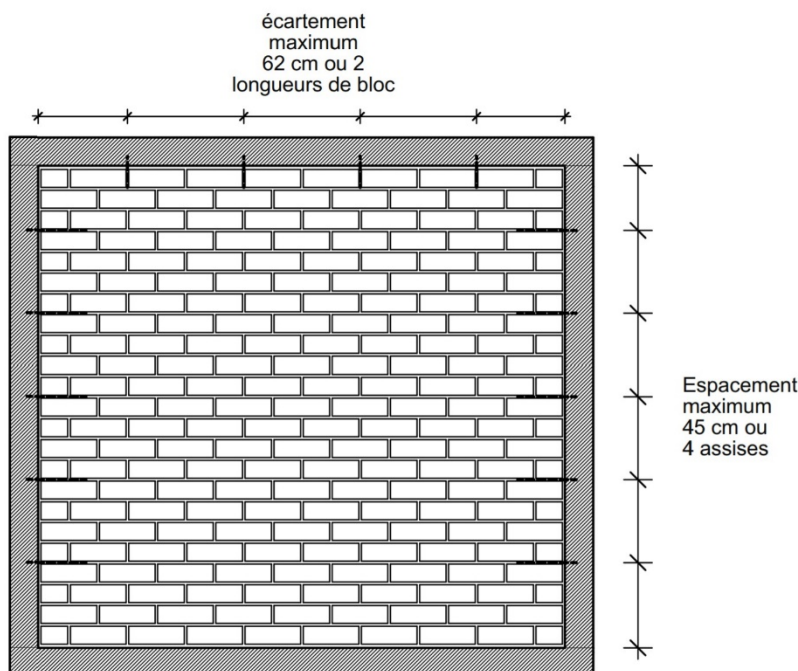
FIGURE 61 : PLAN DE PRINCIPE SCHÉMATIQUE DES SYSTÈMES PONCTUELS DE LIAISONS : OSSATURE BA, BOIS, MÉTAL



Elles doivent également pouvoir absorber un mouvement différentiel entre ossature et maçonnerie de BTC, en particulier dans le cas des structures bois. Pour cela elles doivent présenter des caractéristiques ou des dispositions permettant un jeu vertical millimétrique/infracentimétrique : caractéristique mécanique (i.e. déformation possible), jeu, trou oblong, coulisse, etc..

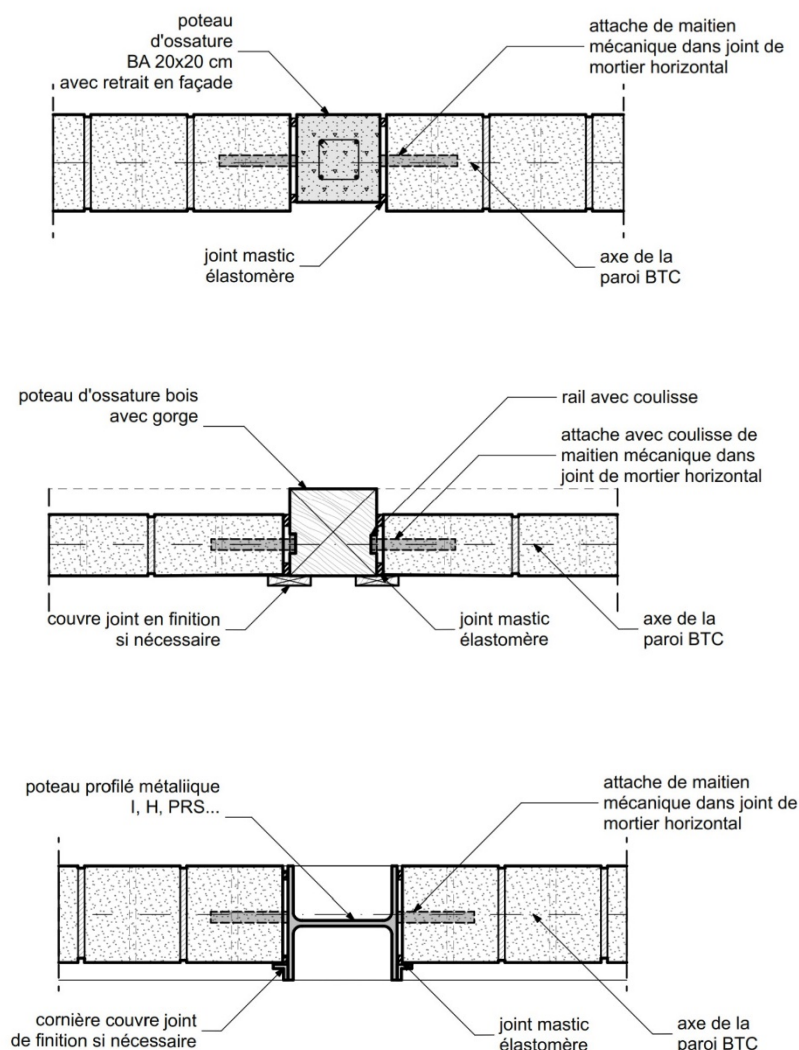
Le type d'attaches, leur nombre et leur espacement doivent être vérifiés par le bureau d'études structure de l'opération.

FIGURE 62 : ÉLEVATION DE PRINCIPE DE LA RÉPARTITION DES ATTACHES DE LIAISON DANS LES DEUX DIRECTIONS



On utilisera par exemple des feuilards d'épaisseur 0,6 mm minimum et de largeur 20 mm minimum. Ils auront une surface striée afin d'améliorer l'adhérence. La longueur d'ancrage, dans le plan du mur, sera d'au minimum de 150 mm, sans être inférieure à la moitié de la longueur d'un bloc. L'enrobage du côté extérieur des attaches de liaison sera d'au moins 30 mm (avant enduisage éventuel).

FIGURE 63 : QUELQUES EXEMPLES DES LIAISONS PONCTUELLES AVEC ATTACHES : OSSATURE BA, BOIS, MÉTAL



4.3.3.3. TRAITEMENT ET ÉTANCHÉITÉ DES JOINTS

Un soin particulier devra être apporté à la conception des joints. Dans le cas de façades exposées au vent et au ruissellement, un joint souple, type mastic élastomère, sera a minima utilisé en fermeture de la jonction pan de maçonnerie / poteau d'ossature. Cette disposition pourra être renforcée par l'utilisation d'un couvre-joint ou le recours à des poteaux avec feuillure.

Dans le cas où une performance au feu est recherchée, un mastic coupe-feu sera appliqué. (cf. 2.4.1. *Traitement et étanchéité des joints*).

Pour les ossatures bois, Il faudra cependant être attentif aux dispositions qui pourraient favoriser le cheminement des termites comme les vides entre poteaux et remplissages.

4.3.4. LIAISON AVEC LES PLANCHERS ET LA TOITURE

Seule l'ossature porteuse assurera une liaison mécanique avec les planchers et la toiture.

Le débord de toiture doit respecter les dispositions et dimensions minimales énoncées partie 4.1.8. *Débord de couverture minimum*,

La liaison mur/plancher doit respecter les dispositions de protection énoncées à la partie 4.1.5. *Protection intérieure au niveau des planchers*.

4.4. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PARTICULIÈRES POUR LES CLOISONS

Pour l'ensemble des cloisons, les dispositions projetées devront être conformes au guide « Dimensionnement parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti » - MEDDE, juillet 2013

En particulier :

- Les cloisons doivent recevoir un encadrement par des raidisseurs ou chaînages en béton armé, métal ou bois. La jonction de deux cloisons perpendiculaires doit être réalisée par harpages alternés à tous les lits, ou par toutes dispositions constructives équivalentes.
- La plus grande dimension des panneaux délimités par des raidisseurs ne doit pas dépasser 4 m. Il conviendra de respecter, pour les épaisseurs de cloison inférieures à 14 cm les longueurs maximales autorisées dans la partie 3.3.3.
- La cloison doit être maintenue en tête pour éviter tout renversement.

4.4.1. RAIDISSEURS

Des raidisseurs ou des chaînages, en béton armé, métal ou bois, sont systématiquement disposés à chaque extrémité de la cloison (pas de bords libres).

Les types de raidisseurs proposés sont illustrés à travers le cas d'une maçonnerie simple. Dans le cas de cloisons doubles ou doublées, les mêmes types de raidisseurs doivent être mis en œuvre. De plus, dans le cas des cloisons doubles et lorsqu'une performance acoustique est souhaitée, les positions des raidisseurs des 2 parois doivent être décalées dans le plan du mur.

Types de raidisseurs

Lorsque la longueur de la paroi dépasse le maximum autorisé, il est nécessaire d'utiliser un raidisseur. Sont considérés comme raidisseur :

- Les poteaux ou murs faisant partie de la structure porteuse ;
- Les ossatures en bois ou métal, fixées en pied et en tête ;
- Des raidisseurs BA ;
- Les refends et retours de cloison en BTC de mêmes natures liées perpendiculairement par harpage avec la cloison à raidir et d'une longueur minimum égale à $\frac{1}{5}$ de la hauteur de la cloison ;
- Les huisseries à impostes fixées en pied et en tête.

Dimensions indicatives des raidisseurs

Les dimensions des raidisseurs seront adaptées à l'épaisseur de la cloison, avec par exemple, comme dimensions minimum indicatives :

- Pour les raidisseurs béton armé : 95 x 140 mm ou 140 x 140 mm pour les maçonneries respectivement de 9,5 cm et 15 cm d'épaisseur
- Pour les raidisseurs bois : 95 x 80 mm pour les maçonneries de 9,5 cm d'épaisseur ou 140 x 80 mm pour les maçonneries de 14 cm d'épaisseur
- Pour les raidisseurs métal : UPE 120 + cornières ou IPE 120, ou tube 100x100 mm pour les maçonneries de 9,5 cm d'épaisseur

Dans tous les cas, le BET structure de l'opération s'assurera que ces raidisseurs conviennent d'un point de vue mécanique.

Profil des raidisseurs

Les raidisseurs en bois et en métal doivent avoir un profil formant un U en section (gorge) destiné à recevoir les blocs maçonnés.

Ce profil en U peut être obtenu :

- Par l'utilisation de profilé métallique (U, I, H, etc.) ;
- Par la réalisation d'une gorge, de l'épaisseur de la maçonnerie en BTC, en réservation dans les poteaux ;
- Par l'assemblage d'éléments verticaux rapportés en bois ou en métal des deux côtés du poteau ;
- Par une hybridation des deux systèmes : réalisation dans le poteau d'une feuillure en L, recevant les BTC, et fixation mécanique d'une pièce verticale assemblée à l'ossature, maintenant la face libre des BTC et fermant ainsi le profil en U.

Le profil formant une gorge en U ménagera une profondeur minimum de 15 mm de façon à ce que le recouvrement de la maçonnerie se fasse sur une profondeur minimale de 8 mm.

Dans le cas de maçonnerie d'épaisseur supérieure ou égale à 14 cm, les raidisseurs peuvent également présenter en plan un profil en T (ou en $\perp$) formant une nervure centrale permettant une liaison par emboîtement avec les blocs. Par exemple un redent béton, un tasseau (de largeur et de profondeur 25 mm) ou un profil métallique (profondeur 25 mm) pourra être fixé au raidisseur, une rainure est réalisée par sciage et évidement dans le bout des blocs pour recevoir la nervure.

Cette jonction entre la maçonnerie BTC et le raidisseur ne doit pas être remplie de mortier dans les cas où :

- une réduction des transmissions acoustiques latérales est souhaitée pour les raidisseurs en bois ou métal;
- le raidisseur fait partie de la structure primaire du bâtiment.

Lorsque cette jonction n'est pas remplie de mortier et qu'une performance acoustique est recherchée, des bandes de joints mousse précomprimées et du mastic seront appliqués

Liaisons par attaches de maintien

Des éléments de maintien de type attaches de cadres sont liés aux raidisseurs et répartis régulièrement sur la hauteur de la paroi. Ils peuvent être réalisés par des attaches d'ancrage métalliques, en acier inoxydable ou galvanisé, de type équerre, feuillard, fil ou pointe. (cf. 2.4.4.1. *Attaches, feuillards et ancrages*)

Les attaches d'ancrage sont fixées mécaniquement aux raidisseurs par des vis et/ou des chevilles adaptées à la nature du matériau et à la résistance recherchée. Elles sont scellées au fur et à mesure du montage dans les joints horizontaux de la maçonnerie BTC. Elles sont disposées au plus proche de l'axe du plan du mur, dans le $\frac{1}{3}$ centrale de l'épaisseur de la cloison et doivent présenter une épaisseur (ou un diamètre) inférieure ou égale à la moitié de l'épaisseur du joint de montage.

Elles doivent également pouvoir absorber un mouvement différentiel entre raidisseur et maçonnerie de BTC, pour cela elles doivent présenter des dispositions permettant un jeu vertical millimétrique/infracentimétrique : trou oblong, coulisse, etc.

Le type d'attaches, leur nombre et leur espacement doivent être vérifiés par le bureau d'études structure de l'opération.

FIGURE 64 : PLAN DE PRINCIPE : EXEMPLES DE DISPOSITIONS POUR LES RAIDISSEURS (BOIS, MÉTAL, BA)

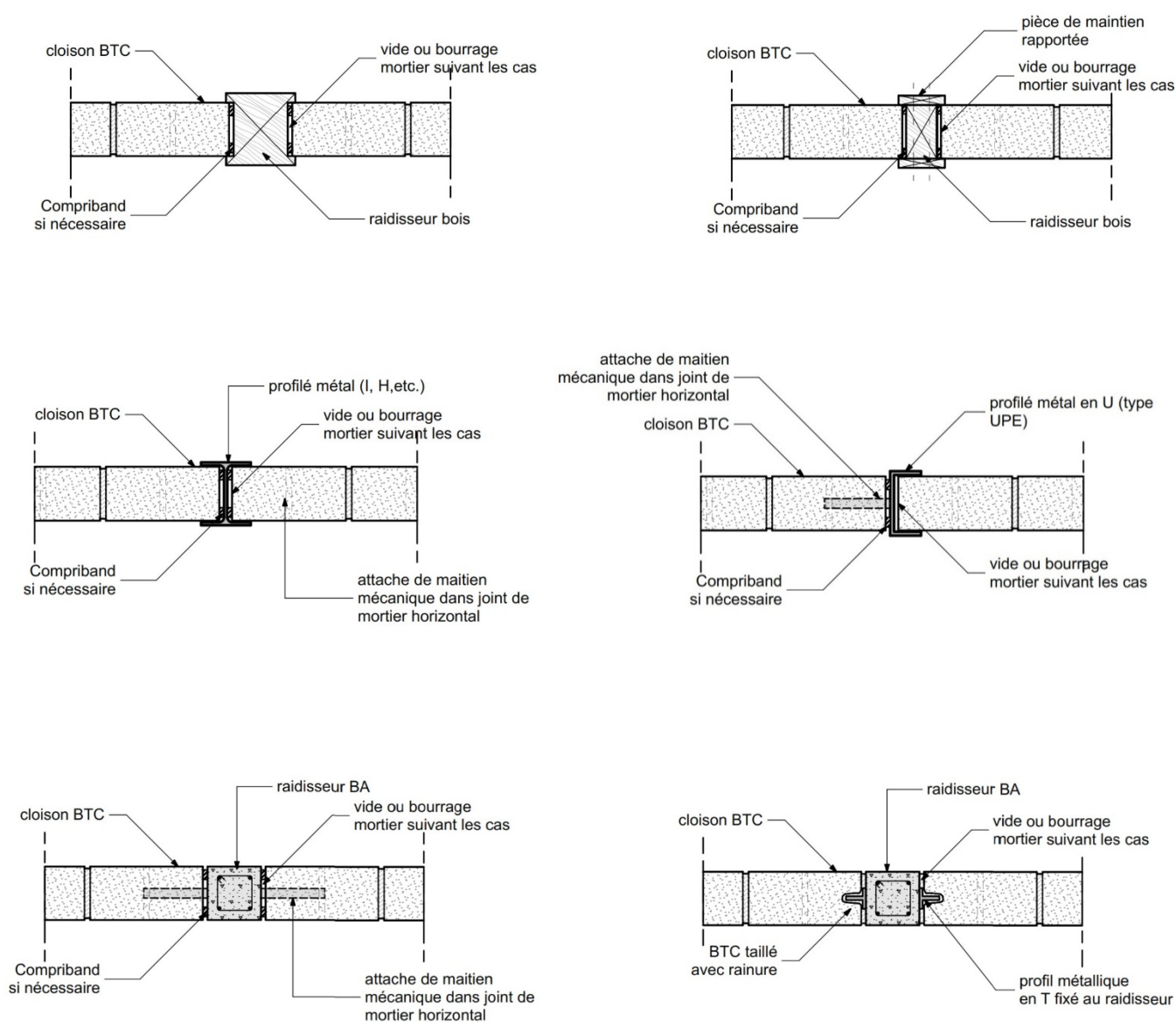
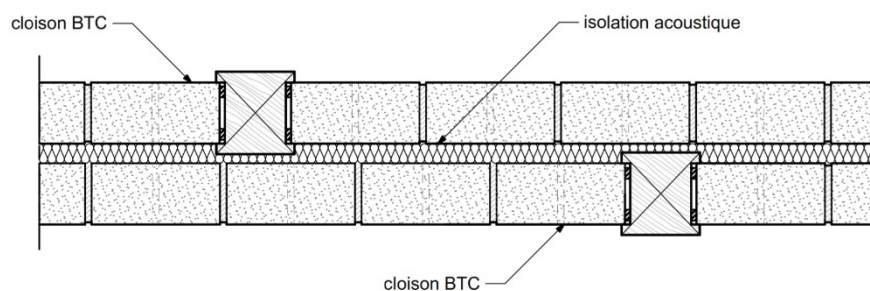


FIGURE 65 : PLAN DE PRINCIPE : CLOISON DOUBLE - DÉCALAGE DES RAIDISSEURS EN PLAN POUR PERFORMANCE ACOUSTIQUE



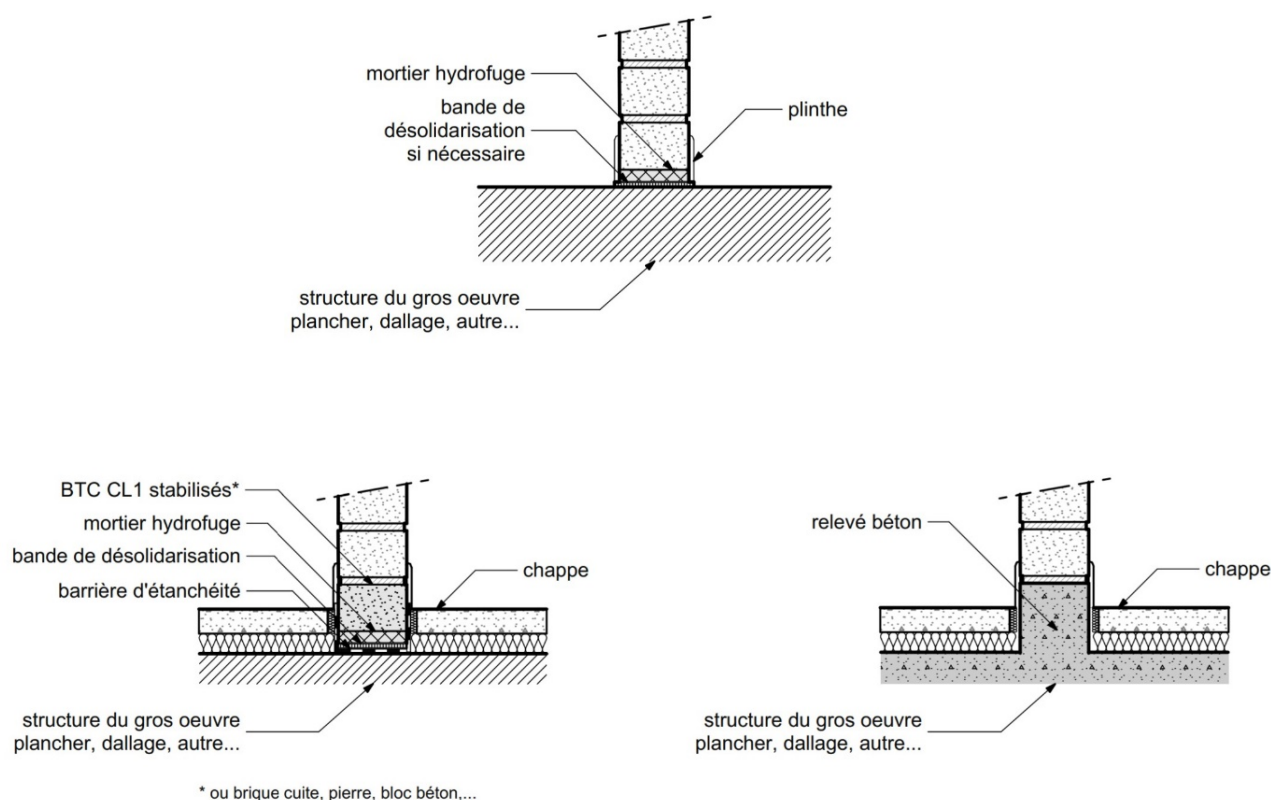
4.4.2. JONCTIONS HAUTE ET BASSE DES CLOISONS

4.4.2.1. JONCTION AVEC LE SOL

La première assise de BTC sera maçonnerie au mortier hydrofuge, sable-ciment dosé à 600 kg/m^3 . Une bande de désolidarisation est fixée si nécessaire sur le sol avant le montage.

En cas de chape flottante, le premier lit de BTC sera en BTC CL1 stabilisé, en bloc béton, brique cuite ou pierre. Une remontée d'étanchéité devra être mise en place, de 2 cm au-dessus du sol fini au minimum. La cloison peut également reposer sur un relevé béton formant un soubassement.

FIGURE 66 : COUPES DE PRINCIPE : JONCTION DES CLOISONS AVEC LE SOL



4.4.2.2. JONCTION HAUTE

La tenue en tête des cloisons doit être assurée par des systèmes ponctuels ou linéaires de maintien : patte, équerre, attache de liaison, cornières métalliques ou tasseau bois. Ceux-ci seront connectés aux éléments structuraux du gros-œuvre : plancher, dalle, poutre, chaînage, etc.

Les dispositions constructives doivent permettre une compatibilité avec les déformées du gros œuvre, pour cela il devra être ménagé des vides ou fait usage de bandes résilientes de désolidarisation.

Une bande de désolidarisation est fixée si nécessaire au plafond avant le montage du parement. L'espace restant entre la maçonnerie et la bande de désolidarisation doit être le plus réduit possible. Le bourrage de cet espace est réalisé avec le mortier ayant servi au hourdage des BTC.

Si nécessaire, la finition peut être complétée par un joint souple type mastic élastomère.

