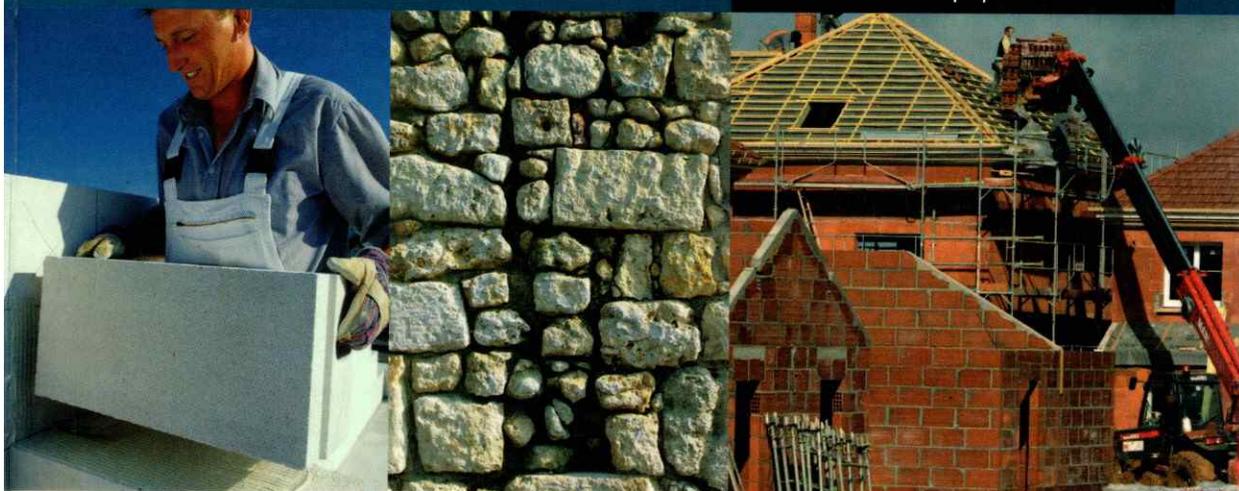


E U R O C O D E

Dimensionner les ouvrages en maçonnerie

Guide d'application



Marcel Hurez
Nicolas Juraszek
Marc Pelcé

afnor
ÉDITIONS

EYROLLES

Sommaire

Préface	1
Biographies	3
Avant-propos	5
Symboles et notations	9
1 Le marché unique européen	15
1. Les eurocodes	15
2. La directive « Produits de construction » et les Exigences essentielles	16
3. Le dimensionnement des structures par les eurocodes	16
4. L'eurocode 6	18
4.1 Termes et définitions	18
4.1.1 Termes relatifs à la maçonnerie	18
4.1.2 Termes relatifs à la résistance de la maçonnerie	19
4.1.3 Termes relatifs aux éléments de maçonnerie	20
4.1.4 Termes relatifs au mortier	21
4.1.5 Termes relatifs au béton de remplissage	22
4.1.6 Termes relatifs aux armatures	22
4.1.7 Termes relatifs aux composants accessoires	22
4.1.8 Termes relatifs aux joints de mortier	22
4.1.9 Termes relatifs aux types de mur	23
4.1.10 Autres termes	25
2 Caractérisation des matériaux et éléments constitutifs	27
1. Les éléments de maçonnerie	29

1.1	Les types d'éléments	29
1.1.1	Principales caractéristiques définies par les normes produits	31
1.2	Classement en groupes	37
1.3	Catégorie déclarée	37
1.4	Résistance à la compression déclarée	38
1.5	Résistance à la compression moyenne normalisée f_b	38
1.5.1	En résumé	40
1.5.2	Exemples de calcul de f_b	40
2.	Le mortier de montage	41
2.1	Types de mortier et compositions	41
2.2	Résistance à la compression f_m	42
2.3	Adhérence entre éléments et mortier	43
3.	Le béton de remplissage	44
3.1	Résistances caractéristiques f_{ck} et f_{cvk}	44
4.	Les armatures	44
4.1	Diagramme contrainte-déformation	46

3 Propriétés et caractéristiques des ouvrages de maçonnerie 47

1.	Résistance caractéristique à la compression de la maçonnerie f_k	47
1.1	Exemples de calcul de f_k	50
1.1.1	Éléments de terre cuite	50
1.1.2	Blocs en béton	50
1.1.3	Blocs de béton cellulaire autoclavé	50
1.2	Cas des maçonneries montées à joints interrompus	50
1.3	Cas des blocs à bancher	51
1.3.1	Blocs maçonnés	51
1.3.2	Blocs montés à sec	52
1.4	Cas des maçonneries chargées parallèlement au lit de pose	52
2.	Résistance caractéristique au cisaillement f_{vk}	53
2.1	Cas particulier : résistance verticale au cisaillement de la jonction entre deux murs	54
3.	Résistance caractéristique à la flexion f_{xk}	55
4.	Résistance caractéristique à l'adhérence acier-béton f_{b0k}	56