FIGURE 67 : COUPES DE PRINCIPE : JONCTION AVEC LE PLAFOND — CLOISONS SIMPLE

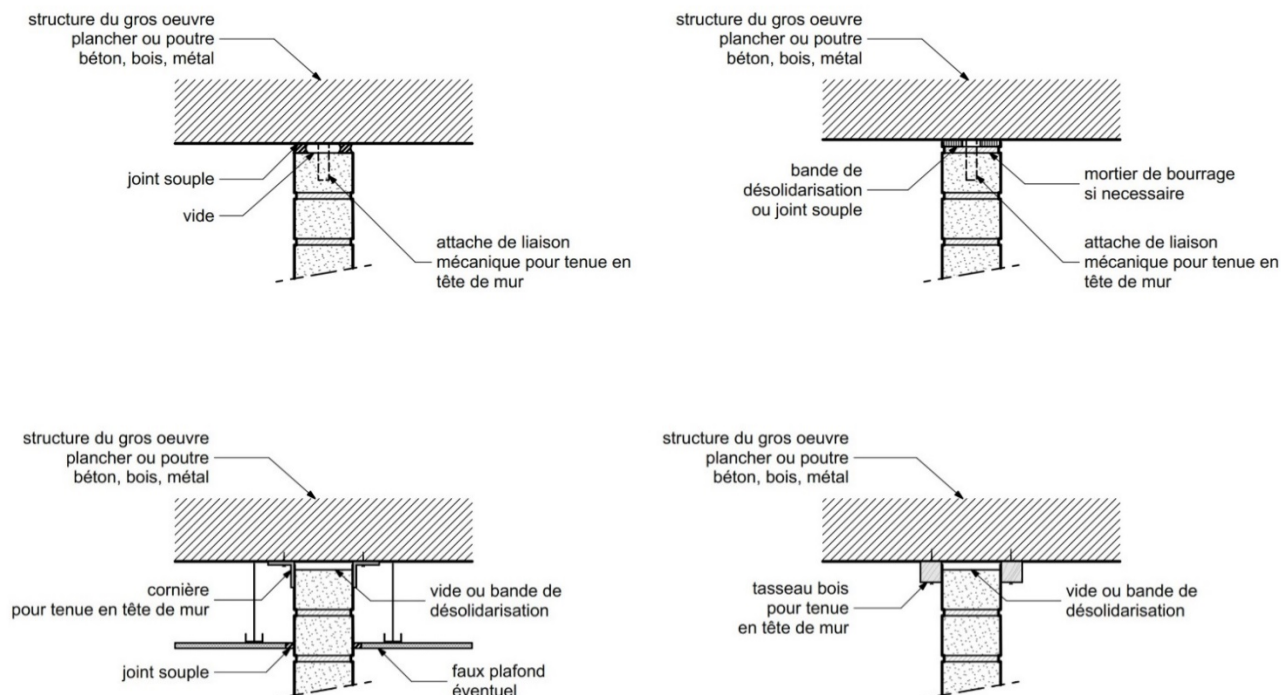
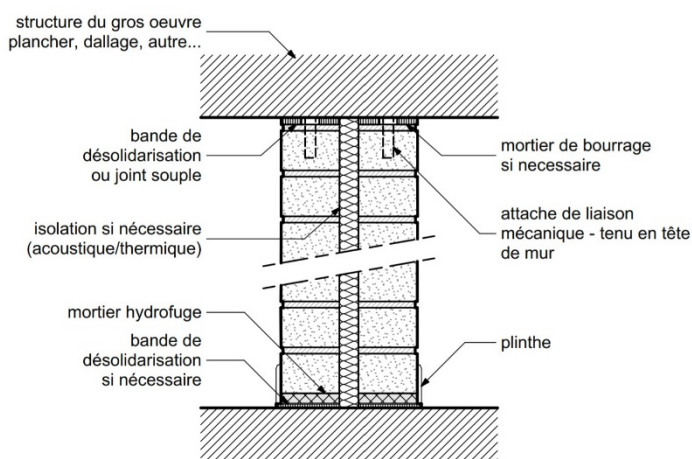


FIGURE 68 : EXEMPLE POUR CLOISON DOUBLE : JONCTION AVEC LE SOL ET LE PLAFOND



5. MISE EN ŒUVRE, DESCRIPTIONS & PRESCRIPTIONS

Cette partie définit étape par étape la technique d'exécution des parois de bâtiments en BTC.

5.1. ÉTAPES DE MISE EN ŒUVRE

Les maçonneries de BTC seront mises en œuvre après réalisation des fondations, soubassements maçonnés et, le cas échéant, la réalisation de l'ossature porteuse.

Le remplissage peut être réalisé à l'avancement niveau par niveau de l'ossature. Cependant ce choix implique une parfaite coordination des corps d'état sur chantier, ainsi qu'un délai d'attente pour la stabilisation « dimensionnelle » des ossatures : séchage et retrait des bétons ou séchage des bois qui peuvent présenter un taux d'humidité élevé.

La maçonnerie de remplissage d'une ossature béton sera réalisée en respectant un délai de séchage minimum des bétons permettant d'atteindre une résistance suffisante¹¹² pour supporter la charge sans dommage.

La couverture pourra être réalisée avant ou après la réalisation des maçonneries.

Dans le cas où une partie des ouvrages assure le contreventement de la structure (charpente, murs, etc.), il devra être mis en place de contreventements provisoires avant la réalisation des remplissages en BTC.

5.2. DESCRIPTION DE LA MISE EN ŒUVRE DES BTC

5.2.1. TECHNIQUE DE MISE EN ŒUVRE DES BTC

5.2.1.1. GÉNÉRALITÉS

Le montage de la maçonnerie doit être exécuté de sorte que la stabilité soit garantie en cours de construction. Il convient d'être particulièrement attentif lors de l'exécution aux murs très élancés, non encore chaînés ou liés à l'ossature, particulièrement face au risque de vent violent. Il faudra si nécessaire étayer momentanément les parois.

¹¹² La résistance du béton à 7 jours est d'environ 60 % de sa résistance maximale. On considère qu'il atteint sa résistance maximale après 28 jours.

5.2.1.2. ESTIMATION DES QUANTITÉS NÉCESSAIRES — NOMBRE DE BLOCS PAR M² ET QUANTITÉ DE MORTIER

Le rendement en BTC, soit le nombre de blocs par m² nécessaire à la mise en œuvre sur chantier, va dépendre de plusieurs facteurs :

- **Des dimensions des blocs** et des variations nominales de celles-ci (en général une variation de hauteur millimétrique est souvent constatée)
- **De l'épaisseur des joints**
- **Du nombre de blocs à découper**¹¹³ pour s'adapter à la géométrie du mur. Cette quantité ou **taux de découpe** varie en fonction :
 - De la surface des murs : plus les pans de maçonnerie sont petits, plus le nombre de blocs à découper est important.
 - Du calepinage et de l'appareillage des blocs. Cela est d'autant plus important si le mur est dimensionné ou non en fonction d'un nombre entier de blocs et de demi-blocs¹¹⁴.

Pour estimer les quantités de blocs nécessaires sur chantier il existe 2 possibilités de calcul (voir tableau suivant). :

1. **Soit sans prendre en compte l'épaisseur des joints**, par exemple en prenant le nombre de m² total de mur divisé par la surface visible du bloc. Le rendement par m² est alors plutôt dans une estimation haute vis-à-vis du besoin. Sur de grosses commandes, il est toujours possible de se faire livrer à l'avancement et de réajuster les nombres réels de blocs nécessaires¹¹⁵.
2. **Soit en prenant en compte l'épaisseur des joints** donc le nombre réel de blocs présents par m² auquel on affectera un taux de découpe. Celui-ci dépend de la surface des panneaux de BTC à construire.

Les quantités de mortier par m² nécessaire à la pose dépendent directement du nombre « réel » de BTC à maçonner donc globalement des mêmes facteurs (hors notion de découpe). Pour les estimer¹¹⁶, on appliquera **un taux de perte moyen** lors de la mise en œuvre (de l'ordre de 15 %).

Pour simplifier les estimations, **le tableau ci-dessous donne les quantités par m²** à prendre en compte en fonction des blocs standard 29,5 x 14 x 9,5 cm, appareillés en panneresse ou en boutisse, et des blocs carré 22 x 22 x 9,5 cm selon les modes de calcul 1 ou 2 précédents. Ainsi que du **taux de découpe** en fonction de la surface des pans de BTC. Il intègre également les quantités de mortier nécessaire à chacun des types de pose avec des joints de 1,5 cm d'épaisseur.

¹¹³ Les découpes des blocs entraînent des pertes sur chantier qui sont à anticiper

¹¹⁴ Voir partie 3.4. Principes de maçonnerie en BTC : blocs, appareillage et calepinage — 1 m² de mur ne comprend pas, par exemple, un nombre entier de blocs

¹¹⁵ Il est également possible de négocier au préalable, avec les fournisseurs de BTC, la possibilité d'une reprise des blocs non utilisés sur chantier

¹¹⁶ Cette quantité de mortier représente en général 20 à 30 % de la masse en kg des blocs mis en œuvre dans l'ouvrage. On peut également l'estimer en prenant les quantités suivantes par bloc : pour des BTC standard de 29,5 x 14 cm : 1,62 kg de mortier en panneresse et 2,18 kg en boutisse, pour des BTC carré de 22 x 22 cm : 2,12 kg de mortier.

TABLEAU 18 : ESTIMATION DES QUANTITÉS DE BTC ET DE MORTIER SUR CHANTIER

	ESTIMATION DES QUANTITÉS DE BTC ET DE MORTIER NÉCESSAIRES POUR 1 M ² DE MUR						
	Type de mur	Panneresse 29,5 x 14 x 9,5 cm		Boutisse 29,5 x 14 x 9,5 cm		Bloc carré 22 x 22 x 9,5 cm	
	Taux de Découpe %	Nbre de BTC (U)	Qte de mortier (kg)	Nbre de BTC (U)	Qte de mortier (kg)	Nbre de BTC (U)	Qte de mortier (kg)
Quantité calculée sans découpe ni perte	-	29,3	41,3	58,7	111,5	38,7	71,3
MÉTHODE DE CALCUL 1 / sans épaisseur de joint pour les BTC et avec taux de perte pour les mortiers							
Quantité estimée	-	36	50	75	130	48	85
Surface de mur et taux de découpe %	MÉTHODE DE CALCUL 2 / avec taux de découpe pour les BTC et taux de perte pour les mortiers						
Jusqu'à 3 m²	28 %	38	50	76	130	50	85
De 3 à 6 m²	17 %	35		70		46	
De 6 à 9 m²	13 %	34		68		45	
Plus de 9 m²	12 %	33		66		44	

5.2.1.3. RÉCEPTION DES MATÉRIAUX

La conformité des lots de blocs livrés ainsi que des différents matériaux nécessaires à la réalisation des ouvrages doit être effectuée à la livraison (cf. 6.2.1.1. *Contrôle des lots de BTC*).

Afin d'assurer une homogénéité des nuances de blocs, les matériaux seront préférentiellement commandés à une seule et même entreprise et, dans la mesure du possible, en une seule fois. Malgré cela, de légères variations de teintes restent possibles. Afin d'éviter un défaut d'homogénéité dans le cas d'une maçonnerie apparente, il faudra panacher à la mise en œuvre les blocs issus des différents lots de BTC.

5.2.1.4. RÉCEPTION DU SUPPORT

L'entreprise en charge de la pose des BTC doit réceptionner les supports de gros-œuvre et s'assurer qu'il n'existe pas d'erreur d'implantation ou de dépassements des tolérances dimensionnelles sur les structures associées.

Les supports sont réceptionnés conformément aux spécifications des normes et DTU les concernant (aspect de surface, planéité, aplomb, alignement, etc.).

Le montage des cloisons ne doit être entrepris que si les raidisseurs et huisseries mis en place sont compatibles avec la cloison à exécuter, convenablement implantés et réglés et munis, si nécessaires, des entretoises provisoires nécessaires pour éviter des déformations des montants sous l'effet des poussées par la cloison. Ces entretoises doivent être maintenues en place jusqu'à l'achèvement de la cloison.

5.2.1.5. DISPOSITION DE STOCKAGE DES MATÉRIAUX SUR CHANTIER

Il convient de protéger les agrégats (sables pour mortiers), les liants et les BTC de la pluie et de l'humidité pendant toutes les phases de manutention et de stockage précédant la pose.

Si les blocs livrés sont conditionnés « filmés » — sous film plastique — il est préférable de retirer le film afin d'éviter des phénomènes de condensation qui peuvent s'avérer importants et provoquer des tâches ou des efflorescences à la surface des blocs.

Il convient d'éviter tout mélange entre des granulats de natures différentes. Pour éviter la pollution des granulats entre eux ou par le sol du site ou des déchets, le stockage doit se faire sur une aire aménagée. Le stockage peut être fait sur palette ou sur une surface gravillonnée.

Le stockage sur site doit se faire sous bâches en saison des pluies. L'aire de stockage doit permettre un drainage correct des eaux. Il est préférable d'aménager une aire de stockage présentant une légère inclinaison.

Les sacs de liants destinés à la fabrication des mortiers, ciment et chaux, seront stockés à l'abri de la pluie, mais également protégés des remontées d'humidité du sol, des projections de boue et de tout choc mécanique susceptible de les déchirer. Si plusieurs types de liant sont nécessaires au chantier, leur stockage sera séparé pour éviter des erreurs et mélange.

5.2.1.6. VALIDATION D'ASPECT ET MUR PROTOTYPE

Dans le cas de maçonneries BTC apparentes, la validation de la qualité de finition des parements (calepinage, couleur, jointoiement et finition) peut s'effectuer par la réalisation, en début de chantier, d'un ou plusieurs murs prototypes permettant de définir le résultat recherché et ces critères d'acceptation.

Les prototypes sont effectués avec les matériaux et la mise en œuvre propres au marché projeté et avec une géométrie définie par la maîtrise d'œuvre. Les prototypes sont réalisés sur chantier et conservés durant la durée de celui-ci. Le contrôle d'aspect durant le chantier et l'acceptation à réception se feront par comparaison avec les murs prototypes et suivant les tolérances définies au préalable.

5.2.1.7. PROTECTION DES OUVRAGES EN COURS DE CHANTIER

Lors des épisodes pluvieux, il convient de protéger la tête de mur, et particulièrement les plans de pose, des ouvrages en cours de réalisation.

Les assises fraîchement maçonnées doivent également recevoir une protection qui doit être maintenue durant tout l'épisode pluvieux si celui-ci est continu.

5.2.1.8. PROTECTION CONTRE LES DOMMAGES MÉCANIQUES

Durant le chantier et jusqu'au repli de celui-ci, il faut, si possible, protéger les surfaces des murs et spécialement les angles saillants des chocs qui pourraient les endommager. Ces dommages sont le plus souvent dus à la manutention d'éléments lourds durant le chantier (coffrages, échafaudages, outils divers) ou aux manœuvres d'engins et véhicules évoluant sur le site.

5.2.1.9. CONDITIONS CLIMATIQUES DE MISE EN ŒUVRE

Il faut être très vigilant lors de la mise en œuvre aux conditions climatiques particulièrement si celles-ci sont chaudes et venteuses. Une dessiccation trop rapide de la maçonnerie peut entraîner l'apparition de fissures dues à un retrait important.

En règle générale, et par temps très chaud, dès que la température est durablement supérieure à 30 °C, et encore plus au-dessus de 35 °C¹¹⁷, il sera préférable de préparer des petites quantités de mortier utilisable rapidement¹¹⁸.

Quelques précautions simples peuvent également être prises : maçonner aux heures les moins chaudes, travailler sur les parties d'ouvrage non exposées au soleil et au vent, protéger les maçonneries de la dessiccation (arrosage léger, produit de cure ou bâche (paillasons humides, films plastiques, etc.)). Cette protection doit être maintenue en place durant les premières heures voire quelques jours selon l'évolution des conditions climatiques.

5.2.1.10. PRÉPARATIONS POUR LA MAÇONNERIE BTC

A. Interfaces avec le support

Mur porteur :

Avant la pose des BTC, mettre en place la rupture de capillarité

Remplissage d'ossature :

Avant la pose des BTC, mettre en place la rupture de capillarité ou l'armature le cas échéant.

Coller les bandes de joint mousse pour les liaisons avec les poteaux ou raidisseurs.

Le cas échéant, fixer les tasseaux ou profils métalliques formant le profil en gorge des poteaux. Ces éléments pourront être utilisés comme piges pour faciliter le montage de la maçonnerie.

Cloison et paroi non structurale :

Avant la pose des BTC, mettre en place si nécessaire la bande de désolidarisation au sol sur toute la largeur de la paroi finie.

Coller les bandes de joint mousse pour les liaisons avec les éventuels raidisseurs et les autres parois verticales.

Le cas échéant pour les cloisons, fixer les tasseaux ou profils métalliques sur les parois verticales, les raidisseurs et le plafond. Ces éléments pourront être utilisés comme piges pour faciliter le montage de la maçonnerie.

B. Fixation des raidisseurs

Fixer les éventuels raidisseurs en tête et en pied : les raidisseurs en métal et en bois avec des équerres de fixation avec trous oblongs, les raidisseurs béton avec une armature constituée au minimum par un fer à béton axé sur le poteau.

5.2.1.11. VÉRIFICATION DU CALEPINAGE

Poser les 2 premières assises à sec pour vérifier le calepinage. Pour limiter la découpe de BTC en s'adaptant à la longueur du mur, le calepinage tiendra compte des tolérances acceptables pour les épaisseurs des joints (10 à 15 mm). Il est possible d'utiliser une pige graduée ou des cales pour répartir régulièrement les joints.

5.2.1.12. DOSAGE, GÂCHAGE ET UTILISATION DES MORTIERS

Gâchage des mortiers :

Les mortiers doivent être gâchés sur une surface propre.

¹¹⁷ De manière générale, les liants (chaux et ciment) ne doivent pas être utilisés à des températures supérieures à 35 °C.

¹¹⁸ Les mortiers avec liant sont sensibles aux paramètres que sont la température, l'hygrométrie, la vitesse du vent, qui agissent sur : la rhéologie du mortier et son évolution ; la vitesse de prise ; la cinétique de son durcissement et sa dessiccation. Cela influence sensiblement l'ouvrabilité, mais également, à terme, la résistance mécanique du mortier, donc celle du mur.

Le gâchage est effectué soit manuellement soit au moyen d'un mélangeur mécanique.

Un mélange à sec des granulats et le cas échéant du liant avant l'ajout de l'eau permet d'éviter des défauts d'homogénéité.

Le temps de malaxage après l'ajout d'eau doit permettre l'obtention d'un mélange homogène.

Pour les mortiers terre sans liant hydraulique, un temps de repos d'au minimum 30 minutes est conseillé afin d'assurer une hydratation correcte des argiles.¹¹⁹

Gâchage et durée d'utilisation des mortiers avec liant hydraulique

Les mortiers utilisant un liant hydraulique doivent être gâchés juste avant leur utilisation. La durée de gâchage commence à partir du moment où tous les matériaux, eau comprise, sont incorporés au mélange.

La durée de gâchage usuelle est comprise entre 3 et 5 min. Elle ne doit pas dépasser 15 min.

Entre différentes gâchées, il faut éviter les écarts importants des durées de gâchage.

Le mortier fabriqué sur le chantier doit être mis en œuvre suivant les temps d'utilisation relatifs au liant utilisé. En général il convient d'utiliser les mélanges moins de 30 minutes après leur fabrication.

5.2.1.13. POSE DES BTC - ÉLEVATION DU MUR

La surface d'application du mortier doit être préparée et propre, dépoussiérée et débarrassée des matières non adhérentes.

Au démarrage de la maçonnerie, poser le premier lit de mortier sur le support. Ce premier lit permet un réglage précis du premier rang de briques à l'aide de la règle et du niveau.

Pour garantir une bonne adhérence entre mortier et blocs, le plan de pose et les BTC seront humidifiés avant la mise en œuvre des blocs. Dans le cas de BTC stabilisés, les plonger dans l'eau et les retirer immédiatement. Dans le cas de BTC non stabilisés, les humidifier légèrement à l'aide d'une brosse large, type brosse à badigeon, en les aspergeant sur les faces qui seront en contact avec le mortier. Si les BTC non stabilisés sont humidifiés par lot avant d'être maçonnés, ne pas les poser au sol directement, mais sur des tasseaux de bois pour éviter qu'ils absorbent l'eau qui pourrait stagner sur celui-ci.

Le plan de pose sera également légèrement mouillé en l'aspergeant à l'aide d'une brosse large, type brosse à badigeon.

Le mortier est appliqué sur les faces à jointoyer, préférentiellement les faces de pose, en quantités adaptées. Les briques sont posées à "bain soufflant" ou refluant de mortier, les joints doivent être pleins et bien garnis. Pour cela, le mortier doit être appliqué en quantité suffisante afin de pouvoir refluer de tous les côtés à la pose de la brique y compris à la partie supérieure des joints verticaux.

Les BTC sont posés et mis en place sur le lit de mortier par collage en les plaquant en pression ou en les faisant translater jusqu'à avoir trouvé la position requise. Par effet de succion, les BTC s'immobilisent.

Il ne faut pas vibrer excessivement les BTC pour les positionner sous peine de supprimer l'adhérence entre le bloc et le mortier et de compromettre leur liaison, voire même de déstabiliser les maçonneries précédemment mises en œuvre. Utiliser un outil de type marteau, masse, manche de la truelle pour positionner en frappant ou en martelant les blocs est également à éviter. Les chocs de réglage, suivant leur intensité, pouvant provoquer des éclats du parement, des arêtes ou même la fissuration du bloc.

¹¹⁹ Ce temps de repos peut être considérablement prolongé en fonction des recettes employées. Il est d'usage courant par exemple de préparer ces mortiers la veille de la pose.

L'excédent de mortier doit être retiré immédiatement après la pose du bloc. L'ébavurage sera effectué en « coupant » l'excédent de mortier avec le chant de la truelle. On veillera à ce que le mortier ne coule pas sur la face des blocs si celle-ci est destinée à rester apparente.

Dans le cas de maçonnerie en briques restant apparentes l'exécution doit tenir compte du but recherché sur le plan esthétique avec toute la précision possible. L'alignement, l'épaisseur des assises et des joints doivent être parfaitement réguliers.

Les blocs sont positionnés de niveau à l'aide d'un niveau à bulle. Le maçon pourra également se confectionner des guides spécifiques, règle ou gabarit, pour une réalisation régulière. Il est d'usage courant d'utiliser des piges d'angles et des cordeaux pour assurer l'aplomb et l'alignement des maçonneries. Dans ce cas, il est tracé sur les piges verticales les hauteurs d'assises préalablement déterminées puis est positionné le cordeau afin de réaliser des lits de BTC alignés et d'obtenir ainsi une régularité de la répartition verticale des joints sur toute la hauteur du mur.

Les joints horizontaux et verticaux doivent être bien remplis et présenter une épaisseur finie comprise entre 10 mm minimum et 15 mm maximum.

5.2.1.14. CADENCE DE POSE ET LIMITE D'ÉLEVATION QUOTIDIENNE

L'élévation, par jour, des maçonneries de BTC ne doit pas dépasser 10 fois l'épaisseur du mur ou 1,5 m maximum quelle que soit son épaisseur (soit, par exemple, pour un mur de 14 cm d'épaisseur, 1,40 mètre maximum et pour un mur de 22 cm d'épaisseur, 1,5 mètre maximum). Des hauteurs supérieures peuvent induire un risque de désolidariser les premiers rangs par de trop fortes sollicitations latérales exercées sur l'ouvrage.

5.2.1.15. REPRISE DE L'ÉLEVATION DE LA MAÇONNERIE

Lors de la reprise des travaux de maçonnerie, il convient de s'assurer que le plan de pose soit propre et dépoussiéré. Le plan de pose sera également légèrement mouillé en aspergeant celui-ci à l'aide d'une brosse large, type brosse à badigeon.

5.2.1.16. CONTRÔLE EN COURS DE MONTAGE

Voir également la partie 6.2.2. Contrôle de mise en œuvre dont le contenu est repris ci-dessous en synthèse.

Tout au long du montage, contrôler :

- L'horizontalité des blocs à l'aide d'un niveau à bulle positionné perpendiculairement au mur.
- L'horizontalité des assises et l'alignement des joints, grâce à un cordeau.
- La verticalité de la paroi, au fil à plomb. L'aplomb peut être assuré par la mise en place au préalable de piges d'angle dont la verticalité a été contrôlée. Celles-ci servent alors de guide de pose.
- L'épaisseur des joints, par une mesure directe. Celle-ci devra être comprise entre 10 et 15 mm d'épaisseur. Il est conseillé de tracer au préalable les hauteurs d'assises sur les piges servant de guide afin d'obtenir une régularité et une bonne répartition verticale des joints sur toute la hauteur du mur.
- La planéité d'ensemble au moyen d'un cordeau tendu sur plusieurs mètres à la surface du mur ou plus localement à l'aide d'une règle de 1 m minimum et ce dans toutes les directions du plan vertical du mur (horizontal, vertical, oblique).
- L'absence de balèbres de mortier du côté des lames d'air et l'absence de mortier tombé dans l'espace entre les deux parois pour les cloisons doubles. Si tel est le cas, il faudra alors enlever les chutes de mortier.

5.2.1.17. MISE EN PLACE DES ATTACHES

Les attaches des remplissages de façade ou des cloisons sont fixées dans le poteau ou le raidisseur par des chevilles et/ou des vis adaptées et scellées au cours du montage dans le mortier des joints horizontaux du pan de maçonnerie.

5.2.1.18. JOINTOIEMENT ET REJOINTOIEMENT

La liaison des blocs doit être correctement faite dans les deux directions de l'appareil des blocs, par la réalisation des joints horizontaux et verticaux. Les joints verticaux doivent être bien bourrés.

Joint réalisés « en montant »

Les joints peuvent être réalisés à frais pour une meilleure tenue (et limiter les tâches de laitance). Le joint en cours d'exécution doit alors être serré avant qu'il ne perde sa plasticité. Cette opération sera donc réalisée « en montant », par refoulement du mortier de pose en comprimant celui-ci à l'aide d'un outil adapté.

Les joints peuvent être serrés avec la pointe de la truelle, à la langue de chat, au fer à joint, à l'aide d'un goujon bois ou un tube (métal ou plastique) de diamètre ou de forme adaptés.

Tracer proprement les joints après la pose des blocs, quand le mortier est encore malléable :

- Compléter les endroits où le mortier ne ressort pas suffisamment.
- Serrer les joints avec l'outil adapté sans écraser les arêtes des blocs.
- Finir les joints verticaux avant les joints horizontaux. Il est possible d'utiliser une règle de guidage pour tirer les joints horizontaux.

La finition des joints peut être faite en demi-rond, en triangle, affleurant plein au nu des blocs ou en creux en léger retrait. Sauf indication contraire, le profil du joint en retrait aura une profondeur maximale de 5 mm.

Les joints en creux ou en retrait de plus de 5 mm présentant une surface horizontale favorisant la stagnation de l'eau sur le dessus du bloc sont proscrits pour des usages en façades exposées.

Rejointoiement

La finition des joints peut également être effectuée ultérieurement à la pose par un rejointoiement. Pour cela les lits de mortier doivent être légèrement creusés. Les joints sont dégarnis rapidement, au maximum quelques heures après la pose, lorsque le mortier est encore frais et non durci. La profondeur du grattage du mortier est d'au moins 15 mm, sans dépasser 15 % de l'épaisseur du mur mesurée à partir de la surface finie¹²⁰.

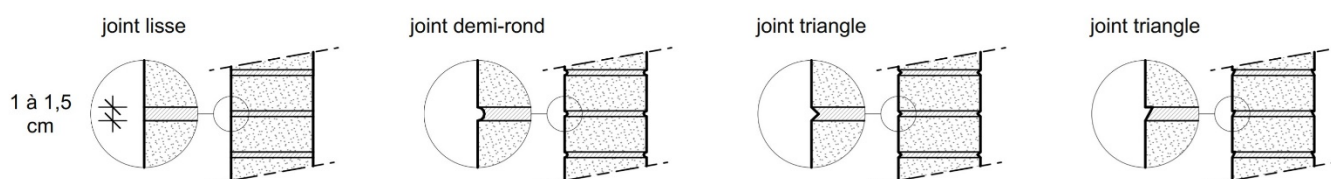
L'opération de rejointoiement est précédée d'un nettoyage par brossage de la zone entière et, si nécessaire, d'un mouillage du fond de joint pour obtenir la meilleure adhérence possible entre mur et mortier.

Ce rejointoiement est souvent utilisé lorsque l'on désire réaliser une coloration spécifique du joint.

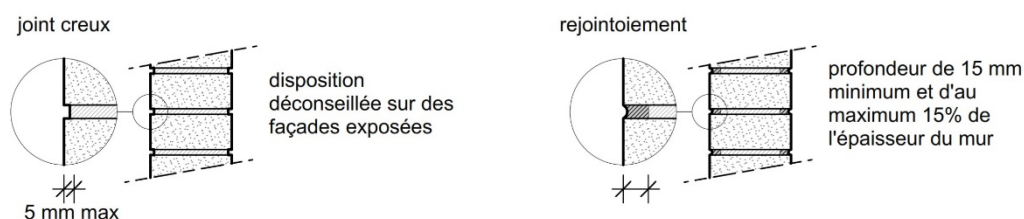
Après jointoiement ou rejointoiement, quand le mortier est encore frais, la surface du mur peut être brossée à la brosse douce, sans forcer, afin de garantir une meilleure finition.

Le jointoiement ou le rejointoiement doivent être particulièrement soignés dans des ouvrages exposés aux intempéries.

FIGURE 69 : PROFILS DE FINITION DES JOINTS



¹²⁰ Pour les blocs avec évidement, on ne dépassera pas une profondeur maximum de 20 mm. On gardera une profondeur de grattage de 15 mm pour les parois de 9,5 cm à 10 cm.



5.2.1.19. HAUT DU MUR - DERNIER RANG DE MAÇONNERIE

Avant la pose des derniers rangs de BTC, le cas échéant, la bande de désolidarisation doit être collée au plafond sur toute la largeur de la paroi finie et les attaches de liaisons doivent être fixées à l'ossature.

Le dernier rang de BTC doit être maçonné en laissant un espace le plus réduit possible. Le tassement de la maçonnerie dans les jours qui suivent engendre une augmentation de cet espace et rend possible un bourrage au mortier. Il faut attendre 2 à 3 semaines après l'étape de maçonnerie, de telle sorte que le tassement de la maçonnerie ait eu lieu.

5.2.1.20. COUPE, TAILLE, PERÇAGE

Couramment, sur chantier, les coupes des blocs sont réalisées à l'aide d'une meuleuse équipée d'un disque pour maçonnerie, type disque diamanté, pour obtenir les dimensions requises. Il est également possible d'utiliser un ciseau de maçon et une massette.

Les BTC contiennent des graviers qui peuvent faire dévier du plan de coupe ou provoquer des éclats importants des blocs. Le taux de perte des blocs sur chantier est de l'ordre de 5 %.

On privilégiera si possible l'utilisation de blocs $\frac{3}{4}$ et $\frac{1}{2}$ produits directement à ce format si un appareillage très soigné des maçonneries apparentes est souhaité.

Les tailles ou découpes spéciales des blocs – rainure, gorge, etc. – s'effectuent à l'aide des mêmes outils - ciseaux de maçon ou meuleuse – mais également par perçage ou abrasion.

Les blocs se percent à l'aide de forets à pointe ou taillant carbure de tungstène, de type foret à béton. Le perçage s'effectue de préférence sans percussion mais par abrasion et enlèvement de matière. Pour les perçages précis, il est plus adéquat d'utiliser des forets pour métaux.

Un trépan ou une scie cloche avec pastille au carbure de tungstène ou à lèvres diamantées peut être utilisé pour réaliser les réservations des boîtes électriques rondes.

5.2.1.21. FINITION DE LA MAÇONNERIE

Il conviendra d'être attentif à ce que la paroi ne présente pas un taux d'humidité trop important avant la mise en œuvre des revêtements de finitions (peintures, enduits, etc.). Pour cela, il faut attendre que le retrait et la migration d'eau et de vapeur d'eau de séchage de la maçonnerie soient stabilisés. Cela peut prendre quelques semaines, il faut donc respecter un délai minimum de séchage de 2 mois avant que les finitions ne soient réalisées¹²¹.

Une fois la maçonnerie sèche, si nécessaire, elle peut être balayée, brossée et/ou aspirée afin d'éliminer des grains et poussières non adhérentes.

Pour uniformiser l'aspect, limiter les effets de laitance et quelques défauts visuels, un léger égrainage de la surface de la maçonnerie, sans trop insister, avec un abrasif — type papier de verre de grain 120 — peut être effectué.

¹²¹ La disparition de l'humidité en excès dans le mur prend du temps, le séchage sera plus ou moins rapide en fonction de l'épaisseur du mur, de son niveau de ventilation, de la température ambiante et enfin des apports d'eau au moment de la mise en œuvre (humidité des mortiers et des blocs, intempéries) ou de la mise en œuvre des matériaux environnants.

La maçonnerie peut alors être laissée brute, ou, si nécessaire, une finition peut être appliquée (cf. 2.4.6. *Produits de finitions de la maçonnerie*).

Si le mur est destiné à être enduit, il doit être soigneusement brossé (brosse métallique). Le mur ne doit pas absorber l'eau contenue dans l'enduit sous peine de compromettre sa prise et son durcissement et de réduire son adhérence. Il faut donc humidifier le mur pour éviter une succion capillaire, sans trop le mouiller, pour ne pas créer un film d'eau superficiel qui limiterait l'adhérence de l'enduit.

Il ne faut jamais enduire un mur de terre avant que le tassement du mur ne se soit opéré. Il faut donc attendre un achèvement complet des remplissages et du gros œuvre, y compris toutes charges de planchers, des toitures, avant la réalisation des enduits.

5.2.2. SÉCURITÉ DES INTERVENANTS, PROTECTION COLLECTIVES ET RISQUE DE BASCULEMENT

En phase de chantier, il faudra être attentifs à la stabilité des maçonneries non achevées, en particulier :

- Pour éviter les risques de chute de hauteur des intervenants, il faudra doubler les murs de maçonnerie en surplomb par des gardes corps provisoires en cours de montage.
- Pour éviter les risques de chute des maçonneries par un déversement dû à des pressions exercées latéralement (vent violent, etc.), il faudra mettre en place un étayement provisoire de protection anti basculement.

Les autres mesures de sécurité à prendre sont identiques à celles concernant la réalisation d'un ouvrage en maçonnerie classique de petits éléments. Il n'existe pas de conditions spécifiques de sécurité liées à la mise en œuvre de murs en BTC.

Suivant l'importance des ouvrages à réaliser, les dispositions de sécurité peuvent être détaillées dans un Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS) permettant d'assurer la sécurité des intervenants pendant toute la durée du chantier.

6. CONTRÔLE DE QUALITÉ / PAQ

Le contrôle qualité doit être différencié en deux parties distinctes, car le producteur de blocs et l'entreprise de maçonnerie interviennent à des moments différenciés.

Le contrôle de production et le contrôle d'exécution, décrit ci-après partie 6.2. Contrôles qualité d'exécution des murs BTC, permettent d'assurer la maîtrise de la constance des performances des éléments constitutifs de la maçonnerie.

Un contrôle qualité concernant la production est décrit dans la norme XP P13-901. Il pourra être appliqué par le producteur l'annexe 9.5.4. *Le contrôle qualité des matériaux produits* de ces règles à défaut de celui décrit dans la norme.

6.1. NIVEAUX DE SÉCURITÉ ET GESTION DE LA FIABILITÉ (BTC)

Cette partie propose un cadre d'évaluation et de contrôle de la constance des performances et de la gestion de la fiabilité pour les maçonneries en BTC à la fois au niveau de la production et au niveau de l'exécution.

Il permet de définir le coefficient de sécurité γ_M applicable à la maçonnerie de BTC.

6.1.1. NIVEAUX DE SÉCURITÉ ET CONTRÔLE DE PRODUCTION

Les systèmes d'évaluation et de vérification de la constance des performances sont définis comme suit ¹²² :

- **Système A**, avec suivi de conformité du contrôle de production en usine, y compris des essais par sondage sur des échantillons prélevés par un organisme tierce partie (OTP)¹²³ ;
- **Système B**, par auto déclaration du fabricant.

Les catégories de maçonnerie sont définies comme suit :

– **Pour le système A** : Élément dont la résistance est déclarée avec une probabilité de 5 % de ne pas atteindre cette valeur. Cette catégorie ne peut être atteinte que par mise en place d'un système d'évaluation et de vérification de la constance des performances défini dans le tableau 19 ci-après.

– **Pour le système B** : Élément n'étant pas censé présenter le niveau de confiance spécifié pour les éléments de maçonnerie du système A. Elle correspond à la mise en place d'un système d'évaluation et de vérification de la constance des performances défini dans le tableau 19 ci-après.

¹²² Le Système A correspond au niveau 2+ et le système B au niveau 4 suivant Le règlement délégué (UE) n568/2014, du 18/02/2014, modifiant l'annexe V du RPC - dans le cadre d'un marquage CE.

¹²³ L'organisme tierce partie (OTP) est un organisme habilité ou présentant les compétences à pratiquer cette évaluation. Il remplace ici la qualification d'ON ou « organisme notifié » nécessaire dans le cadre d'un marquage CE. Cette qualification ne s'applique pas dans ce cas, car il n'existe pas de norme harmonisée européenne sur les BTC avec une annexe ZA.

TABLEAU 19 : SYSTÈMES D'ÉVALUATION ET DE VÉRIFICATION DE LA CONSTANCE DES PERFORMANCES

Systèmes d'évaluation et de vérification de la constance des performances		
Système	A	B
Contrôle de la production en usine (éventuellement essai)	F	F
Inspection initiale et périodique du système de contrôle de production	OTP	
Essai de type initial avec d'échantillon choisi par le fabricant	F	F

F : sous la responsabilité du Fabricant

OTP : mené par un organisme tierce partie notifié choisi par le fabricant

Coefficient partiel γ_M pour la maçonnerie BTC :

Celui-ci est défini dans la partie 2.3.1. *Résistance à la compression* tel que $\gamma_M = 3,3$. La valeur de 3,3 correspond à la valeur maximale de référence issue de l'Eurocode 6.

Ce coefficient partiel peut être diminué dans le cas où un niveau de contrôle correspondant au système A est mis en place.

Le choix du coefficient γ_M à appliquer à la valeur de résistance déclarée de la maçonnerie afin d'obtenir la valeur de calcul est défini suivant le tableau 20 ci-dessous :

TABLEAU 20 : COEFFICIENT γ_M EN FONCTION DES DIFFÉRENTS NIVEAUX DE CONTRÔLE ET DE SUPERVISION

Niveaux de contrôle	γ_M
système A	2,7
système B	3,3

6.1.2. NIVEAUX DE SÉCURITÉ ET CONTRÔLE D'EXÉCUTION

Suivant la catégorie d'importance du bâtiment considéré, il pourra être défini le niveau de supervision de projet ainsi que le niveau de contrôle. Dans le cadre de ce document, seuls les niveaux de contrôle de production définie à la partie précédente influent sur la valeur du coefficient partiel γ_M .

La mise en place d'un plan d'assurance qualité (PAQ) pour les opérations de suivi de chantier est décrite partie 6.2. Contrôles qualité d'exécution).

Ces opérations de contrôles seront précisées suivant l'importance du bâtiment considéré. Elles pourront s'établir alors suivant trois niveaux¹²⁴ d'importance pour qualifier l'entreprise :

1. Un contrôle interne ou auto-contrôle de l'entreprise de maçonnerie — du maçon (pas de contrôle externe par une tierce partie).
2. Définition d'un plan d'assurance qualité (PAQ) pour le chantier¹²⁵. Contrôle non continu du PAQ par le maître d'ouvrage ou son représentant¹²⁶.
3. Définition d'un plan d'assurance qualité (PAQ) pour le chantier. Contrôle continu du PAQ par le maître d'ouvrage ou son représentant.

6.2. CONTRÔLES QUALITÉ D'EXÉCUTION DES MURS BTC

Les aspects de contrôle de la mise en œuvre sur chantier devront prendre en compte les règles de conception et mise en œuvre décrites dans le présent document, plus une liste de contrôle, établie à titre informatif, à modérer en fonction des spécificités du bâtiment concerné.

6.2.1. RÉCEPTION DES MATÉRIAUX

6.2.1.1. CONTRÔLE DES LOTS DE BTC

Lors de la livraison, la réception est assurée par un responsable désigné de l'entreprise de pose des produits. Celui-ci s'assure de la conformité des blocs livrés. (*cf. partie 5.2.1.3. Réception des matériaux*)

Elle portera sur :

- La vérification des caractéristiques des blocs livrés, quantités, dimensions et désignations des blocs. L'entreprise se référera à la fiche produit et au bon de livraison et contrôlera sur site la concordance des éléments livrés avec la commande ;
- La vérification de l'état des lots livrés : endommagements accidentels, humidité en excès, souillures, etc. Le contrôle sera mené par une inspection visuelle.

En cas de non convenance des lots de BTC, la livraison pourra être refusée.

En cas d'absence de contrôle qualité des BTC par l'entreprise de production et que les caractéristiques des blocs ne peuvent pas être garanties, il pourra être appliqué à réception des BTC produits une partie des contrôles décrits à l'annexe 9.2.4. *Le contrôle qualité des matériaux produits afin de vérifier la qualité et la conformité des lots fournis.*

Il faut connaître les résultats d'essai de résistance mécanique des lots de blocs réceptionnés avant l'utilisation des matériaux sur le chantier.

On veillera à une réception des blocs dont le temps de cure a été respecté pour une mise en œuvre conforme.

Il est important que les blocs aient été stockés à l'abri de l'humidité afin d'éviter un trop grand retrait des ouvrages lors du séchage.

S'il existe un doute sur une humidité trop importante des blocs, il est préférable de ne pas les utiliser immédiatement.

¹²⁴ Ces trois niveaux s'inspirent des niveaux IL (inspection Level) classés de 1 à 3 suivant la NF EN 1990

¹²⁵ Le PAQ (Plan d'Assurance de la Qualité) doit notamment traiter :

- de la compétence du personnel d'exécution des travaux ;
- du choix des produits utilisés, en correspondance avec les prescriptions ;
- de la réalisation des ouvrages, conformément aux documents de référence.

¹²⁶ Ce contrôle n'est pas nécessaire si l'entreprise de mise en œuvre est titulaire d'une certification d'assurance qualité délivrée par un organisme accrédité (par exemple certification Qualibat).

6.2.1.2. CONTRÔLE DES AGRÉGATS — SABLES POUR MORTIER

Les différents granulats destinés à la fabrication du mortier sont livrés sur chantier soit en vrac, soit sous conditionnement en big-bag.

Les contrôles effectués sont visuels, à partir d'un échantillon prélevé lors de chaque livraison : convenance des sables, sans pollution, conforme aux normes et en cohérence avec les spécifications techniques de l'opération (granulométrie).

6.2.1.3. CONTRÔLE DES LIANTS

La livraison se fait en sacs sur site. Le contrôle à la livraison permettra de vérifier que :

- Les produits livrés sont sains, non altérés (humidité) et sans défaut, conformes aux normes et en cohérence avec les spécifications techniques de l'opération.
- La validité des dates limites d'utilisation prescrites par le fabricant est respectée.

6.2.1.4. STOCKAGE SUR SITE DES MATÉRIAUX

Stockage des matières premières / agrégats et liants

Un contrôle visuel quotidien doit être effectué afin de vérifier du bon stockage des matières premières.

L'aire de stockage doit permettre d'assurer la protection des différents matériaux contre les intempéries. Elle doit aussi être aménagée et suffisamment vaste ou équipée de silos pour éviter la contamination des différents matériaux entre eux.

Le stockage sur site pourra se faire sous bâches en saison des pluies. L'aire de stockage doit permettre un drainage correct des eaux. Il est préférable d'aménager une aire de stockage présentant une légère inclinaison.

Les liants destinés à la fabrication seront stockés à l'abri de la pluie, mais également protégés des remontées d'humidité du sol, des projections de boue. Si plusieurs types de liants sont nécessaires à la fabrication, leur stockage sera séparé pour éviter des erreurs ou des mélanges accidentels.

En cas de souillure, mélange inapproprié ou dégradations des matières premières, les volumes des matériaux concernés doivent être rejetés et faire l'objet d'une mise en décharge.

Les dispositions du bon stockage des matériaux sur site sont identiques à celles décrites à l'article 5.2.1.5. *Disposition de stockage des matériaux sur chantier* et doivent être respectées.

Les résultats de ce contrôle donnent lieu à l'établissement d'une fiche de contrôle.

Tous les matériaux sont stockés de manière à conserver leurs caractéristiques respectives.

Stockage des BTC

Le stockage devra être protégé des intempéries (pluies) — soit sous abri, soit sous bâches ou films plastiques imperméables.

Il devra également s'effectuer protégé des remontées d'humidité par capillarité du sol (palettes, bâches, aire bétonnée, etc.)

Le contrôle visuel des conditions de stockage sera au minimum hebdomadaire.