5.	Déformation	58
5.1	Relation contrainte-déformation	58
5.2	Module d'élasticité E	60
5.3	Module de cisaillement G	61
5.4	Fluage, retrait, gonflement et dilatation thermique	61
6.	Matériaux accessoires	62
6.1	Attaches, feuillards, corbeaux et ancrages	62
6.2	Linteaux ou prélinteaux préfabriqués	62

4 Analyse structurale 65

1.	Sécurité des structures : les bases	65
1.1	Vérification aux états limites	69
1.1.1	Les situations de projet	70
1.1.2	États limites ultimes (ELU)	70
1.1.3	États limites de service (ELS)	71
1.2	Actions sur les ouvrages	71
1.2.1	Valeurs de calcul des effets des actions	72
1.2.2	Actions permanentes	72
1.2.3	Actions variables	73
1.2.4	Charge de neige S	75
1.2.5	Charges de vent W	79
1.2.6	Actions accidentelles	82
1.3	Combinaisons d'actions pour les calculs	82
1.3.1	Combinaisons à l'ELU	82
1.3.2	Combinaisons à l'ELS	83
1.4	Valeurs de calcul de la résistance	84
1.5	Coefficients partiels pour la maçonnerie γ_M	84
2.	Analyse des ouvrages	86
2.1	Imperfections géométriques	87
2.2	Effets du second ordre	87
2.3	Murs de maçonnerie soumis à un chargement vertical	87
2.3.1	Élancement des murs	87
2.3.2	Hauteur effective des murs de maçonnerie h_{ef}	88
2.3.3	Épaisseur effective des murs de maçonnerie t_{ef}	91

2.4	Ouvrages de maçonnerie armée soumis à un chargement vertical	93
2.4.1	Élancement des murs	93
2.4.2	Portée utile des poutres de maçonnerie	93
2.4.3	Portée utile des poutres hautes	94
2.4.4	Portée limite des ouvrages de maçonnerie armée soumis à une flexion hors plan	95
2.5	Murs de maçonnerie soumis à un cisaillement	96
2.5.1	Répartition des murs de contreventement	97
2.5.2	Répartition des forces horizontales	98
2.5.3	Effet de la torsion	99
2.5.4	Partition des charges verticales accompagnant le calcul de la résistance au cisaillement	102
2.5.5	Répartition des contraintes de cisaillement	102
2.6	Ouvrages de maçonnerie armée soumis à un cisaillement	102
2.7	Murs de maçonnerie soumis à un chargement latéral	103
2.7.1	Caractérisation des appuis	103
2.7.2	Calcul des moments sollicitants	104
5	Dimensionnement à l'état limite ultime (ELU)	105
1.	Mur soumis principalement à un chargement vertical réparti	107
1.1	Méthode générale (mur armé ou non)	107
1.1.1	Calcul de la résistance de la maçonnerie	108
1.1.2	Coefficient de réduction Φ en tête et en pied de mur	109
1.1.3	Calcul des moments fléchissants Mid (méthode forfaitaire)	110
1.1.4	Calcul des moments fléchissants (méthode des rigidités)	111
1.1.5	Exemple 5.1 : comparaison des deux méthodes de calcul des moments fléchissants	113
1.1.6	Coefficient de réduction Φ_m à mi-hauteur du mur	114

1.1.7	Exemple 5.2 : vérification de la résistance verticale des murs pour un bâtiment de trois niveaux (méthode générale)	117
1.2	Méthode simplifiée (mur non armé)	119
1.2.1	Conditions d'utilisation	119
1.2.2	Résistance à la compression	121
1.2.3	Exemple 5.3 : vérification de la résistance à la compression (méthode simplifiée) – comparaison avec l'exemple 5.2	123
2.	Mur soumis à des charges concentrées	124
2.1	Dispositions pour les éléments de maçonnerie des groupes 2, 3 ou 4	125
2.2	Dispositions pour les éléments de maçonnerie du groupe 1	125
2.3	Exemple 5.4 : vérification de la résistance des appuis d'un linteau	127
3.	Murs soumis à un cisaillement	129
3.1	Murs de maçonnerie non armée	129
3.1.1	Exemple 5.5 : résistance au cisaillement d'un mur non armé	131
3.2	Murs de maçonnerie armée	131
3.2.1	Cas 1 : mur ne comportant que des armatures verticales	132
3.2.2	Cas 2 : mur ne comportant que des armatures horizontales	133
3.2.3	Cas 3 : mur comportant des armatures verticales et horizontales	133
3.2.4	Exemple 5.6 : résistance au cisaillement d'une maçonnerie armée	134
3.3	Murs de maçonnerie chaînée	135
3.4	Résistance au basculement des murs armés ou chaînés verticalement	136
3.4.1	Exemple 5.7 : résistance au cisaillement d'un mur de maçonnerie chaînée	139
4.	Murs de maçonnerie soumis à un chargement latéral	140
4.1	Méthode générale	141
4.1.1	Détermination du moment sollicitant M_{Ed} ..	141
4.1.2	Détermination de $f_{xd1,app}$	143
4.1.3	Détermination de $f_{xd2,app}$	144

4.1.4	Exemple de calcul de $f_{xd2,app}$ pour un mur avec joints d'assise armés	145
4.1.5	Exemple d'utilisation des tableaux de valeurs de α_2	145
4.1.6	Détermination du moment résistant M_{Rd}	155
4.1.7	Vérification alternative : effet de voûte	156
4.2	Méthode simplifiée pour les murs de soubassement	156
4.2.1	Conditions d'utilisation	156
4.2.2	Vérification	157
4.3	Méthode simplifiée pour le calcul de murs non chargés verticalement et soumis à un chargement latéral uniforme	159
4.4	Méthode simplifiée pour le calcul des cloisons	164
5.	Éléments armés soumis à une flexion et à un effort tranchant	165
5.1	Généralités	165
5.2	Vérification des ouvrages de maçonnerie armée soumis à une flexion	166
5.2.1	Moment résistant M_{Rd} d'une section rectangulaire armée	167
5.2.2	Moment résistant M_{Rd} d'une section armée composite	167
5.3	Vérification des ouvrages de maçonnerie armée en cisaillement	168
5.4	Cas des murs armés verticalement soumis à un chargement latéral	168
5.4.1	Moment résistant	169
5.4.2	Résistance à l'effort tranchant	170
5.5	Cas des linteaux	170
5.5.1	ELU de flexion	170
5.5.2	ELU d'effort tranchant	172
6	Dimensionnement à l'état limite de service (ELS)	173
7	Détails de mise en œuvre	175
1.	Surface minimale d'un mur	175

2.	Montage des éléments	175
2.1	Recouvrement des éléments d'une maçonnerie non armée	176
2.2	Recouvrement des éléments d'une maçonnerie armée	177
2.3	Recouvrement des éléments d'une maçonnerie de pierres naturelles apparentes	177
2.4	Cas des maçonneries dont les éléments ne traversent pas l'épaisseur du mur	177
2.5	Performance minimale du mortier pour une maçonnerie armée	178
2.6	Épaisseur des joints de mortier	178
2.7	Joints verticaux	179
2.8	Charges concentrées : longueur minimale d'appui	180
3.	Armatures	180
3.1	Diamètre minimal de l'armature	181
3.2	Rayon de cintrage	181
3.3	Longueur d'ancrage	181
3.3.1	Longueur d'ancrage utile $\ell_{b,u}$	181
3.3.2	Ancrage des armatures longitudinales sur appuis simples	182
3.3.3	Ancrage des armatures d'effort tranchant	183
3.4	Longueur de recouvrement entre barres tendues ou comprimées	184
3.5	Enrobage minimal des armatures	185
3.6	Section des armatures	186
3.6.1	Armatures coulées dans du béton (section minimale)	186
3.6.2	Armatures placées dans les joints d'assise (section minimale)	187
3.6.3	Armatures concentrées dans des alvéoles (section maximale)	187
3.6.4	Partie de maçonnerie travaillant en flexion (linteau, poutre haute, etc.)	188
3.7	Arrêt des barres tendues dans une section fléchie	189
3.8	Espacement des aciers d'armature	190
3.8.1	Espacement maximal des cadres et étriers d'effort tranchant	190
3.9	Maintien de l'acier d'armature comprimée	191