6.2.2. CONTRÔLE DE MISE EN ŒUVRE

Lors de la mise en œuvre sur chantier une attention particulière sera portée sur :

- les travaux préparatoires de chantier réception des supports, plans des réservations, etc. ;
- le respect du calepinage, en plan et en élévation ;
- le respect des tolérances dimensionnelles ;

- les conditions climatiques de mise en œuvre, qui devront être conformes à l'article 5.2.1.9. *Conditions climatiques de mise en œuvre.*

La verticalité des parois ainsi que l'épaisseur de celles-ci, l'épaisseur des joints et la planéité d'ensemble doivent être contrôlées par les maçons tout au long du montage.

Le contrôle du respect des tolérances dimensionnelles ainsi que le contrôle d'aspect permettent de réceptionner les ouvrages.

6.2.2.1. CONTRÔLE DU CALEPINAGE EN PLAN ET EN ÉLÉVATION

Un plan de calepinage des blocs doit être établi pour les assises courantes et les assises particulières du mur. Chaque maçon doit disposer de ces plans de calepinage.

Préalablement à la pose définitive, un contrôle du calepinage du premier rang se fera par un essai « à sec » afin de vérifier l'exactitude de celui-ci.

De petites erreurs de dimensions des murs (soubassement, structure porteuse, etc.) peuvent être rattrapées en jouant sur les tolérances acceptables pour les épaisseurs des joints.

Il est souhaitable que ces opérations de préparation fassent l'objet d'une validation par les différents intervenants d'un chantier avant que le travail de maçonnerie lui-même ne soit démarré.

6.2.2.2. CONTRÔLE DE L'APLOMB ET DE L'HORIZONTALITÉ DES ASSISES

L'aplomb doit être contrôlé régulièrement, au fil à plomb ou au niveau.

Le niveau des assises doit également être contrôlé régulièrement, par exemple au moyen d'un niveau à bulle.

L'aplomb de la paroi peut être assuré par la mise en place au préalable de piges d'angle dont la bonne verticalité a été contrôlée. Celles-ci servent de guide de pose.

Les blocs peuvent être posés « au cordeau », tendu entre ses piges ou entre les poteaux de l'ossature, pour garantir un bon alignement des joints et une bonne horizontalité des assises.

6.2.2.3. CONTRÔLE DE L'ÉPAISSEUR DES MURS

Une mesure directe permettra de contrôler l'épaisseur des murs en cours de montage.

6.2.2.4. CONTRÔLE DE RECTITUDE (PLANÉITÉ DE LA PAROI)

La rectitude doit être contrôlée régulièrement au moyen d'un cordeau tendu sur 10 mètres à la surface du mur ou plus localement à l'aide d'une règle de 1 m minimum, et ce dans toutes les directions du plan vertical du mur (horizontal, vertical, oblique).

D'un bloc à l'autre, dans le plan vertical du mur, un outil possédant une arrête rectiligne (comme une règle courte de 30 cm) permettra d'assurer un contrôle de rectitude et de vérifier qu'il n'existe pas de défauts d'alignement des blocs.

6.2.2.5. CONTRÔLE DE L'ÉPAISSEUR DES JOINTS DE MORTIER ET DE LA FINITION

Une mesure directe permettra de contrôler l'épaisseur de joints, celle-ci devra être comprise entre 10 à 15 mm d'épaisseur.

Il est d'usage courant de tracer sur des piges verticales servant de guide les hauteurs d'assises afin d'obtenir une régularité de pose et donc d'épaisseur des joints horizontaux.

6.2.2.6. RESPECT DE LA CADENCE DE POSE ET DES TEMPS D'UTILISATION DES MORTIERS

Procéder à la pose des blocs rangée par rangée, ne pas dépasser la cadence de pose indiquée à l'article 5.2.1.14.
Cadence de pose et limite d'élévation quotidienne.

Il est impératif de respecter les durées d'utilisation des mortiers

6.2.2.7. PROTECTIONS PARTICULIÈRES ET REPLI DE CHANTIER

Avant la mise en œuvre des murs, il convient de produire des notes explicatives et méthodologiques de réalisation et de protection des ouvrages pendant le chantier et jusqu'au repli de celui-ci.

6.2.2.8. TOLÉRANCES DIMENSIONNELLES

Les tolérances dimensionnelles des ouvrages en BTC, écarts d'implantation (alignement vertical), aplomb (verticalité), planéité (rectitude) et épaisseur seront, sauf spécifications contraires, celles qui sont appliquées aux ouvrages en structures, béton ou bois suivant les cas, auxquels ils sont associés.

Dans tous les cas, elles ne seront pas supérieures aux tolérances qui sont appliquées en général à la maçonnerie de petits éléments¹²⁷ qui sont rappelées dans le tableau 21 ci-dessous.

TABEAU 21 : TOLÉRANCES DIMENSIONNELLES DES MAÇONNERIES

	ÉCART MAXIMAL
Aplomb (Verticalité)	
Sur un étage (ou sur 3 m)	± 20 mm
Sur la hauteur totale d'un bâtiment de 3 étages ou plus	± 50 mm
Écart d'implantation (Alignement vertical)	
Écart d'implantation vertical à l'axe des structures	± 20 mm
Planéité (Rectitude)	
Sur 10 m	± 50 mm
Sur 1 m	± 10 mm
<i>Spécifique BTC</i> : entre deux blocs (sur 30 cm)	± 5 mm
Épaisseur	
De la paroi d'un mur	± 5 mm

Les tolérances relatives à un niveau et les écarts d'implantation des parois de même que des percements doivent rester compatibles avec les hypothèses d'excentricité prises en compte dans les calculs de contraintes des ouvrages.

¹²⁷ NF EN 1996 (EC6) ou NF P 10-202 —NF DTU 20.1 — ouvrages en maçonnerie de petits éléments.

Sauf indication contraire, la première assise d'une maçonnerie ne pourra pas dépasser de plus de 15 mm du bord de l'élément d'implantation : fondation, soubassement, lisse basse, dallage ou du plancher.

La tolérance courante d'alignement (rectitude) des blocs entre eux sur les faces des maçonneries de BTC destinées à rester apparentes ne doit pas faire apparaître un écart de ± 5 mm sous la règle de 30 cm, hors profil en creux spécifique des joints.

Ces écarts admissibles pourront être ajustés en fonction de l'exigence de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre.

7. DÉSORDRES ET TRAITEMENTS

Avertissement

Ce document concerne la réalisation d'ouvrages neufs conçus et exécutés selon les règles de l'art et dont le respect garantit l'absence de malfaçons et de désordres. Dans un but d'information, le présent chapitre présente les principaux désordres pouvant apparaître lors de la mise en œuvre, leurs causes ainsi que quelques moyens d'y remédier.

7.1. ORIGINES DES DÉSORDRES

Les désordres susceptibles d'affecter un ouvrage en BTC peuvent être dus à :

Des défauts de conception de l'ouvrage

- Erreur de dimensionnement (élancement des murs, longueur, épaisseur, joint de retrait).
- Système constructif inadapté : mauvaise conception de l'ossature, absence de chaînages, absence de contreventement des ouvrages, etc.
- Concentration trop importante des charges / mauvais dimensionnement des appuis.
- Mauvaise prise en compte des tassements différentiels.
- Défaut de protection de l'ouvrage en particulier à la base et au sommet.
- Défaut de conception des rejets d'eau et des relevés d'étanchéité.
- Absence de coupure des remontées capillaires.
- Liaison des interfaces avec les autres matériaux inadaptés.

Les désordres typiques des bâtiments en BTC peuvent être évités par une bonne démarche de conception. Il s'agit en effet de « savoir bien construire en BTC » (*cf. partie 3. et partie 4*).

Des défauts de mise en œuvre

- Mauvaise qualité des BTC ;
- Maçonnerie réalisée avec des BTC trop humides ou mise en œuvre sans protection durant une période de fortes pluies ;
- Défaut de consistance ou de composition des mortiers ;
- Défaut dans le mélange des constituants du mortier ;
- Défaut d'appareillage ;
- Défaut de protection de l'ouvrage ;
- Mauvaise réalisation des joints entre ossature et remplissage ;
- Défaut d'ancrage entre ossature et remplissage.

Les désordres courants pouvant apparaître lors de la mise en œuvre peuvent être évités en respectant les indications données dans cet ouvrage concernant la qualité des BTC, les étapes et procédés de mise en œuvre (*cf. partie 5*), ainsi que les procédures de contrôle couvrant ces aspects (*cf. partie 6*).

Des défauts d'exploitation ou d'entretien des bâtiments

- Transformation des abords ou de la topographie (rehaussement des sols extérieurs par exemple).
- Mauvais entretien de la couverture.
- Mauvais entretien des drainages.
- Mauvais entretien des évacuations des eaux.
- Mauvais entretien des murs (usage des produits corrosifs, d'abrasifs puissants ou d'eau sous pression).

Un entretien régulier respectant des règles simples garantira la pérennité de l'ouvrage dans le temps : système de drainage propre, fonctionnel, soubassements dégagés et hauteur minimum maintenue, collecteurs d'eaux pluviales entretenus, couverture et étanchéité des toitures fonctionnelles.

L'attention du maître d'ouvrage sera attirée sur les conditions d'entretien des murs et des éléments contigus qui ne doivent pas être nettoyés par utilisation d'eau sous pression.

Des défauts liés à des travaux connexes réalisés a posteriori

- Travaux entraînant une surcharge inacceptable ou un affaiblissement des maçonneries (par exemple : surélévation de la construction, création de planchers, création d'appui ponctuel, percement de baie).
- Défaut de dispositif de protection ou d'évacuation entraînant une présence prolongée d'eau en contact direct du mur (par exemple : modification des profondeurs de protection des couvertures ou appuis de baie, relevés d'étanchéité inadaptés sur les surfaces verticales).
- Ajout d'équipements apportant de l'eau liquide en contact direct avec le mur (par exemple l'installation de climatiseurs avec mauvaise anticipation de l'évacuation de l'eau de condensation).
- D'une manière générale : tous travaux ou transformations inappropriés réalisés a posteriori sur le bâtiment ou sur les maçonneries.
- Traitement inadapté de la surface des murs (par exemple : revêtement imperméable sur les 2 faces d'un mur ne permettant plus une régulation correcte des échanges de vapeur d'eau).

Cette liste reprend les causes les plus courantes constatées d'apparition de désordres d'un ouvrage en BTC. Elles ne sont d'ailleurs pas spécifiques au BTC.

Toutes modifications apportées à des constructions en BTC doivent être conçues en respectant les mêmes principes que ceux définis dans les parties 3 et 4.

7.2. DESCRIPTIONS ET TRAITEMENTS DES DÉSORDRES

7.2.1. DÉSORDRES À LA MISE EN ŒUVRE DE L'OUVRAGE

Désordres	Causes des désordres	Traitements
Variation involontaire de la couleur du mur	Qualité / homogénéité inconstante des BTC mis en œuvre.	Corriger les problèmes de qualité des matériaux réceptionnés.
Dégradation importante en surface du mur avec perte de matière	BTC de mauvaise qualité n'ayant pas dû être réceptionnés. Mauvaise protection des ouvrages en cours de réalisation. Mauvaise qualité de mortier. Incompatibilité du mortier avec les BTC.	Reprises partielles ou totales des murs. Corriger les problèmes de qualité des matériaux réceptionnés. Corriger la mise en œuvre pour les murs suivants.
Fissures de retrait	Mortier trop humide. BTC trop humides. BTC de mauvaise qualité ne respectant pas le temps de séchage.	Validation ou reprises partielles ou totales des murs. Reboucher la fissure. Enduit ou peinture avec produits adaptés.
Épaufrures	Incident au cours du chantier.	Reprises des zones endommagées par matage de mortier. Mise en place de protections d'angles
Géométrie du mur non conforme	Erreur ou défaillance des niveaux. Mur monté trop rapidement ou mortier trop humide entraînant un affaissement.	Validation ou reprises partielles ou totales des murs. Risque de ruine : démolition puis reconstruction.

7.2.2. DÉSORDRES DUS À LA PRÉSENCE INDÉSIRABLE D'EAU

Désordres	Causes des désordres	Traitements
MUR HUMIDE Tache d'humidité Suintement Ruissellement en surface Érosion Moisissures	Défaut de protection du mur pendant le chantier. Défaut d'évacuation des eaux sur les protections mises en place.	Corriger la protection du mur.
	Manque d'entretien de la toiture, des chéneaux ou descentes d'eau entraînant des fuites ou ruissellements d'eau de pluie sur l'arase ou le long du mur, rejaillissement d'eau.	Identifier et localiser l'origine de la venue d'eau. Supprimer l'arrivée d'eau et /ou corriger le défaut d'étanchéité ou d'évacuation.
	Stagnation ou accumulation d'eau au niveau des éléments horizontaux (ossature apparente, saillies, balcon, plancher, toiture, etc.).	Si nécessaire : Nettoyage par moyens adaptés / égrenage ou grattage des surfaces, des revêtements ou peintures en place / Réfection des surfaces, revêtements de façade ou peintures.
	Ruissellement et infiltration au niveau des ouvertures (appui, linteau).	Nettoyage et grattage des joints entre ossature et remplissage / reprise de joints. Ajout éventuel d'un larmier si nécessaire.
	Stockage, dépôt de matières ou d'objets contre les ouvrages. Végétation type buisson, arbuste, arbre, poussant en contact du mur	Déplacer le dépôt à distance suffisante des ouvrages. Supprimer / Tailler la végétation pour éviter le contact. Nettoyage / grattage des surfaces, revêtements ou peintures en place / Réfection des surfaces, revêtements de façade ou peintures..
	Remontée du niveau du sol extérieur au-dessus du soubassement suite à modification de la voirie ou à des remblais.	Retrouver le niveau d'origine projeté du sol extérieur.

7.2.3. DÉSORDRES LIES À UN DÉFAUT DE CONCEPTION STRUCTUREL

Désordres	Causes des désordres	Traitements
Fissure sous une charge concentrée, poutre ou poteau	Défaut de répartition de la charge de l'ossature, fléchissement des poutres entraînant une mise en charge des maçonneries.	Si risque structurel avéré, reprise en sous-œuvre afin de réduire les contraintes (poutre ou poteau pour une meilleure répartition des charges). Reprise des parties BTC endommagées : rebouchage ou, si nécessaire, enduisage ou reconstruction partielle ou totale du pan de maçonnerie.
Fissure par fléchissement du support / de la poutre basse	Fléchissement de la poutre/support bas du pan de maçonnerie — Défaut de dimensionnement ou surcharge accidentelle.	Si risque structurel avéré, reprise en sous-œuvre afin de réduire la déformation. Reprise des parties BTC endommagées : rebouchage ou, si nécessaire, enduisage ou reconstruction partielle ou totale du pan de maçonnerie.
Fissure du mur au droit des liaisons avec les éléments d'ossature (verticaux ou horizontaux)	Poinçonnement des éléments de liaison sur la maçonnerie ou tassement différentiel entre ossature et remplissage contraint à des éléments de liaisons trop rigides.	Vérifier l'évolution de la fissuration. Si évolution : reprise des liaisons pour éviter le tassement ou le poinçonnement. Reprise des parties BTC endommagées : rebouchage ou, si nécessaire, enduisage ou reconstruction partielle ou totale du pan de maçonnerie.
Désagrégation de la maçonnerie au droit des liaisons métalliques : fissure, décollement, éclatement	Corrosion et gonflement des attaches de liaisons.	Reprise des attaches (traitement anti-corrosion ou remplacement). Reprise des parties endommagées par enduisage ou reconstruction partielle ou totale du pan de maçonnerie.
Fissure du mur aux liaisons des jambages avec les linteaux et les appuis	Sous-dimensionnement des éléments de baie, linteau, jambage, appuis et/ou mouvements différentiels entre eux (tassement, retrait, cisaillement).	Renforcement des éléments sous-dimensionnés pouvant aller, en cas de risque structurel avéré, jusqu'à la reconstruction totale de la baie. Reboucher la fissure.
Fissures entre deux parties de maçonnerie de hauteur différente	Tassement différentiel entre les maçonneries / Absence de joint de tassement.	Reboucher la fissure et créer le joint de tassement.

Remarques :

Différents types de fissures, horizontales, verticales, obliques, susceptibles d'apparaître en divers endroits des maçonneries, peuvent être dues à des mouvements ou tassements différentiels de la structure liés à la nature du sol, à la qualité des fondations ou de l'ossature, ou bien encore à l'existence de poussées mal reprises.

8. QUALIFICATIONS DES ENTREPRISES & ENTREPRISES QUALIFIÉES

8.1. ENTREPRISES DE MAÇONNERIE DE BTC

8.1.1. ENTREPRISE MANDATAIRE

Elles correspondent à celles d'une entreprise de maçonnerie et de béton armé de technicité courante qui assure l'édification de murs porteurs et les travaux de gros œuvre en BTC.

L'entreprise mandataire pourra également être l'entreprise en charge des ossatures, bois ou métal, dans le cadre de la mise en œuvre de maçonnerie de remplissage si elle présente les compétences requises soit en interne dans son personnel soit dans le cadre d'un marché de sous-traitance.

Justification du niveau de qualification pour la pose du BTC

L'entreprise doit pouvoir démontrer a minima son expérience dans l'activité de la construction en maçonnerie de petits éléments apparents ou son aptitude à réaliser les contrôles en lien avec ce type de mise en œuvre.

Pour cela elle doit établir une liste aussi complète que possible des chantiers qu'elle a réalisés en BTC ou justifier de la présence, au sein de son effectif, d'au moins une personne ayant une formation spécifique ou une expérience de la construction en BTC. La qualification de cette personne sera au minimum équivalent au niveau III (N3 — position 1 ou 2) : Compagnon professionnel et de préférence équivalent au niveau IV (N4 — position 1 ou 2) : chef d'équipe ou maître ouvrier¹²⁸.

8.1.2. SOUS-TRAITANCE

Dans le cas où une entreprise ayant répondu à un appel d'offres pour une mise en œuvre d'un lot BTC fait appel à une autre entreprise en sous-traitance, l'entreprise exécutant les travaux doit répondre aux mêmes critères de qualification que ceux décrits pour l'entreprise mandataire dans la partie précédente.

La responsabilité de la bonne exécution des travaux incombe à l'entreprise ayant répondu à l'appel d'offres.

128 Selon la qualification de la Convention collective nationale des ouvriers employés par les entreprises du bâtiment du 8 octobre 1990.91

8.2. ENTREPRISES QUALIFIÉES

8.2.1. ORGANISMES DE CONTRÔLE & TIERCE PARTIE QUALIFIÉE

Contrôles de production / matière & matériaux

Ces contrôles peuvent être effectués par des organismes ou laboratoires disposant de l'agrément ou du matériel adéquat nécessaire (et en particulier pouvant justifier d'un calibrage régulier des outils de contrôles comme les presses de laboratoire).

Contrôle qualité de production / Organisme Tierce Partie (OTP)

Ces missions d'audit qualité ou de contrôle sur site peuvent être réalisées par des organismes tiers désignés qui garantiront le bon déroulement de ces opérations. Rappelons qu'en l'absence de marquage CE et de normes européennes sur ces produits, ils n'ont pas vocation à présenter une habilitation spécifique.

Contrôle sur chantier

Dans tous les cas un contrôle sur chantier est réalisé en interne de l'entreprise (auto-contrôle). Pour les opérations nécessitant une vérification de l'ouvrage en maçonnerie par le calcul, la bonne application sur le chantier du Plan d'Assurance Qualité, reprenant entre autres les opérations de contrôle de réalisation décrites dans la partie 6.2. Contrôles qualité d'exécution, est attestée par une tierce partie qualifiée désignée à cet effet : maître d'ouvrage, son représentant, maître d'œuvre, ingénieur-conseil, etc.

Assistance technique

Il existe de nombreux experts terre en locaux, nationaux ou internationaux pouvant apporter une assistance technique. Localement le principal référent technique est l'association ART.Terre Mayotte.

9. ANNEXE

9.1. ANNEXE 1 — ACRONYMES & SIGLES, GLOSSAIRE, LEGENDES DES ILLUSTRATIONS

ACRONYMES & SIGLES

AFNOR	Association française de normalisation. Organisme chargé de coordonner l'établissement des normes françaises.
AQC	Agence Qualité Construction
C2P	Commission Prévention Produit
CAPEB 976	Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment de Mayotte
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
DEAL	Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
FMBTP	Fédération Mahoraise du Bâtiment et des travaux Publics
SIM	Société Immobilière de Mayotte

GLOSSAIRE

Argile : matière rocheuse sédimentaire détritique, d'origine naturelle, provenant en général de la décomposition de feldspaths granitiques. Elle est le plus souvent à base de silicates ou d'aluminosilicates hydratés de structure lamellaire, se présentant en cristaux fins (plaquettes de quelques micromètres). Dans un sens étendu, il s'agit d'un sédiment composé de particules fines issues de l'altération de diverses roches, caractérisé le plus souvent par son aptitude à changer de consistance en fonction de sa teneur en eau. Par extension, dans ces règles, partie la plus fine de la terre constituée d'un ensemble de minéraux de dimension inférieure à 2 µm et constituant le liant principal des matériaux de construction en terre crue.

Assise : rangée de blocs disposée horizontalement dans la maçonnerie

ATEx : Appréciation Technique d'Expérimentation

Badigeon : liquide appliqué à la brosse sur un mur pour en faire la finition, généralement constitué d'un mélange à base d'eau et de chaux (lait de chaux), et destiné à former un film hydrofuge.

BTC : Bloc de terre comprimée

Capillarité (barrière capillaire) : phénomène physique par lequel un liquide, par exemple l'eau, tend à monter au travers d'un corps poreux. Une rupture ou barrière capillaire permet de bloquer cette progression.

Cisaillement : contrainte mécanique appliquée à un élément résultant de deux forces directement opposées, parallèles ou tangentielles à une face d'un matériau (par opposition aux contraintes normales qui sont appliquées de manière orthogonale à la surface)

Claustra : paroi ou partie de paroi décorative ajourée permettant d'apporter de la lumière, tout en conservant un rôle de séparation avec l'extérieur.

Contreventement / contreventant : disposition destinée à assurer la stabilité d'un ouvrage en permettant à une structure de résister aux efforts horizontaux, de s'opposer aux déformations latérales provoquées par ces efforts ; par ex. triangulation des charpentes, utilisation d'encastres, liaison avec un remplissage rigide : maçonnerie, voile en béton armé,

Compression : action mécanique unidirectionnelle – force, effort ou contrainte – qui tend à raccourcir l'élément sur lequel elle s'applique. La compression est le plus souvent entendue comme un effort s'exerçant verticalement.

Cordeau : cordelette tendue entre deux points fixes et qui sert à matérialiser provisoirement une ligne droite. Celle-ci sert de repère pour l'exécution de façon nette et régulière des assises des blocs.

Cure : utilisée pour *cure humide*, soit un temps prolongé durant lequel on minimise l'évaporation de l'eau contenue dans le matériau pour éviter une dessiccation trop rapide. Elle sert à favoriser la prise des liants hydrauliques et le durcissement des matériaux jusqu'au développement d'une résistance suffisante.

Déformé : déplacement par courbure plane d'un élément de structure, généralement une poutre, après une déformation par flexion. De trop grands déplacements peuvent entraîner la fissuration des parois maçonnées.

Dégraissant : produit ajouté lors du mélange à une terre généralement trop riche en argile, dite terre « grasse », principalement pour limiter les phénomènes de retrait du matériau lors du séchage. Il permet également de limiter parfois l'adhérence du mélange humide sur les équipements de production, en particulier les parois des moules des presses. Il peut s'agir de graviers, de sables, de pouzzolanes, etc.

Dessiccation : Séchage, perte par évaporation de l'eau contenue dans les matériaux, BTC et mortier. Une dessiccation trop rapide peut parfois entraîner des dégradations non souhaitées.

Écornure : éclatement localisé de l'angle d'un bloc de maçonnerie ou d'une paroi.

Épaufrure : éclatement localisé de l'arête d'un bloc de maçonnerie ou d'une paroi.

Élancement : Rapport de la hauteur d'un élément sur son épaisseur (entendue ici comme sa plus petite dimension dans le plan horizontal).

Étanche : propriété d'un matériau à empêcher le passage des fluides, principalement l'eau, sous forme liquide ou de vapeur, mais aussi l'air.

Évidement : empreinte, trou ou perforation, vertical ou horizontal, réalisés le plus souvent perpendiculairement à la surface d'assise ou de pose du bloc.

Flexion : déformation en courbure caractérisée par un fléchissement des éléments.

Fissure : Fente de longueur, de largeur et de direction quelconque intéressant une partie de l'épaisseur d'une face de paroi ou d'un matériau. Elle est dite traversante lorsqu'elle relie deux faces opposées de l'élément.

Face de pose : Face supérieure du bloc dans la position en œuvre, recevant le lit de mortier destiné à constituer le joint horizontal supérieur.

Face d'appui : Face inférieure du bloc dans la position en œuvre, prenant appui sur le mortier inférieur, constituant le joint horizontal inférieur

Gâchage : action de mélanger avec de l'eau les constituants d'un mortier ou d'un béton

Granulat : matériau minéral inerte constitué de fragment de roche, d'une taille inférieure à 80 mm (sables, gravillons, graviers, etc.), le plus souvent destiné à entrer dans la composition des matériaux de type béton, mortier, etc. Parfois nommé également agrégat.

Imperméable : propriété d'un matériau qui ne se laisse pas traverser par un liquide, notamment entendu comme empêchant le passage de l'eau. Il ne s'oppose pas au passage des fluides gazeux.

ITE : Isolation thermique par l'Extérieur

ITI : Isolation thermique par l'Intérieur

Liant : élément permettant de coller entre eux les divers granulats d'une terre ou d'un mélange terres et granulats. Ils lient ces éléments lors du séchage pour former un matériau dur. Il peut s'agir entre autres de liants argileux, de liants dits aériens ou hydrauliques (chaux et ciment principalement).

Liant aérien ou hydraulique : Le liant hydraulique est un liant répondant aux conditions des normes NF EN 197-1, NF 14647 ou NF P15-314 pour les ciments et NF EN 459-1 pour les chaux hydrauliques naturelles. Le liant aérien est un liant répondant aux conditions de la norme NF EN 459-1 pour les chaux aériennes.

Organique : Qui provient directement ou indirectement de tissus ou d'organismes vivants, plantes, animaux, etc.

Pige : élément gradué servant de guide provisoire lors de l'exécution de la maçonnerie, généralement constitué par un tasseau de bois ou une barre métallique et couramment utilisé par paire. Les piges sont alors fixées verticalement aux deux extrémités des panneaux de maçonnerie et servent de repère pour tendre un cordeau et contrôler la hauteur des assises et la verticalité du mur.

Résiliente (bande résiliente) : aptitude d'un matériau à absorber des déformations puis à retrouver sa forme initiale.

Serrage : pression exercée sur la face visible du mortier du joint lors de sa finition. Réalisé à frais, lorsque celui-ci est encore malléable, il permet d'obtenir le profil et l'aspect définitif du joint, soit une texture plus ou moins lisse. La pression exercée permet de densifier localement la matière, la rendant moins sensible à l'abrasion et à la pénétration de l'eau.

Stabilisation : opération qui consiste à rendre le matériau moins sensible à l'eau, en général par l'ajout d'un adjuvant dans la masse. Cet adjuvant peut être de différentes natures. Les plus courants pour les BTC sont les liants hydrauliques ou aériens comme le ciment ou la chaux.

Terre : Produit de décomposition de roches naturelles, lequel contient, outre la fraction d'argile assurant la liaison des éléments fins, des limons, du sable, des graviers.

Terre végétale : couche de surface du sol naturel composée principalement d'un mélange de terre et de matières organiques d'origine végétale.

Traction : action mécanique unidirectionnelle – force, effort ou contrainte – qui tend à allonger l'élément sur lequel elle s'applique. La traction est le plus souvent entendue comme un effort s'exerçant dans la direction de l'allongement.

LÉGENDES DES ILLUSTRATIONS

	élément de construction schématique, généralement structurel (fondation, soubassement, dallage, murs, planchers, etc.)
	maçonnerie de BTC
	BTC stabilisée ou brique cuite, pierre, bloc béton, etc.
	béton, béton armé
	bois
	métal
	isolation
	mortier de pose, mortier d'enduit
	mortier hydrofuge, p.e. mortier sable ciment dosé à 600 kg/m ³
	mastic élastomère, joint souple, etc.
	bande résiliente
	barrière ou membrane d'étanchéité
	armature métallique du béton

9.2. ANNEXE 2 — ETAPES DE POSE ILLUSTRÉES

Cette partie indicative illustre les étapes de la pose des BTC en partie courante, il conviendra cependant de respecter les descriptions et prescriptions plus détaillées de la partie 5. *Mise en œuvre, descriptions & prescriptions*



1. Humidifier le plan de pose



2. Disposer la juste quantité de mortier



3. Tremper les BTC stabilisés ou mouiller à la brosse large en aspergeant les BTC non stabilisés



4. Appliquer le mortier sur l'extrémité du BTC ou sur la face verticale du BTC précédent



5. Poser le bloc en poussant



6. Bien caler le bloc en le faisant translater



7. Contrôler l'horizontalité avec un niveau



8. Contrôler l'alignement avec un cordeau



9. Contrôler l'épaisseur des joints avec une pige graduée



10. Contrôler la verticalité avec une pige d'angle (et/ou au fil à plomb)



11. Retirer l'excès de mortier immédiatement



12. Tracer proprement les joints quand le mortier est encore frais et malléable pour un jointoiment immédiat



13. Nettoyer

Attention :

Ne pas remplir les joints verticaux après la pose des blocs :

- Perte de temps
- Risque de salissure des blocs
- Risque de rembourrage partiel

Ne pas frapper le bloc avec un objet dur pour l'amener à la position correcte. Si le mortier est trop épais et dur pour pouvoir l'enfoncer avec les mains, changer la couche de mortier.

Ne pas soulever le bloc pour pousser du mortier une fois qu'il a été placé. Mieux vaut enlever le bloc et remettre une nouvelle couche de mortier.

9.3. ANNEXE 3 — RECOMMANDATIONS POUR LA FABRICATION DES BTC

9.3.1. LES CONSTITUANTS

Les matériaux constituant les BTC sont définis dans la norme XP P13-901.

En particulier, ils peuvent être :

- **soit un sol naturel** provenant de l'emprunt ;
- **soit un matériau reconstitué**, fabriqué par mélange d'une argile ou d'une terre argileuse avec d'autres constituants tels qu'un dégraissant (sable, pouzzolane), ou un correcteur granulométrique (grave, sable, silt, ou un autre sol naturel) ;
- **soit un matériau (naturel ou reconstitué)** stabilisé par un liant hydraulique (ciment, chaux) ou par une chaux aérienne.

Le choix du matériau et de son élaboration plus ou moins poussée dépend du type de BTC¹²⁹ à fabriquer, de l'utilisation prévue (CL1 à 4), des performances mécaniques recherchées (Rc) et des sollicitations environnementales requises (comportement à l'humidité, résistance à l'abrasion).

L'étude de formulation (9.3.4.) permet de définir les proportions de chaque constituant pour obtenir les performances et caractéristiques requises.

9.3.2. CARACTÉRISTIQUES DES SOLS UTILISABLES

Les matériaux utilisés pour la fabrication des BTC seront conformes aux spécifications stipulées dans la norme XP P13-901.

Les caractéristiques des terres ou des mélanges terre-granulats utilisables, granularité et plasticité, définis à l'*annexe*

9.4 *Caractéristiques des terres ou des mélanges terre/granulats pour btc et mortier*, pourront être identifiées par :

- Leur granulométrie (selon la norme NF EN ISO 17892)
- Leur « argilosité » : limites d'atterberg (LL et IP), éventuellement complété par leur valeur au Bleu VB (Limite d'Atterberg, afin de déterminer l'indice de plasticité et la limite de liquidité de la terre selon la norme NF EN ISO 17892-12, essai au bleu de Méthylène selon la norme NF P 94-068 afin de quantifier la fraction argileuse sur la fraction 0/5 mm de la terre).
- Les sables par leur « équivalent de sable » (ES).
- Les graves par un essai de propreté.

Les matériaux utilisables devront être exempts de matières organiques, la valeur maximale autorisée est inférieure à 1% en masse de matière sèche¹³⁰. Ils devront également être exempts de débris végétaux (racines) et de sels solubles (sulfates et chlorures)

¹²⁹ classement des blocs selon la norme XP P13-901

¹³⁰ Si nécessaire un dosage en matières organiques par méthode chimique selon la norme NFP 94-055 peut-être réalisé. Une terre prélevée sous la couche de terre végétale contient généralement un taux de matières organiques inférieur à 1% et ne nécessite pas la réalisation de ce test.

9.3.3. LES CARRIÈRES ET SOURCES DE MATERIAUX – RECONNAISSANCE – CHOIX

Terre crue de construction

Les carrières de sols argileux et des autres composants éventuels (dégraissants, correcteurs granulométriques, terres de terrassement) doivent être reconnues préalablement à leur exploitation afin de s'assurer de :

- leur puissance (volume exploitable) ou leur disponibilité ;
- leurs caractéristiques ;
- leur homogénéité.

Une bonne connaissance du site exploitable sera obtenue par des sondages par puits manuels ou à la pelle mécanique jusqu'au substratum. Cette reconnaissance du site est confiée à un géotechnicien, un laboratoire spécialisé ou à un organisme expérimenté.

Chaque relevé de sondage mentionne :

- l'épaisseur de terre végétale et de découverte ;
- la description visuelle et l'épaisseur des couches exploitables ;
- la profondeur atteinte ;
- les échantillons prélevés.

Le nombre de sondages et leurs espacements (maillage) dépendent de la configuration du terrain, des volumes à extraire, et de l'hétérogénéité du site. Il doit être adapté sur place en fonction du terrain.

Les matériaux argileux peuvent être également issus de chantiers nécessitant la mise en dépôt de terres d'excavation en excès (fouilles de fondation, de tranchée, de puits, terrassements de plates-formes, déblais de chantiers routiers). Dans cette hypothèse, l'entreprise adjudicataire devra en être informée avant le démarrage des travaux afin de prévoir une extraction des matériaux sélectionnés sans mélange avec des sols impropres, ainsi qu'une éventuelle mise en dépôt provisoire.

L'étude de laboratoire consistera à :

- Regrouper les échantillons par sols types
- Réaliser sur le (ou les) sol(s) type(s) obtenu(s) les essais d'identification requis :
 - Teneur en eau naturelle W_{nat} ,
 - Analyse granulométrique par voie humide,
 - Sédimentométrie,
 - Limites d'Atterberg et VB,
 - Optimum de teneur en eau suivant compaction de la presse de production utilisée ;
- Estimer les volumes de terre végétale et découverte ;
- Estimer les volumes disponibles pour chaque sol type.

Matériaux correcteurs

Les sables et graves sont généralement issus d'une carrière de production de matériaux de construction pour le BTP équipée d'une station de concassage criblage. La démarche consistera à se procurer les caractéristiques du matériau (granulométrie, ES, propreté), à s'assurer de leur disponibilité pour la période de fabrication des BTC ainsi que des volumes disponibles.

9.3.4. ÉTUDE DE FORMULATION

La validation d'un matériau destiné à la fabrication de BTC nécessite la réalisation d'une étude de formulation menée conjointement par l'opérateur équipé de l'outillage de production des BTC et l'organisme en charge des essais (laboratoire indépendant ou en interne de l'entreprise de production). L'étude consiste à tester des blocs fabriqués sur la chaîne de production pour mesurer l'évolution de leurs caractéristiques en fonction de leur composition :

- terre crue ou améliorée par correction granulométrique ;

- apport d'un liant ;
- teneur en eau au moulage.

Les caractéristiques à étudier sont :

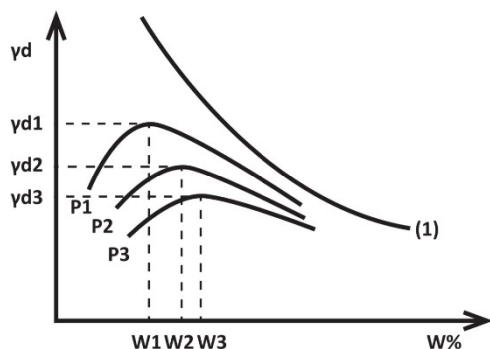
- Aspect au démoulage¹³¹
- Gradient de densité¹³²
- Couleur
- Résistance mécanique sèche
- Comportement à l'humidité
- Résistance mécanique humide si nécessaire
- Résistance à l'abrasion si nécessaire
- Variation dimensionnelle au séchage si nécessaire
- Optimum de teneur en eau pour une formulation donnée avec une presse donnée
- Aptitude au liant : chaux ou ciment et optimum de teneur en liant.

Les résultats de ces essais permettent de définir et de classer les blocs selon la norme XP P13-901.

9.3.5. AJUSTEMENT DE LA TENEUR EN EAU ET DU TAUX DE COMPRESSION

L'étude de formulation devra comporter une phase permettant de faire varier le taux de compression afin d'optimiser la densité du bloc pour en maximiser ses performances mécaniques.

Cette étude sera menée conjointement avec le choix d'une teneur en eau de moulage des blocs puisque l'optimum de teneur en eau (W_{opt}) dépend de l'énergie de compactage :



(1) : courbe de saturation du sol

P : pression de moulage :

$P_1 > P_2 > P_3$

γ_d : densité sèche

$\gamma_{d1} > \gamma_{d2} > \gamma_{d3}$

$W_{opt}\%$: teneur en eau optimum

$W_1 < W_2 < W_3$

On définira une plage de teneur en eau acceptable autour de W_{opt}

9.3.6. PRÉPARATION ET EXPLOITATION DES CARRIÈRES

La préparation de l'emprunt consiste à éliminer les matériaux impropres à la fabrication des blocs et à favoriser l'écoulement des eaux de ruissellement.

On procédera à :

- un dessouchage éventuel ;
- un décapage de la terre végétale et sa mise en cordon selon les indications de l'étude géotechnique ;
- une mise en dépôt de la découverte ;
- un nivellement de la surface pour éliminer les points bas formant cuvette.

¹³¹ Un aspect défectueux au démoulage traduit une granulométrie inadaptée :

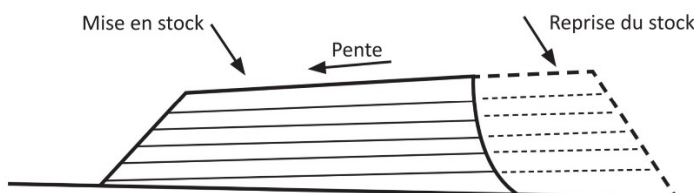
- Présence de nids de cailloux- ségrégation : granulométrie trop « creuse »
- Écornures, Épaufrures : manque de fines argileuses.

¹³² Le gradient de densité peut être corrigé en modifiant la pression de moulage.

L'extraction de la couche exploitable devra assurer l'homogénéisation du matériau. On adoptera une exploitation frontale et sur toute l'épaisseur de la couche (ou sur une forte épaisseur) pour recouper la sédimentation naturelle des couches géologiques. La mise en dépôt provisoire devra respecter les trois conditions suivantes qui assureront l'homogénéisation du sol et la maîtrise de la teneur en eau :

- Approvisionnement par couches horizontales
- Reprise du stock par un front vertical
- Pentage de la surface

Pour une mise en dépôt de longue durée on devra compacter la surface au rouleau ou assurer une protection par bâchage.



9.3.7. UNITÉS DE FABRICATION

L'unité de production comporte une chaîne de fabrication précédée d'une aire de stockage / alimentation et suivie d'une aire de cure puis d'une zone de stockage final.

L'aire de stockage doit permettre d'assurer la protection des différents matériaux contre les intempéries. Elle doit aussi être aménagée et suffisamment vaste ou équipée de silos ou de rack de stockage pour éviter la contamination des différents matériaux entre eux.

Le stockage sur site pourra se faire sous bâches en saison des pluies. L'aire de stockage doit permettre un drainage correct des eaux. Il est préférable d'aménager une aire de stockage présentant une légère inclinaison.

Les liants destinés à la fabrication seront stockés à l'abri de la pluie, mais également protégés des remontées d'humidité du sol, des projections de boue. Si plusieurs types de liant sont nécessaires à la fabrication, leur stockage sera séparé pour éviter des erreurs ou des mélanges accidentels.

La chaîne de fabrication comporte selon la nature des matériaux, leur consistance et les ajouts à prévoir, outre la presse de production des BTC, tout ou partie des équipements suivants :

- Un crible pour éliminer les cailloux dont la dimension est supérieure au D max admissible.
- Un désagréateur / démotteur assurant la bonne fragmentation des terres. Le D max des mottes d'argile devant être inférieur à 10 mm et 50 % de celles-ci inférieures à 5 mm.
- Un malaxeur pour assurer le mélange des différents composants et du liant éventuel. Ce malaxeur peut être équipé d'une rampe d'arrosage multi-jets pour l'humidification progressive du mélange à la teneur en eau souhaitée. Dans ce cas, la quantité d'eau ajoutée est maîtrisée par un débitmètre ou un compteur.
- Des doseurs (godets, seaux, récipients gradués, etc.) pour garantir les proportions des mélanges.
- Un matériel de mesure de la teneur en eau du mélange.

L'organisation de la production sera différente selon qu'elle est réalisée dans le cadre de petites unités de production artisanales (ou briqueteries) au moyen de presses généralement manuelles ou semi-mécanisées, voire motorisées ou bien dans le cadre d'unités de production semi-industrielles et industrielles empruntant, dans ce cas, les principes et modes d'organisation de l'industrie de la brique cuite ou des produits silico-calcaires classiques.

9.3.8. CURE - SÉCHAGE

La cure des blocs est achevée lorsqu'ils peuvent être manipulés sans risque de déformation, de dégradation, d'écornure.

- Pour les blocs stabilisés au ciment, une cure de 4 semaines (28 jours) minimum est nécessaire.
- Pour les blocs stabilisés à la chaux aérienne, une cure de 8 semaines minimum (56 jours) est nécessaire.

La cure des produits stabilisés avec des liants hydrauliques doit s'effectuer en atmosphère humide au minimum pendant les 7 premiers jours pour éviter l'évaporation trop rapide de l'eau et favoriser une meilleure prise des liants jusqu'au durcissement. Les lots produits pourront par exemple être stockés, après leur fabrication, enveloppés par des bâches, des membranes ou de films plastiques imperméables (film polyéthylène, PVC, etc.) qui limitent les échanges humides et évitent la dessiccation due à des conditions atmosphériques défavorables (vent) et permet l'augmentation de la température interne du matériau lors des phases de prise du liant.

L'aire de cure devra être à l'abri des intempéries (pluies) et d'une dessiccation trop rapide (soleil, ventilation trop forte) qui se manifeste par l'apparition de fissures occasionnées par le retrait. Elles sont peu profondes et sont surtout inesthétiques.

Le stockage des blocs devra également s'effectuer protégé des remontées d'humidité par capillarité du sol (palettes, bâches, aire bétonnée, etc.).

9.4. ANNEXE 4 — CARACTÉRISTIQUES DES TERRES OU DES MÉLANGES TERRE/GRANULATS POUR BTC ET MORTIER

Cette annexe informative donne des éléments pour le choix des terres ou des mélanges terre/granulats destinés à la réalisation des BTC et des mortiers de pose à base de terre. Les caractéristiques décrites donnent dans la plupart des cas des résultats satisfaisants.

La terre destinée à la construction en BTC désigne le matériau de base composé essentiellement et dans des proportions données, des composants suivants, avant tout mélange avec un liant ou l'eau : gravier, sable, silt et argile. Ces composants peuvent être définis selon une classification métrique ou en ce qui concerne les fines par leur nature minéralogique.

Les principales caractéristiques de la terre sont définies par :

- leur granulométrie,
- leur plasticité,
- leur « argilosité » (quantification de la fraction argileuse)
- leur nature.

De nombreuses terres conviennent à la fabrication des BTC et des mortiers, à condition qu'il ne s'agisse pas de terres organiques¹³³.

Les diverses caractéristiques détaillées dans la présente annexe s'appliquent **au matériau qui sera par la suite soit comprimé pour la réalisation des blocs soit utilisé comme mortier pour maçonner des blocs**. Cela signifie donc que ce matériau est généralement préparé (par ex. tamisage, broyage, etc.) et parfois mélangé au préalable. Selon les cas ce matériau peut être constitué de terre seulement ou d'un mélange de terre plus d'éventuels dégraissants ou granulats, tels que sable, pouzzolane, etc.

GRANULARITÉ

La granularité du matériau utilisé sera de préférence inscrite dans le fuseau du diagramme de texture qui suit et dont elle épousera l'allure générale. Les limites du fuseau recommandé sont approximatives. Les matériaux dont la texture est inscrite dans le fuseau donnent dans la plupart des cas des résultats satisfaisants.

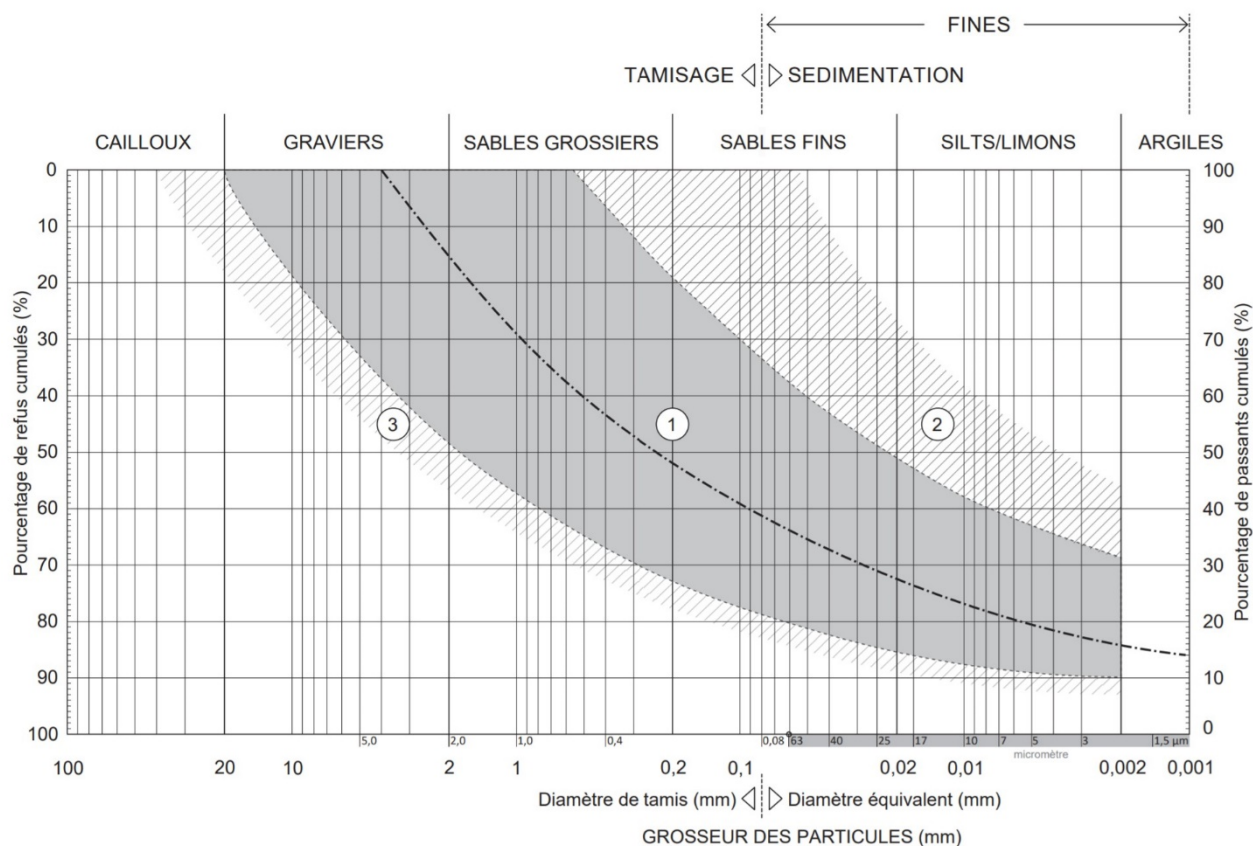
Les essais de caractérisation sont réalisés suivant la norme NF EN ISO 17892

En règle générale, avant fabrication, le matériau est écrêté à :

- à un diamètre $D_{\max} \leq 10$ mm pour la fabrication des blocs, mais plus souvent à $D_{\max} \leq 4$ mm pour l'obtention des blocs présentant un état de surface de grains fins ;
- à un diamètre $D_{\max} \leq 4$ mm pour la fabrication des mortiers.

¹³³ La terre végétale par exemple, trop riche en matière organique, ne convient pas à ces fabrications.

FIGURE 70 : FUSEAU DU DIAGRAMME DE TEXTURE DES TERRES



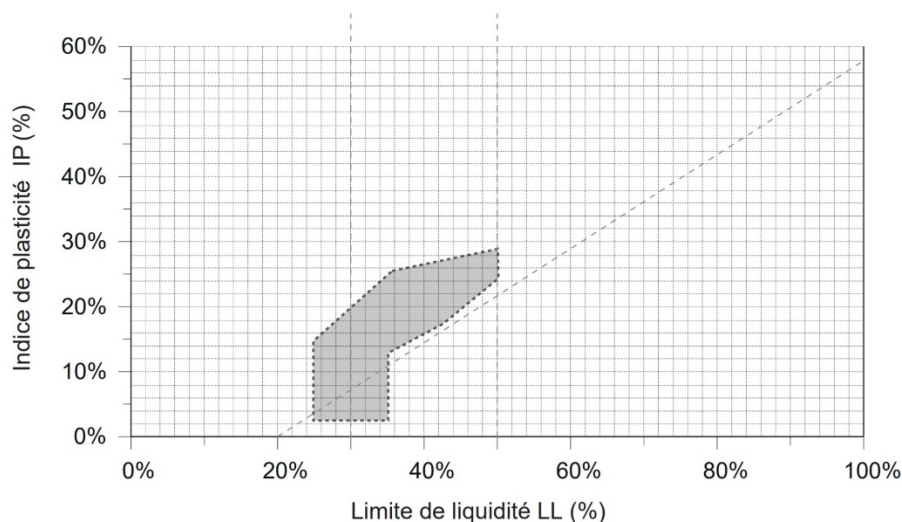
- ① Fuseau préférentiel des terres ou des mélanges terres/granulats pour le BTC
- ② Terre fine, nécessitant potentiellement une préparation par ajout d'un dégraissant par exemple graviers ou sables grossiers (*une partie des terres utilisées à Mayotte sont contenues dans ce fuseau avant mélange avec des sables*)
- ③ Terre graveleuse ou sableuse, nécessitant potentiellement une préparation par tamisage

PLASTICITÉ

La plasticité du matériau sera de préférence inscrite dans le fuseau du diagramme de plasticité qui suit. Les limites du fuseau sont approximatives. Les matériaux dont la plasticité est inscrite dans le fuseau recommandé donnent dans la plupart des cas des résultats satisfaisants. Les matériaux dont la plasticité n'est pas inscrite dans le fuseau peuvent quand même donner des résultats acceptables, mais il faudra alors les soumettre à un ensemble d'essais permettant de vérifier leur convenance.

Les essais de limite d'Atterberg (Diagramme de Casagrande), afin de déterminer l'indice de plasticité et la limite de liquidité de la terre, sont réalisés suivant la norme NF NF EN ISO 17892-12.

FIGURE 71 : FUSEAU DU DIAGRAMME DE PLASTICITÉ DES TERRES



Nature des matériaux

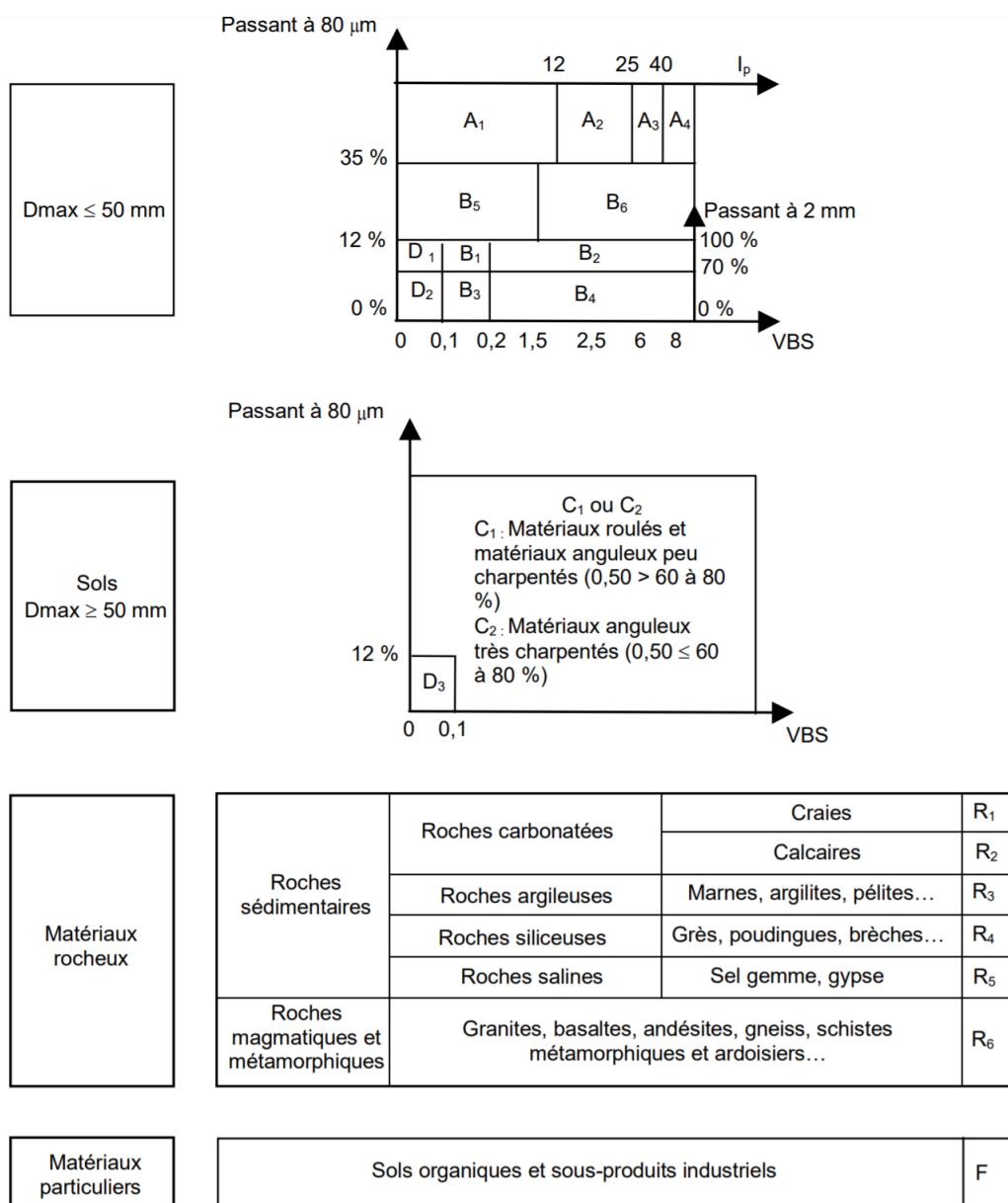
La nature des terres ou matériaux utilisés est déterminée par la combinaison de valeurs issues des essais de granulométrie, plasticité et valeur de bleu de méthylène (VB - les essais au bleu de Méthylène sont menés selon la norme NF P 94-068)

La classification des sols est réalisée selon la nomenclature GTR - norme NF P11-300

La convenance générale des terres est identifiée selon la nomenclature GTR comme suit :

- **A1 : matériau acceptable**, mais ayant un peu trop de fines.
- **A2 : matériau acceptable**, mais ayant trop de fines.
- **A3 : matériau acceptable**, mais demandant une attention particulière car relativement actif.
- A4 : matériau délicat à utiliser car très actif.
- B1 : matériau sableux demandant un rajout de fines pour être acceptable.
- **B2 : matériau acceptable** ayant un léger déficit de fines.
- B3 : matériau sableux demandant un rajout considérable de fines pour être acceptable.
- **B4 : matériau acceptable** ayant un déficit de fines.
- **B5 : matériau acceptable**, mais manquant un peu de fines.
- **B6 : matériau acceptable**, mais manquant un peu de fines.
- C1 : matériau trop graveleux, doit être criblé pour changer sa nature.
- C2 : matériau trop graveleux, doit être criblé pour changer sa nature.
- D1 : matériau sableux demandant un rajout de fines pour être acceptable.
- D2 : matériau sableux demandant un rajout considérable de fines pour être acceptable.
- D3 : matériau graveleux demandant un criblage pour changer sa nature et un rajout considérable de fines pour être acceptable.
- R : matériaux qui ne conviennent pas.
- F : matériaux qui demandent des essais d'identification poussés notamment en ce qui concerne leur analyse chimique et les essais mécaniques avant de pouvoir déterminer leur convenance. Des essais sur des BTC issus d'une préproduction sont à envisager

FIGURE 72 : CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX SELON LEUR NATURE, CLASSIFICATION GTR

**Remarque sur la nature des terres utilisées à Mayotte**

Les terres utilisées aujourd'hui par les briquetiers sont majoritairement des matériaux de sols issus d'excavations ou de déblais de terrassement. Ces matériaux sont la plupart du temps très voisins dans leurs caractéristiques granulométriques : des matériaux fins de type silteux/limoneux, légèrement sableux, avec une proportion d'argile importante, plus ou moins réactive et cohésive.

Leurs plasticités ou leurs valeurs VBS sont proches, tout comme leur classement GTR (sols classés majoritairement en A₂ - plus rarement A₁, A₃, B₅ et B₆). Leur couleur également est assez voisine. Il s'agit le plus souvent de sols du même type, soit des limons argileux peu sableux, brun à rougeâtre.

Ces matériaux présentent généralement un déficit de sables pour être utilisés tels que dans la fabrication de BTC et des mortiers, ce qui est confirmé par toutes les recettes utilisées aujourd'hui par les briquetiers mahorais avec l'ajout de 20 à 30% de sable ou de pouzzolane à la fabrication.

9.5. ANNEXE 5 — CONTRÔLES QUALITÉ DE PRODUCTION

9.5.1. GÉNÉRALITÉS

Le contrôle de la production est une surveillance régulière de la production par le fabricant, permettant de garantir que les produits de construction en production répondent aux règles techniques déterminantes et aux valeurs déclarées. Ce contrôle permet de justifier de la conformité du produit.

Il est décrit dans la norme XP P13-901. À défaut, il pourra par exemple être appliqué les contrôles décrits dans cette annexe¹³⁴.

Le fabricant est responsable du déroulement du contrôle de la production. Il doit disposer du personnel spécialisé, des dispositifs et appareils adaptés ou bien confier le contrôle de production à une structure externe appropriée.

Le contrôle qualité de production porte sur plusieurs aspects :

- Les matières premières ;
- Les procédés et les équipements de productions ;
- Les matériaux produits (contrôle final).

Le fabricant fournira une fiche produit garantissant la catégorie de résistance (Rc) et la classe d'application (CL) des lots de blocs lors de chaque livraison.

9.5.2. LE CONTRÔLE QUALITÉ DES MATIÈRES PREMIÈRES

9.5.2.1. TERRES

Les contrôles qualité des terres utilisées reposent sur les caractéristiques des matières premières données dans la norme XP P13-901 et à l'annexe 9. Il convient au producteur de s'assurer de la convenance des terres employées.

9.5.2.2. LIANT

Les Liants doivent respecter les prescriptions données dans la norme XP P13-901.

¹³⁴ Celle-ci correspond au protocole de contrôle qualité de production de l'ATEx N° 2588

TABLEAU 22 : RÉCAPITULATIF DES OPÉRATIONS DE CONTRÔLE QUALITÉ DES MATIÈRES PREMIÈRES

Vérification des matières premières			
Désignation	Objectif	Méthode / contrôles/essais	Fréquence
Matières premières (terres) à l'extraction ou à la livraison sur le site de production	S'assurer de la convenance de la matière	Selon la norme XP P13-901, annexe 9.3 et 9.4 Réalisation de test de performance sur les BTC produits	Avant la première utilisation de la terre. En cas de changement d'origine (gisement/carrière) En cas de doute, par exemple sur un changement de la nature des matériaux livrés et au minimum une fois par an.
Toutes les matières premières provenant d'un fournisseur (par exemple liant ; ciment et chaux)	S'assurer des caractéristiques et qualités des produits livrés	Contrôle de l'étiquetage / caractéristique technique et date d'utilisation Contrôle visuel de l'état des marchandises livrées	A chaque livraison

9.5.3. LE CONTRÔLE QUALITÉ DES PROCÉDÉS DE PRODUCTION

9.5.3.1. STOCKAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES / AGRÉGATS ET LIANTS

Un contrôle visuel quotidien doit être effectué afin de vérifier du bon stockage des matières premières.

L'aire de stockage doit permettre d'assurer la protection des différents matériaux contre les intempéries. Elle doit aussi être aménagée et suffisamment vaste ou équipée de silos pour éviter la contamination des différents matériaux entre eux.

Le stockage sur site pourra se faire sous bâches en saison des pluies. L'aire de stockage doit permettre un drainage correct des eaux. Il est préférable d'aménager une aire de stockage présentant une légère inclinaison.

Les liants destinés à la fabrication seront stockés à l'abri de la pluie, mais également protégés des remontées d'humidité du sol, des projections de boue. Si plusieurs types de liant sont nécessaires à la fabrication, leur stockage sera séparé pour éviter des erreurs ou des mélanges accidentels.

En cas de souillure, mélange inapproprié ou dégradations des matières premières, les volumes des matériaux concernés doivent être rejetés de la production et faire l'objet d'une mise en décharge.

Ce contrôle devra faire l'objet d'une mention sur une fiche de contrôle.

9.5.3.2. DOSAGE ET MALAXAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES

Un temps de malaxage minimum doit être défini pour chacun des mélanges mis au point. Il doit être tel qu'il permette l'obtention d'un mélange homogène. Ce temps de malaxage minimum devra faire l'objet d'une mesure (minuteur, autre...).

Un temps d'utilisation maximum du mélange en cas d'utilisation de liant hydraulique et après l'introduction d'eau dans celui-ci ne doit pas excéder les 25 minutes. Ce temps doit être respecté et doit également faire l'objet d'une mesure. Il est d'environ 2 heures pour une chaux aérienne. Tout mélange ayant dépassé son temps limite d'utilisation sera rejeté et mis au rebut.

À l'issue du malaxage des différents composants constituant le bloc et avant compression, la qualité du mélange, homogénéité, couleur, humidité et granularité font l'objet d'un contrôle visuel. Le mélange ne doit pas présenter de partie agglomérée, sèche ou humide, ou de mottes ou de nodules d'argile non désagrégés.

Toute anomalie ou particularité devra faire l'objet d'une mention sur une fiche de contrôle et portera la référence du lot produit concerné.

9.5.3.3. COMPRESSION / MOULAGE

Au moment du passage de la matière malaxée à l'étape de compression, il devra être vérifié le bon remplissage en matière, volume et répartition, du doseur ou du moule-doseur le cas échéant, à chaque action de compression dans le cas d'une presse manuelle et au moins au démarrage et à la fin d'un mélange distinct et homogène dans le cas d'une presse automatisée.

La propreté des doseurs et des moules sera vérifiée au début de chaque journée de production, en cas de doutes et régulièrement tous les 500 blocs minimums.

9.5.3.4. CONDITIONS ET TEMPS DE CURE ET DE SÉCHAGE DES MATÉRIAUX PRODUITS

Pour les blocs non stabilisés, le temps de séchage minimum est de 4 semaines. Il faut cependant favoriser un temps plus long de 8 semaines avant la commercialisation des blocs. En cas de doute, un test de mesure de la teneur en eau de blocs peut être effectué.

Le séchage des blocs est achevé lorsqu'ils peuvent être manipulés sans risque de déformation, de dégradation, d'écornure.

Pour les blocs stabilisés au ciment, une cure de 4 semaines (28 jours) minimum est nécessaire.

Pour les blocs stabilisés à la chaux aérienne, une cure de 8 semaines minimum (56 jours) est nécessaire.

La cure des produits stabilisés avec des liants hydrauliques doit s'effectuer en atmosphère humide au minimum pendant les 7 premiers jours pour éviter l'évaporation trop rapide de l'eau et favoriser une meilleure prise des liants jusqu'au durcissement.

Les lots produits avec stabilisant hydraulique pourront par exemple être stockés après leur fabrication enveloppés par des bâches, des membranes ou de films plastiques imperméables (film polyéthylène, PVC, etc.) qui limitent les échanges humides et évitent la dessiccation due à des conditions atmosphériques défavorables (vent) et permet l'augmentation de la température interne du matériau lors des phases de prise du liant.

Un contrôle visuel du stockage des lots en cure humides sous bâche imperméable sera quotidien durant la première semaine de cure. Le contrôle portera sur la qualité du bâchage des lots, parfaitement enveloppés et le plus hermétiquement possible. Les bonnes conditions de cure sont vérifiées par la présence d'eau (gouttes, gouttelettes ou pellicule humide) sur la face intérieure de la bâche de cure.

L'aire de cure et de séchage devra être à l'abri des intempéries (pluies) et d'une dessiccation trop rapide (soleil, ventilation trop forte) qui se manifeste par l'apparition de fissures occasionnées par le retrait. Elles sont peu profondes et sont surtout inesthétiques.

Le stockage des blocs devra également s'effectuer protégé des remontées d'humidité par capillarité du sol (palettes, bâches, aire bétonnée, etc.)

Le contrôle visuel des conditions de séchage ou de cure (hors contrôles de la première semaine) sera hebdomadaire. Les observations seront reportées sur une fiche de contrôle.

Les temps de séchage ou de cure doivent pouvoir être vérifiés. Pour cela les lots devront être identifiés par journée de production, marqués ou étiquetés, de telle sorte qu'aucune confusion entre lots ne soit possible. Chaque lot portera sa date de production, qui servira de date de référence, ainsi que toute autre indication permettant d'assurer un suivi du lot (par ex. nom du responsable de production, lot de matière première, dosage et type de liant utilisé, etc.).

Il peut être utile d'effectuer un double étiquetage, à l'intérieur et à l'extérieur du film de cure ou de la bâche de protection.

La vérification du respect du temps de cure sera effectuée au départ des lots (aire de stockage final ou chantier). Elle fera l'objet d'un enregistrement sur la fiche de contrôle et de suivi des lots.

9.5.3.5. CONDITIONS DE STOCKAGE FINAL DES BLOCS PRODUITS

Elles seront vérifiées visuellement une fois par semaine. Le stockage final des produits se fera de préférence abrité de la pluie et isolé des remontées capillaires du sol.

TABEAU 23 : RÉCAPITULATIF DES OPÉRATIONS DE CONTRÔLE QUALITÉ DES PROCÉDÉS

Vérification des procédés de fabrication			
Désignation	Objectif	Contrôles/ essais	Fréquence
Stockage des matières premières	Éviter les mélanges et souillures et assurer des conditions de stockage adaptées	Contrôle visuel	Une fois par jour
Dosage avant malaxage	Vérification de la propreté de l'usure, du bon fonctionnement des doseurs	Contrôle visuel	Une fois par jour en début de production
Malaxage	Vérification de la propreté de l'équipement	Contrôle visuel	Une fois par jour en début de production
	Respect des temps minimum et maximum de malaxage	Minutage	À chaque mélange
Compression/ moulage	Vérification de la propreté des moules	Contrôle visuel	Une fois par jour en début de production au minimum tous les 150 blocs
	Vérification du dosage / remplissage du moule	Contrôle visuel	À chaque compression si presse manuelle / au début et fin de chaque lot de mélange si automatisé
Cure des blocs	S'assurer du respect des bonnes conditions de cure	Contrôle visuel	Une fois par jour
	Vérifier les temps de cure humide	Identification des lots (marquage ou étiquetage)	Avant stockage final ou vente
Stockage des blocs	Éviter la présence trop importante d'humidité	Contrôle visuel	Une fois par semaine
	Vérifier l'isolement des productions non conformes	Contrôle visuel	Une fois par semaine

9.5.3.6. CONTRÔLE DES ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION

Le tableau 24 après reprend les différents éléments a minima du contrôle à effectuer sur les équipements de productions.

Des contrôles différents de ceux mentionnés dans ce tableau peuvent être réalisés selon le type de matériel et d'équipements utilisés.

TABEAU 24 : RÉCAPITULATIF DES OPÉRATIONS DE CONTRÔLE QUALITÉ DES ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION

Vérification des équipements de production			
Désignation	Objectif	Contrôles/essais	Fréquence
Malaxeur	Vérification de l'usure du matériel	Contrôle visuel	Une fois par jour en début de production
Presse de fabrication	S'assurer du bon fonctionnement de la presse	Contrôle visuel	Une fois par jour en début de production
	Vérification du taux de compression	Par calcul des masses volumiques des blocs produits (Dimensions + pesage)	Lors de l'installation puis à chaque révision — au minimum une fois par an
Moules	Vérification Conformité et usure	Contrôle dimensionnel des blocs produits (voir ci-après contrôle des produits)	En cas de problèmes constatés sur la conformité des produits ou lors du remplacement du moule
Doseur à matières premières	Vérifier la précision du dosage	Vérification des quantités délivrées (volumes et/ou poids)	Lors de l'installation, en cas de doute ou, au minimum, une fois par an

9.5.4. LE CONTRÔLE QUALITÉ DES MATÉRIAUX PRODUITS

Le fabricant doit vérifier régulièrement les propriétés des blocs de terre.

Le contrôle qualité des blocs sera réalisé conformément aux différents essais décrits dans la XP P13-901. Il peut être réalisé suivant :

- Soit les conditions du plan de contrôle de production décrit dans la norme XP P13-901 ;
- Soit les conditions de contrôle mises en place par le producteur, mais présentant la régularité minimum telle que décrite dans la XP P13-901 ou tous les 25 m³ de matériaux produits ;
- Soit les conditions et vérifications de contrôle produits décrits ci-après.

Les contrôles seront différenciés suivant les catégories de bloc CL1, 2, 3 et 4 :

Ces essais portent sur les caractéristiques suivantes :

- vérifications d'aspect et texture ;
- vérifications dimensionnelles ;
- vérifications du comportement sous l'effet de l'humidité ;
- résistances mécaniques — compression sèche ;
- résistance à l'abrasion (si nécessaire).

Les vérifications sont effectuées successivement dans l'ordre des points de la liste précédente. En cas de non-conformité du lot pour une caractéristique, les essais suivants ne sont pas effectués.

Chaque contrôle fait l'objet de l'élaboration d'une fiche ou d'un rapport de contrôle.

9.5.4.1. DÉSIGNATION DU RESPONSABLE

La responsabilité des contrôles et essais incombe au producteur et sont effectués soit sous forme d'auto-contrôle, soit par un tiers désigné ou encore un laboratoire agréé (voir Partie 8.2.1. Organismes de contrôle & tierce partie qualifiée) pour la désignation de ces organismes).

Le producteur, ou l'organisme désigné pour assurer le contrôle assisté du producteur ou de son représentant, effectue les prélèvements.

9.5.4.2. MÉTHODOLOGIE DE CONTRÔLE

Échantillonnage choix et marquage

Le contrôle sur blocs doit s'effectuer sur des lots identifiés et après la fin de leur période de cure ou de séchage. Les blocs sont affectés d'une marque permettant d'identifier le lot dont ils sont issus.

La validité de l'ensemble des contrôles est prononcée au vu d'un plan d'échantillonnage double par attributs (cf NF X 06-021).

L'échantillonnage est effectué sur un lot de contrôle maximum, noté $L_{\max}$, provenant d'une même fabrication. Une fourniture ou une fraction inférieure compte pour un lot.

L'échantillonnage est défini par un nombre de blocs prélevés sur le lot de contrôle concerné, il est noté N_b .

Les valeurs du lot de contrôle $L_{\max}$ et nombre de blocs à prélever N_b est défini ci-après partie 9.5.4.3. par type de contrôle.

Interprétation des résultats des essais — Conditions de conformité du lot

La vérification est effectuée sur la moitié des blocs pris au hasard dans l'échantillon N_b prélevé sur le lot concerné $L_{\max}$.

Soit K_1 le nombre total d'éléments défectueux

- le lot est conforme si $K_1 = 0$;
- le lot est non conforme si $K_1 \geq 2$

Si $K_1 = 1$: la vérification est effectuée sur la moitié des blocs restant de l'échantillon N_b .

Soit K_2 le nombre total d'éléments défectueux dans les deux prélèvements de l'échantillon N_b :

- le lot est conforme si $K_2 = 1$;
- le lot est non conforme si $K_2 \geq 2$

Des conditions spécifiques de non-conformité sont également décrites ci-après partie 9.5.4.3. par type de contrôle.

9.5.4.3. ÉCHANTILLONNAGE PAR LOT ET PAR TYPE DE CONTRÔLE

Vérifications d'aspect

- N_b : 10 blocs sur un échantillon $L_{\max}$ de 5000 blocs pris au hasard par fraction de 500 blocs

Vérifications dimensionnelles

- N_b : 10 blocs sur un échantillon $L_{\max}$ de 5000 blocs pris au hasard par fraction de 500 blocs

Vérifications du comportement sous l'effet de l'humidité : essai par contact

- N_b : 8 blocs sur un échantillon $L_{\max}$ de 16 000 blocs pris au hasard par fraction de 2000 blocs

Vérifications du comportement sous l'effet de l'humidité : essai par immersion

- N_b : 8 blocs sur un échantillon L_{max} de 16 000 blocs pris au hasard par fraction de 2000 blocs

Conditions de conformité spécifique

Le lot est conforme si la moyenne des résultats obtenus sur le prélèvement est conforme aux spécifications. Dans l'hypothèse inverse, la vérification est effectuée sur les blocs restants de l'échantillon.

Le lot est conforme si les moyennes des résultats obtenus sur l'ensemble de l'échantillon sont conformes aux spécifications.

Dans l'hypothèse inverse, le lot est non conforme.

En outre, l'apparition de tout résultat $< 0,8$ fois la définition de la classe correspondante entraîne la non-conformité du lot.

Vérifications de la résistance mécanique — compression sèche

- N_b : 10 blocs sur un échantillon L_{max} de 5000 blocs pris au hasard par fraction de 500 blocs

Conditions de conformité spécifique

L'apparition de tout résultat $< 0,8$ fois la définition de la classe correspondante entraîne la non-conformité du lot.

Vérifications du coefficient de résistance à l'abrasion

- N_b : 6 blocs sur un échantillon L_{max} de 16 000 blocs pris au hasard par fraction de 2000 blocs

Conditions de conformité spécifique

L'apparition de tout résultat $< 0,8$ fois la définition de la classe correspondante entraîne la non-conformité du lot.

9.5.5. TRAÇABILITÉ

9.5.5.1. ENREGISTREMENT DES CONTRÔLES

Les résultats du contrôle de la production doivent être enregistrés et doivent pouvoir être exploités pour assurer un suivi efficace de la qualité de production.

Les enregistrements doivent être conservés et présentables sur demande.

Ils doivent comprendre à minima les essais de contrôle réalisés sur les matières premières et sur les produits.

Ils comprendront au moins les indications suivantes :

- désignation du produit ; date de la fabrication du produit ou de prélèvement le cas échéant ;
- type d'essai ;
- date de réalisation de l'essai ;
- résultats des essais exigés et des essais réalisés en plus et, si nécessaire, comparaison aux exigences ;
- nom et signature du responsable du contrôle de la production.

9.5.5.2. FICHE TECHNIQUE DU PRODUIT

La fiche technique du produit doit indiquer le type de bloc produit selon la désignation de la norme XP P13-901.

La désignation devra comporter dans l'ordre les caractéristiques suivantes, séparées par un tiret « — » :

BTC – Classe d'application – Catégorie de résistance mécanique – Catégorie de masse volumique – Dimensions – Stabilisation – Référence normative

Cette fiche doit être jointe à la palette de livraison.

9.5.5.3. LIVRAISON

Les BTC fabriqués et contrôlés doivent être livrés accompagnés d'un bordereau de livraison où figurent les indications suivantes :

- Identification de l'entreprise de fabrication (nom et adresse) ;
- Identification du lot et références du fabricant ;
- Quantité et désignation des blocs livrés (classe et catégories) ;
- Date de la livraison ;
- Destinataire.

9.6. ANNEXE 6 — NORMES, BIBLIOGRAPHIE ET RESSOURCES DOCUMENTAIRES

9.6.1. REFERENCES NORMATIVES

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

AFNOR, France

XP P13-901 (indice de classement : P13-901) : *Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons : Définitions-spécifications-méthodes d'essai-conditions de réception.*

NF DTU 20.1 (juillet 2020) : *Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - Parois et murs.*

NF EN 1996-2 (juin 2006 - indice de classement : P10-620) : *Eurocode 6 - Calcul des ouvrages en maçonnerie - Partie 2 : conception, choix des matériaux et mise en œuvre des maçonneries.*

NF EN 1996-2/NA (décembre 2007 - indice de classement : P10-620/NA) : *Eurocode 6 - Calcul des ouvrages en maçonnerie - Partie 2 : conception, choix des matériaux et mise en œuvre des maçonneries - Annexe Nationale à la NF EN 1996-2 : 2006 - Conception, choix des matériaux et mise en œuvre des maçonneries.*

NF EN 1996-3 (juin 2006 - indice de classement : P10-630) : *Eurocode 6 - Calcul des ouvrages en maçonnerie - Partie 3 : méthodes de calcul simplifiées pour les ouvrages de maçonnerie non armée.*

NF EN 1998-1/A1 (mai 2013 - indice de classement : P06-030-1/A1) : *Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 1 : règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments.*

NF EN 1991-1-4/NA/A1 (juillet 2011 - indice de classement : P06-114-1/NA/A1) : *Eurocode 1 : Actions sur les structures - Parties 1-4 : Actions générales - Actions du vent - Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4 : 2005 - Actions générales - Actions du vent.*

NF EN 1991-1-4/NA/A2 (septembre 2012 - indice de classement : P06-114-1/NA/A2) : *Eurocode 1 : actions sur les structures - Parties 1-4 : actions générales - Actions du vent - Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4 : 2005 - Actions générales - Actions du vent.*

NF EN 1991-1-4/NA/A3 (avril 2019 - indice de classement : P06-114-1/NA/A3) : *Eurocode 1 : Actions sur les structures - Parties 1-4 : actions générales - Actions du vent - Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4 : 2005 - Actions générales - Actions du vent - Eurocode 1 : Actions sur les structures - Parties 1-4 : Actions générales -*

Actions du vent - Annexe nationale à la NF EN 1991-1-4 : 2005 - Actions générales - Actions du vent.

NF EN 1015-11 (novembre 2019 - indice de classement : P12-311) : *Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - Partie 11 : détermination de la résistance en flexion et en compression du mortier durci.*

NF EN 1015-12 (juillet 2016 - indice de classement : P12-301-12) : *Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - Partie 12 : détermination de l'adhérence des mortiers d'enduit durcis appliqués sur supports - Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - Partie 12 : Détermination de l'adhérence des mortiers d'enduit durcis appliqués sur supports.*

NF EN 1015-18 (mai 2003 - indice de classement : P12-318) : *Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - Partie 18 : détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité du mortier durci.*

NF EN 13139 (janvier 2003 - indice de classement : P18-139) : *Granulats pour mortiers.*

NF EN 197-1 (avril 2012 - indice de classement : P15-101-1) : *Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.*

NF EN 459-1 (août 2015 - indice de classement : P15-104-1) : *Chaux de construction - Partie 1 : définitions, spécifications et critères de conformité.*

NF EN 459-2 (août 2012 - indice de classement : P15-104-2) : *Chaux de construction - Partie 2 : méthodes d'essai.*

NF EN 459-3 (décembre 2015 - indice de classement : P15-104-3) : *Chaux de construction - Partie 3 : évaluation de la conformité.*

NF EN 196-5 (avril 2013 - indice de classement : P15-471-5) : *Méthodes d'essais des ciments - Partie 5 : essai de pouzzolanité des ciments pouzzolaniques.*

NF EN 845-1+A1 (septembre 2016 - indice de classement : P12-521-1) : *Spécification pour composants accessoires de maçonnerie - Partie 1 : attaches, brides de fixation, étriers de support et consoles.*

NF EN 1925 (juillet 1999 - indice de classement : B10-613) : *Méthodes d'essai pour pierres naturelles -*

Détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité.

XP P94-041 (décembre 1995 - indice de classement : P94-041) : *Sols : reconnaissance et essais - Identification granulométrique - Méthode de tamisage par voie humide.*

XP P94-041 (décembre 1995 - indice de classement : P94-041) : *Reconnaissance et essais géotechniques - Essais de laboratoire sur les sols - Partie 4 : Détermination de la distribution granulométrique des particules.*

NF EN ISO 17892-4 (janvier 2018 - indice de classement : P94-512-4) : *Reconnaissance et essais géotechniques - Essais de laboratoire sur les sols - Partie 4 : Détermination de la distribution granulométrique des particules.*

NF P06-014 (mars 1995 + NF P06-014/A1 et NF P06-014/A2) *Règles de construction parasismique - Construction parasismique des maisons individuelles et des bâtiments assimilés - Règles PS-MI 89 révisées 92 - Domaine d'application - Conception – Exécution*

Autres

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, MINISTÈRE DE L'ÉGALITÉ DES TERRITOIRES ET DU LOGEMENT, 2014. *Dimensionnement parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti Justifications parasismiques pour le bâtiment « à risque normal »*. Paris : MEDDE. 28 p.

9.6.2. BIBLIOGRAPHIE ET RESSOURCES DOCUMENTAIRES

Les ouvrages mentionnés ici ne constituent pas une bibliographie complète et systématique. Ils sont loin de couvrir la totalité des ouvrages, documents et recherches scientifiques produits ou menés sur le sujet du BTC. Pour cette raison évidente de place un choix a dû être fait. Seules les références qui nous ont parues les plus importantes ou évidentes à citer le sont.

RÉFÉRENCES NORMATIVES ÉTRANGÈRES SUR LA CONSTRUCTION EN TERRE / BTC

ABNT, Brésil

ABNT NBR 8491:2012 (2012): *Soil-cement brick — Requirements.*

ABNT NBR 8492:2012 (2012): *Soil-cement brick — Dimensional analysis, compressive strength determination and water absorption — Test method.*

ABNT NBR 10833:2012 Versão Corrigida:2013 (2012): *Manufacture of brick and block of soil-cement with use of a manual or hydraulic brickmaking machine — Procedure.*

ABNT NBR 10834:2012 Versão Corrigida:2013 (2012): *Soil-cement block without structural function — Requirements.*

ABNT NBR 10836:2013 (2013): *Soil-cement block — Dimensional analysis, compressive strength determination and water absorption — Test method.*

ABNT NBR 12023:2012 (2012): *Soil-cement — Compaction test method.*

ABNT NBR 12024:2012 (2012): *Soil-cement — Molding and curing of cylindric specimens — Procedure.*

ABNT NBR 12025:2012 (2012): *Soil-cement — Simple compression test of cylindrical specimens — Method of test.*

ABNT NBR 13553:2012 (2012): *Soil-cement materials for monolithic walls of soil-cement without structural function — Requirements.*

ABNT NBR 13554:2012 (2012): *Soil-cement — Durability test by wetting and drying — Test method.*

ABNT NBR 13555:2012 (2012): *Soil-cement — Determination of water absorption — Test method.*

AENOR, Espagne

UNE 41410:2008 (2008) : *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.*

African Organization for Standardization, Kenya

ARS 670:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Standard for terminology.*

ARS 671:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Standard for definition, classification and designation of compressed earth blocks.*

ARS 672:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Standard for definition, classification and designation of earth mortars.*

ARS 673:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Standard for definition, classification and designation of compressed earth block masonry.*

ARS 674:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Technical specifications for ordinary compressed earth blocks.*

ARS 675:1996(1996): *Compressed earth blocks - Technical specifications for facing compressed earth blocks.*

ARS 676:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Technical specifications for ordinary earth mortars.*

ARS 677:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Technical specifications for facing earth mortars.*

ARS 678:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Technical specifications for ordinary compressed earth block masonry.*

ARS 679:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Technical specifications for facing compressed earth block masonry.*

ARS 680:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Code of practice for the production of compressed earth blocks.*

ARS 681:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Code of practice for the preparation of earth mortars.*

ARS 682:1996 (1996): *Compressed earth blocks - Code of practice for the assembly of compressed earth block masonry.*

ANOR, Cameroun

NC 102: 2002-06 (juin 2002): *Blocs de terre comprimée ; Norme de terminologie.*

NC103 : 2002-06 (juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; Norme de définition, classification et désignation des blocs de terre comprimée.*

NC 104 : 2002-06 (juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; Norme de définition, classification et désignation des mortiers de terre.*

NC 105 : 2002-06 (juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; Norme de définition, classification et désignation des maçonneries en blocs de terre comprimée.*

NC106 : 2002-06 (juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; spécifications techniques pour les blocs de terre comprimée ordinaires.*

NC 107 : 2002-06 (juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; spécifications techniques pour les blocs de terre comprimée de parement.*

NC 108 : 2002-06 (juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; spécifications techniques pour les mortiers de terre ordinaires.*

NC 109 : 2002-06 (juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; spécifications techniques pour les mortiers de terre de parement.*

NC 110 : 2002-06 (juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; spécifications techniques pour les maçonneries ordinaires en blocs de terre comprimée.*

NC110 bis: 2002-06 (juin 2002): *Blocs de terre comprimée ; Spécifications techniques pour les maçonneries de parement en blocs de terre comprimée.*

NC 111 : 2002-06(juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; code de bonne pratique pour la production de blocs de terre comprimée.*

NC 112 : 2002-06 (juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; code de bonne pratique pour la préparation des mortiers de terre.*

NC 113 : 2002-06 (juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; code de bonne pratique pour la mise en œuvre des maçonneries en blocs de terre comprimée.*

NC 114 : 2002-06 (juin 2002) : *Blocs de terre comprimée ; Norme de classification des essais d'identification des matériaux et essais mécaniques.*

Association sénégalaise de normalisation, Sénégal

NS ECOSTAND 073-1 (décembre 2017) : *Blocs de terre comprimée - Terminologie.*

NS ECOSTAND 073-2 (décembre 2017) : *Blocs de terre comprimée - Définition, classification et désignation des blocs de terre comprimée.*

NS 02-045. (1999) : *Blocs de terre comprimée. Définition, classification et désignation des mortiers de terre.*

NS 02-046. (1999) : *Blocs de terre comprimée. Définition, classification et désignation des maçonneries en blocs de terre comprimée.*

NS 02-047. (1999) : *Blocs de terre comprimée. Spécifications techniques pour les blocs de terre comprimée.*

NS ECOSTAND 073-6 (décembre 2017) : *Blocs de terre comprimée : Spécifications techniques pour les blocs de terre comprimée de parement.*

NS 02-049. (1999) : *Blocs de terre comprimée. Spécifications techniques pour les mortiers de terre ordinaire.*

NS 02-050. (1999) : *Blocs de terre comprimée. Spécifications techniques pour les mortiers de terre de parement.*

NS 02-051. (1999) : *Blocs de terre comprimée. Spécifications techniques pour les maçonneries ordinaires en blocs de terre comprimée.*

NS 02-052. (1999) : *Blocs de terre comprimée. Spécifications techniques pour les maçonneries de parement en blocs de terre comprimée.*

NS 02-053. (1999) : *Blocs de terre comprimée. Code de bonne pratique pour la production des blocs de terre comprimée.*

NS ECOSTAND 073-8 (décembre 2017) : *Blocs de terre comprimée - Code de bonne pratique pour la préparation des mortiers de terre.*

NS 02-055. (1999) : *Blocs de terre comprimée. Code de bonne pratique pour la mise en œuvre des maçonneries en blocs de terre comprimée.*

NS ECOSTAND 073-5 (décembre 2017) : *Blocs de terre comprimée - Norme de classification des essais d'identification des matériaux et essais mécaniques.*

ASTM International, États-Unis

ASTM E2392/E2392M – 10 (2016) : *Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems.*

CODINORM, Cote d'Ivoire

NI 306 (septembre 1994) : *Bloc de terre comprimée et stabilisée au ciment « Géobéton » - Définitions et spécification.*

NI 307 (septembre 1994) : *Bloc de terre comprimée et stabilisée au ciment « Géobéton » - Méthodes d'essais.*

FASANORM, Burkina Faso

NBF 0.2-001 : 2009 (2009) : *Blocs de terre comprimée – Norme de terminologie.*

NBF 0.2-002 : 2009 (2009) : *Blocs de terre comprimée – Norme de définition, classification et désignation des blocs de terre comprimée.*

NBF 0.2-003 : 2009 (2009) : *Blocs de terre comprimée – Spécifications techniques pour les blocs de terre comprimée ordinaires.*

NBF 0.2-004 : 2009 (2009) : *Blocs de terre comprimée – Spécifications techniques pour les blocs de terre comprimée de parement.*

NBF 0.2-005 : 2009 (2009) : *Blocs de terre comprimée – Code de bonne pratique pour la production de blocs de terre comprimée.*

NBF 0.2-006 : 2009 (2009) : *Blocs de terre comprimée – Code de bonne pratique pour la préparation des mortiers de terre.*

NBF 0.2-007 : 2009 (2009) : *Blocs de terre comprimée – Code de bonne pratique pour la mise en œuvre de maçonneries en blocs de terre comprimée.*

NBF 0.2-008 : 2009 (2009) : *Blocs de terre comprimée – Norme de classification des essais d'identification des matériaux et essais mécaniques.*

German Institute for Standardization, Allemagne

DIN 18945:2018-12 (2018) : *Lehmsteine – Anforderungen und Prüfverfahren.*

DIN 18946:2018-12 (2018) : *Lehmmauermörtel – Anforderungen und Prüfverfahren.*

DIN 18947:2018-12 (2018) : *Lehmputzmörtel – Anforderungen und Prüfverfahren.*

ICONTEC, Colombie

NTC 5324 (décembre 2004) : *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Metodos de ensayo. Condiciones de entrega.*

Indian Standard, Inde

IS 13827 (October 1993) : *Improving Earthquake Resistance of Earthen Buildings - Guidelines. New Delhi: Bureau of Indian Standards.*

IS 1725 (décembre 2013) : *Stabilized soil blocks used in general building construction - Specification (Second Revision).*

Institut national de la normalisation et de la propriété industrielle, Tunisie

NT 21.33 (1996) : *Blocs de terre comprimée ordinaires - spécifications techniques.*

NT 21.35 (1996) : *Blocs de terre comprimée - définition, classification et désignation.*

Kenya Bureau Of Standards (KEBS), Kenya

KS 1070:1993 (1993) : *Specification for stabilised soil blocks.*

NM Adopted Construction Codes, États-Unis

NM 14.7.4 (2015) : *New Mexico earthen building materials code.*

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, Mexique

NMXC-036-ONNCCE-2004 (2004) : *Industria de la construcción – Bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines – Resistencia a la compresión – método de prueba.*

NMXC-037-ONNCCE-2005 (2005) : *Industria de la construcción – Bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines – Determinación de la absorción de agua.*

NMXC-038-ONNCCE-2004 (2004) : *Industria de la construcción – Determinación de las dimensiones de ladrillos, tabiques, bloques y tabicones.*

Some Nigerian Industrial Standards (NIS), Nigeria

NIS 369:1997 (1997) : *Standard for Stabilized Earth Bricks.*

Sri Lanka Standards Institute, Sri Lanka

SLS 1382:2009 (2009) : *Compressed stabilized earth blocks.*

SLS 1382-1:2009 (2009) : *Compressed stabilized earth blocks – Requirements.*

SLS 1382-2:2009 (2009) : *Compressed stabilized earth blocks - Test methods.*

SLS 1382-3:2009 (2009) : *Compressed stabilized earth blocks - Guidelines on production, design and construction.*

Standards New Zealand, Nouvelle-Zélande

NZS 4297:2020 (2020): *Engineering design of earth buildings*.

NZS 4298:2020 (2020): *Materials and construction for earth buildings*.

NZS 4299:2020 (2020): *Earth buildings not requiring specific engineering design*.

Türk Standardları Enstitüsü

TS 2514 (février 1977): *kerpiç bloklar yapım ve kullanma*.

TS 2515 (avril 1985): *kerpiç yapıların yapım kuralları*.

SIA, Suisse

SIA D0111 (avril 1994) : *Regeln zum Bauen mit Lehm*.

Standards Australia International, Australie

HB 195-2002 (2002): *the Australian Earth Building Handbook*.

RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES, GUIDES, PROJETS DE NORMES

ABERBACHE, Sabrina, MAINI, Serge, 2013. *Production et utilisation des blocs de terre comprimée et stabilisée : code de bonnes pratiques*. Auroville : Auroville Earth institute. 136 p.

BARAMA, S, 1996. *Normalisation des matériaux locaux au Sénégal*. Bruxelles : CDI. 7 p.

BEDDEY, A, [s.d.]. *Projet de norme nationale sur les briques de terre*. Tunis : Ministère de l'Équipement et de l'Habitat, Centre d'essai et de Technique de la Construction. 12 p.

CIB W90 CEB, 1996. *Blocs de Terre Comprimée : essais d'identification des matériaux et essais mécaniques. Méthodes de vérification de terrain. Document provisoire*. Paris : RILEM. 31 p.

CONFEDERATION DE LA CONSTRUCTION EN TERRE CRUE (dir.), ARESO, ARPE NORMANDIE, ASTERRE, CAPEB, CTA, FFB, FÉDÉSCOP BTP, MPF, RESEAU ECOBATIR, TERA, 2020. *Guide des bonnes pratiques de la construction en terre crue*. Paris : Ministère de la Transition écologique et solidaire. 249 p.

DEAL GUYANE, BOUTINARD, Emmanuel (coor.), MISSE, Arnaud, CHAMODOT, Mathilde, CRETE, Eugénie, BOUTINARD, Emmanuel, COTTALORDA, Julien, VERLAQUE, Pierre-Emmanuel, SCHMITT, Bernard, LACOSTE, Laurent, ART.TERRE MAYOTTE, 2018. *ATEX DE TYPE A N° 2533 : mur en maçonnerie de BTC non porteur en enveloppe extérieure et/ou en remplissage d'une ossature porteuse*. Cayenne : DEAL Guyane. 83 p.

GIDIGASU, M.D, 1993. *Lateritic materials in rural housing construction in Ghana. Laterite housing Ghana project 3-P-88-0152. Final Report. Volume one. Text and references*. Kumasi/Ottawa: BRRI, CRDI. 177 p.

GIDIGASU, M.D, 1993. *Lateritic materials in rural housing construction in Ghana. Laterite housing Ghana project 3-P-88-0152. Final Report. Volume two. Tables, figures and appendices*. Kumasi/Ottawa: BRRI, CRDI. 398 p.

HERNANDEZ, Basilio O., 1984. *Normas de diseño para construcciones a base de adobe estabilizado "Tabicote"*. México: Vivienda Pueblo. 61 p.

HOUBEN, Hugo, BOUBEKEUR, Sid, 1998. *Blocs de terre comprimée : normes*. Bruxelles, Villefontaine : CDI, CRATerre-EAG. Coll. Série Technologies. 142 p.

HOUBEN, Hugo, RILI, Kemal, 1992. *Projet HAB 24 - Filière BTS. Recueil de projets de normes pour les blocs de terre stabilisée*. Villefontaine, Wilaya de Tipaza : CRATerre-EAG, CNERIB. 33 p.

KERALI, A.G., 1993. *DTU Working Paper: WP40 - Quasi-Static Compression Forming of Stabilised Soil-Cement Building Blocks*. Warwick: University of Warwick, Department of Engineering, Development Technology Unit. 61 p.

KERALI, A.G., 2000. *DTU Working Paper: WP52 - Destructive Effects of Moisture on the Long Term Durability of Stabilised Soil Blocks*. Warwick: University of Warwick, Department of Engineering, Development Technology Unit. 29 p.

KERALI, A.G., 2000. *DTU Working Paper: WP53 - Dynamic Compaction of Soil for Low-cost Building Blocks*. Warwick: University of Warwick, Department of Engineering, Development Technology Unit. 45 p.

MISSE, Arnaud, GASNIER, Hugo, BETOUX, Jacques, CHASTAGNOL, Jean-Marc, LALANNE, Marion, MUSTOIH, Mari, MOUSSA, Soulaïmana, MAANLI, Fayadhuiddine, LORIOL (DE), Nathalie, LIÉTAR, Violaine, AIMÉ, Stéphane, CHARIFOU, Saïd, LIMOUSIN, Christophe, THURET, Christel, FAURE, Florian, VADON, David, PIRIOU, Michel, MAILLARD, Pascal, ART.TERRE MAYOTTE, 2019. *Ouvrages en maçonnerie de Blocs de Terre Comprimée : dossier technique lié à l'ATEX de Type A n° 2588*. Villefontaine : CRATerre. 152 p. ISBN 979-10-96446-25-4.

MOEVUS, Mariette, FONTAINE, Laetitia, ANGER, Romain, DOAT, Patrice, 2013. *Projet : Béton d'Argile Environnemental (B.A.E.) Rapport final*. Paris : France,

ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. 877 p.

MOLES, Olivier, CRATERRE, 1996. *Cooperation programme on earthen architecture in South Africa*. Paris : MAE, DGRCSST, Embassy of France in South Africa. 80 p.

MOUDZINGOULA, J, 1996. *Situation de la réglementation des normes des blocs de terre comprimée au Congo*. Bruxelles : CDI. 6 p.

NZINAHORA, G, 1996. *La problématique de l'élaboration des normes : cas du BBN*. Bruxelles : CDI. 3 p.

OLIVIER, A, EL GHARBI, M., MESBAH, A.Z., 1995. *Proposition d'une norme pour la réalisation d'essais de résistance sur blocs de terre comprimés*. Paris : RILEM. 26 p.

RED HABITERRA, 1995. *Recomendaciones para la elaboracion de normas tecnicas de edificaciones de*

adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento. La Paz : Red Habiteria. 110 p.

SAMAH, O.D, 1988. *Perspectives de la normalisation et du contrôle de qualité au Togo*. Lomé : Ministère de l'Équipement et des Postes et Télécommunications, CCL. 5 p.

SCIC Cycle Terre, CHAMODOT, Mathilde, CRÉTÉ, Eugénie, ARLEO, Luis, JOFFROY, Thierry, MISSE, Arnaud, TOUZARD, Inès, HUBERT, Alix, RAKOTOMAMONJY, Bakonirina, HAJMIRBABA, Majid, 2021. *ATEX DE TYPE A N° 2911 : cloison en maçonnerie de BTC*. Sevrans : SCIC Cycle Terre. 50 p.

VOLHARD, F. RÖHLEN, U, DACHVERBAND LEHM, 2009. *Lehmbau Regeln. Begriffe - Baustoffe - Bauteile*. Wiesbaden : Vieweg+Teubner. 120 p. ISBN 978-3-8348-0189-0.

BTC À MAYOTTE

ABDEREMANE, S.A, 1997. *Présentation de l'étude de faisabilité d'un projet de fabrication de Blocs de Terre Stabilisée et montage de maisons standard à caractère social*. Moroni : APSP. 10 p.

ANGULO, Dario, 1987. *Quelques réalisations de la Société Immobilière de Mayotte*. Mamoudzou : SIM. 34 p.

ANGULO, Dario, 1989. *Reflets d'une expérience à Mayotte*. Grenoble : EAG. 147 p.

BAZIN, M, CSTB, 1998. *Faisabilité de documents normatifs à partir de l'état de l'art de la filière de construction en blocs de terre compressée. Étude réalisée à la demande de CRATERRE, dans le contexte de la collectivité territoriale de Mayotte*. Paris : CSTB. 17 p.

BESOMBES, Michel, PERROT, Pierre-Yves, 1982. *Habitat mahorais. Tome 3 : Bilan des premières réalisations*. Paris : AGG. 139 p.

CRATERRE, BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES [s.d.]. *Recherche de matériaux pour terres à briques compressées*. Mamoudzou : SIM. 1 p.

CRATERRE, DOAT, Patrice, RIGASSI, Vincent, BAMANA, El Anrif, 1995. *Mayotte. La relance de la filière bloc de terre comprimée et la démarche qualité : Avant-projet 1994-2000*. Mamoudzou : SIM. 185 p.

CRATERRE, DOAT, Patrice, STIELTJES, Laurent, 1989. *Recherche de carrières pour l'approvisionnement des briqueteries*. Mamoudzou : SIM. 34 p.

CRATERRE, MISSE, Arnaud, TAXIL, Gisèle, RIGASSI, Vincent, 1999. *Mayotte. Enquêtes 98 sur l'habitat : Rapport de traitement des enquêtes*. Mamoudzou : SIM. 84 p.

CRATERRE, RIGASSI, Vincent, 1996. *Mayotte, la relance de la filière Bloc de Terre Comprimée et la démarche qualité : installation de briqueterie*. Mamoudzou : SIM. 25 p.

CRATERRE, RIGASSI, Vincent, 1997. *Mayotte : relance de la filière bloc de terre comprimée et la démarche qualité : formation de formateurs à la mise en œuvre des BTC*. Mamoudzou : SIM, programme SPIOM. 27 p.

CRATERRE, RIGASSI, Vincent, 1997. *Mayotte : relance de la filière Bloc de Terre Comprimée et la démarche qualité : production et mise en œuvre, codification et formation*. Mamoudzou : SIM, programme SPIOM. 24 p.

CRATERRE, RIGASSI, Vincent, MOREL, Jean Claude, 2003. *Contribution aux études relatives aux aspects parasismiques de la construction en blocs de terre comprimée à Mayotte. Filière blocs de terre comprimée (BTC) à Mayotte*. Grenoble : CRATERRE-EAG. 12 p.

CRATERRE, RIGASSI, Vincent, SERUZIER, Michel, 2002. *État et devenir de la filière brique de terre comprimée à Mayotte. Bilan économique, social et environnemental de 20 ans de filière blocs de terre comprimée à Mayotte*. Grenoble : CRATERRE-EAG. 92 p.

CRESS MAYOTTE, 2020. *Pour une transition écologique et solidaire à Mayotte : La coopérative artisanale BTC* [Film]. Cavani : CRESS Mayotte, Clap productions. 3:30

DOAT, Patrice, 1987. *Incidences économiques et sociales de la construction de 3500 logements et 500 bâtiments publics en terre à Mayotte*. Marrakech : Maroc, ministère de l'habitat. 4 p.

FRANCE, MINISTÈRE DE L'URBANISME, DU LOGEMENT ET DES TRANSPORTS, 1986. *Aménager équiper et construire pour le plus grand nombre. Une*

réponse adaptée : Mayotte une méthode, des réalisations. Paris : CETE. 37 p.

GARABEDIAN, J.L, 1997. *Essais d'arrachement de chevilles SPIT réalisés sur un mur en briques pleines, afin de déterminer l'influence du matériau support sur la résistance des chevilles.* Bourg-Lès-Valence : SPIT Export Division. 5 p.

GONTARD, Guillaume, JACQUES, Micheline, LUREL, Victorin, 2021. *Reconstruire la politique du logement en outre-mer.* Paris : Sénat, Délégation sénatoriale aux outre-mer.

HOUBEN, Hugo, 1989. « Earth construction : a strategy of development. The construction of low-cost self-help housing on the island of Mayotte, archipelago of the Comores ». In: *Self help housing. A collection of papers on owner building and earth architecture.* Melbourne: Ministry of Housing and Construction Victoria, University of Melbourne Department of Architecture and Building. p. 155-162. ISBN 7241-4829-9.

HOUBEN, Hugo, DOAT, Patrice, DAYRE, Michel, 1989. *Filière terre stabilisée. Analyses et essais.* Grenoble : CRATerre-EAG. 97 p.

HOUBEN, Hugo, DOAT, Patrice, GUILLAUD, Hubert, 1995. « Global strategies for shelter : is Mayotte a model for development ? ». In: *Arquitetura de terra. Workshop, 19 e 20 de Outubro de 1995, São Paulo.* São Paulo : Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia da Arquitetura NUTAU. p. 21-29.

LESSCHAEVE, Chloé (dir.), LALANNE, Marion (dir.), 2016. *Océan Indien, Mayotte : patrimoine du XXe siècle. Une architecture mahoraise.* Mamoudzou : Direction des affaires culturelles. Col. Les patrimoines cachés. 60 p.

LIETAR, Vincent, TESSIER, Dominique, DE LORIO, Nathalie, 2021. *Construire en terre mahoraise : témoignages sur la filière mahoraise bloc de terre comprimée.* Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10-96446-30-8.

LIETAR, Vincent, ROLLET, Pascal, 1983. *Mayotte. Habitat social. Esquisse pour un manuel de construction.* Mamoudzou : SIM. 63 p.

LIETAR, Vincent, 2010. *Architecture et développement local : construire en terre mahoraise* [enregistrement vidéo]. Grenoble : ENSAG. 1:04:34

SIM, 1995. *15 ans d'architecture à Mayotte, le pari du développement local.* Mamoudzou : SIM. 74 p.

SIM, 1988. *Construire à Mayotte.* Mamoudzou : SIM. 4 p.

SIM, 1997. *Notice technique : Bloc de Terre Comprimée. N° 1.1.* Mamoudzou : SIM. 2 p.

SIM, 1997. *Notice technique : Bloc de Terre Comprimée. N° 1.2.* Mamoudzou : SIM. 2 p.

SIM, 1997. *Notice technique : Bloc de Terre Comprimée. N° 1.3.* Mamoudzou : SIM. 2 p.

TAXIL, Gisèle, MISSE, Arnaud, SOCIETE IMMOBILIERE DE MAYOTTE, 1999. *Mayotte, filière Blocs de terre comprimée : typologie des éléments et systèmes constructifs.* Grenoble : CRATerre-EAG. 42 p. ISBN 2-906901-20-2.

OUVRAGES SUR LE BTC

ACTIS, CRATERRE, ASTERRE, 2016. *Blocs de terre comprimée : Guide « initiation aux techniques de mise en œuvre de la terre crue » à destination des maîtres d'ouvrage.* Grenoble : Actis. 17 p.

ACTIS, CRATERRE, ASTERRE, 2016. *Blocs de terre comprimée : CCTP type.* Grenoble : Actis. 28 p.

ADAM, El Ali, AGIB, A.R.A., 2001. *Compressed Stabilised Earth Block Manufacture in Sudan.* Paris : UNESCO. 114 p.

BOUBEKEUR, Sid (dir.), RIGASSI, Vincent (dir.), MESBAH, Ali, MOREL, Jean Claude, HOUBEN, Hugo, CARAZAS, Wilfredo, DUGELAY, S., DOULINE, Alexandre, EL GHARBI, Z., JOFFROY, Thierry, MOLES, Olivier, MORISET, Sébastien, 2000. *Blocs de terre comprimée : procédures d'essais.* Bruxelles : CDE, ENTPE, CRATerre-EAG. 121 p. ISBN 2-9069901-27-X

CRATERRE, 1991. *Le bloc de terre comprimée : éléments de base.* Eschborn : GATE. 28 p.

CRATERRE, 2014. *Manuel de production : les matériaux en terre crue - mortiers et béton.* Lubumbashi : Bureau salésien des projets. 71 p.

CRATERRE, DOAT, Patrice, HAYS, Alain, HOUBEN, Hugo, MATUK, Sylvia, VITOUX, François, 1985. *Construire en terre.* Paris : Editions Alternatives. 287 p.

CRATERRE, DOULINE, Alexandre, ARNOUX, Sylvain, MAINI, Serge, 1996. *The production and use of compressed earth blocks. A training manual for technicians and entrepreneurs.* Villefontaine, New Delhi : CRATerre-EAG, BMTPC. 139 p.

CRATERRE, GUILLAUD, Hubert, ODUL, Pascal, JOFFROY, Thierry, 1995. *Blocs de terre comprimée. Volume II : Manuel de conception et de construction.*

Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn. 148 p. ISBN 3-528-02082-2.

CRATERRE, MUKERJI, Kiran, 1988. *Soil block presses. Product information*. Eschborn : GATE. 32 p.

CRATERRE, RIGASSI, Vincent, 1995. *Blocs de terre comprimée. Volume 1: Manuel de production*. Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn. 104 p. ISBN 3-528-02081-4.

CYCLE TERRE, RIBET, Patrick, BIOUL, Sophie, WURTZ, Gabin, CHAMODOT, Mathilde, CRETE, Eugénie, ARLEO, Luis, MISSE, Arnaud, HAJMIRBABA, Majid, HUBERT, Alix, RAKOTOMAMONJY, Bakonirina, 2021. *Guide de conception et de construction*. Sevrans : Cycle Terre. 229 p.

GUILLAUD, Hubert, RIGASSI, Vincent, ODUL, Pascal, JOFFROY, Thierry, DOULINE, Alexandre, RILI, Kemal, 1993. *Guide technique du Béton de Terre Stabilisée*. Alger : CNERIB. 56 p.

GUTIERREZ, Rubén Salvador Roux, 2010. *Los bloques de tierra comprimida (BTC) en zonas húmedas*. México: Plaza y Valdés. 185 p. ISBN 9786074021882.

HOUBEN, Hugo, BOUBEKEUR, Sid, 1998. *Blocs de terre comprimée: normes*. Bruxelles, Villefontaine : CDI, CRATerre-EAG. 142 p. ISBN 2-906901-18-0.

HOUBEN, Hugo, GARNIER, Philippe, RIGASSI, Vincent, 1996. *Blocs de terre comprimée: équipements de production*. Bruxelles : CDI. 151 p. ISBN 2-906901-12-1.

HOUBEN, Hugo, GUILLAUD, Hubert, 2006. *Traité de construction en terre*. 355 p. ISBN 2-86364-161-1.

HOUBEN, Hugo, VERNEY, Pierre-Eric, MAINI, Serge, 1988. *Blocs de terre comprimée: choix du matériel de production*. Bruxelles : CDI. 122 p.

HOUBEN, Hugo, VERNEY, Pierre-Eric, OLIVIER, Myriam, MESBAH, Ali, MICHEL, Philippe, ÉCOLE NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS DE L'ÉTAT, 1987. *Construction en terre crue: les matériels français*. Grenoble : CRATerre-EAG. 81 p. ISSN 2-906901-00-8.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, 1987. *Small-scale manufacture of stabilised soil blocks*. Geneva: International Labour Organization. 147 p. ISBN 92-2-105838-7.

JEANNET, J., PIGNAL, B., SCARATO, P., 2001. *Blocs de terre crue: adobe, bloc comprimé, bloc extrudé*. Saint Laurent de Chamousset : Pisé, terre d'avenir. 49 p.

KEEFE, Laurence, 2005. *Earth building: methods and materials, repair and conservation*. Oxon : Taylor & Francis. 196 p. ISBN 0415323223.

MAINI, Serge. AYYAPPAN T, 1994. *The Auram press 240 & 290. A user and production manual*. Auroville: AV-BC. 54 p.

MAINI, Serge. AYYAPPAN T, 1998. *The Auram press 3000. A user and production manual*. Auroville : AV-BC. 63 p.

MAINI, Serge, DOULINE, Alexandre, ARNOUX, Sylvain, 1992. *The production and use of compressed earth blocks. A training manual for technicians and entrepreneurs*. Grenoble, Auroville :CRATerre-EAG, AV-BC.

OGUNSUSI, Valentine, KOLAWOLE, Peter, MORISET, Sébastien, ODIAUA, Ishanlosen, NNOK, Linus, 1996. *Compressed earth bricks masonry. Handbook n°5. Construction*. Jos: CECTech. 54 p.

PÉREZ-PEÑA, Adrián Mauricio, 2009. *Interlocking stabilised soil blocks: appropriate earth technologies in Uganda*. Nairobi: UN-Habitat. 55 p. ISBN 978-92-1-132150-0

P'KLA, Abalo, 2002. *Caractérisation en compression simple des blocs de terre comprimée (BTC): application aux maçonneries «BTC-Mortier de terre»*. Thèse de doctorat. Lyon : INSA. 229 p.

ROHLEN, Ulrich, ZIEGERT, Christof, 2013. *Construire en terre crue*. Paris : Le Moniteur. 313 p. ISBN 978-2-281-11567-3

SHELTER GROUP, 1993. *Building compressed earth blocks. A training manual*. New Delhi: Development Alternatives. 105 p.

UNIDO, 2015. *Mud stabilized blocks production and use: technical manual*. Vienne: UNIDO. 41 p.

VAN STIGT, Jurriaan, DEGLI ESPOSTI, Pietro, KUFRIN, Tea, 2021. *Raw earth as a construction material*. Amsterdam: LEVS architecten. 302 p. ISBN 9789082694925.

WOLFSKILL, Lyle A., DUNLAP, Wayne A., GALLAWAY, Bob M., 1962. *Bâtir en terre*. Paris: CRET. 156 p.