4.	Chaînages des maçonneries confinées	192
4.1	Dispositions générales	192
4.2	Dispositions particulières aux maçonneries des groupes 1 et 2	195
5.	Liaison des murs	195
5.1	Liaison avec les planchers et les toitures	195
5.1.1	Transfert des charges latérales	195
5.1.2	Plancher fonctionnant en diaphragme	197
5.1.3	Liaison par feuillard d'ancrage	198
5.1.4	Liaison par adhérence-frottement	198
5.1.5	Attache ou chaînage périphérique	198
5.1.6	Plancher ne fonctionnant pas en diaphragme ou bandes de glissement	199
5.2	Liaisons entre les murs	199
5.2.1	Intersections	199
5.2.2	Liaisons par attaches des murs creux ou d'habillage	200
6.	Saignées et réservations	203
6.1	Saignées et réservations verticales	203
6.2	Saignées horizontales ou inclinées	204
7.	Coupures de capillarité	207
8.	Chargement de la maçonnerie en phases provisoires	207

8 Durabilité et mise en œuvre209

1.	Durabilité	209
1.1	Classes d'exposition des ouvrages de maçonnerie	209
2.	Spécifications relatives aux matériaux et à leur mise en œuvre	212
2.1	Spécifications admissibles pour les éléments de maçonnerie	212
2.2	Spécifications du mortier de montage	213
2.3	Spécifications du béton de remplissage	214
2.4	Spécifications des armatures	215
2.4.1	Choix des aciers selon la classe d'exposition ...	215
2.4.2	Distances d'enrobage	216
2.4.3	Armatures préfabriquées pour joints d'assise	217
2.5	Linteaux	217
2.6	Composants accessoires et cornières	218

3.	Termes utilisés dans l'exécution des travaux	220
3.1	Dossier de conception	220
3.2	Largeur du vide	220
3.3	Bardage	220
4.	Mise en œuvre des maçonneries	221
4.1	Mouvement de la maçonnerie	221
4.2	Joints de rupture	221
4.2.1	Largeur d'un joint de rupture	222
4.2.2	Profondeur du joint de rupture par rapport de l'épaisseur de la paroi	222
4.2.3	Disposition des plans de glissement	222
4.2.4	Comportement à l'eau des joints de rupture	223
4.2.5	Espacement des joints de rupture verticaux	223
4.2.6	Espacement des joints de rupture horizontaux	223
4.3	Écart géométrique de mise en œuvre admis	224
4.4	Résistance à l'humidité des murs extérieurs	226
4.5	Préparation des matériaux	227
4.5.1	Mortiers et bétons de remplissage préparés sur le chantier	227
4.5.2	Adjuvants et additions	227
4.5.3	Proportion d'eau dans le béton de remplissage	228
4.5.4	Méthode et durée de gâchage	228
4.5.5	Durée d'utilisation des mortiers et du béton de remplissage	228
4.5.6	Gâchage par temps froid	228
4.5.7	Mortiers industriels, mortiers prédosés, mortiers prémélangés de chaux/sable et béton de remplissage prêt à l'emploi	228
4.6	Adhérence entre le mortier et les éléments de maçonnerie	228
4.7	Pose des éléments de maçonnerie	229
4.8	Rejointoiement et jointoiement des maçonneries autres qu'à joints minces	229
4.8.1	Rejointoiement	229
4.8.2	Jointoiement	230
4.8.3	Incorporation de membranes d'étanchéité	230
4.8.4	Joints de rupture	230

4.8.5	Incorporation de matériaux d'isolation thermique	231
4.8.6	Nettoyage des maçonneries de parement	231
4.8.7	Procédés de protection et de cure au cours de la construction	231
4.8.8	Protection contre la pluie	231
4.8.9	Protection contre les cycles de gel-dégel	231
4.8.10	Protection contre les effets d'une faible humidité	231
4.8.11	Protection contre les dommages d'origine mécanique	231
4.8.12	Hauteur de construction journalière de la maçonnerie	232

9 Exercices pratiques233

1	Calcul d'une façade porteuse chargée au vent	233
1.1	Hypothèse de calcul	233
1.2	Vérification à l'état limite ultime de résistance	234
1.3	Calcul de la pression du vent w à l'ELU	234
1.4	1 ^{re} vérification : résistance en partie supérieure du mur	235
1.4.1	Charge $N_{id,h}$ en tête de mur	235
1.4.2	Excentricité $e_{i,h}$ en tête du mur	236
1.4.3	Coefficient de réduction $\phi_{i,h}$ en tête de mur (équation 5.5)	236
1.4.4	Résistance de la maçonnerie en partie supérieure (équation 5.3)	236
1.4.5	Vérification de la résistance en partie supérieure (équations 9.1.1 et 9.1.2)	236
1.5	2 ^e vérification : résistance en pied de mur	237
1.5.1	Charge $N_{id,b}$ en pied de mur	237
1.5.2	Excentricité $e_{i,b}$ en pied de mur	237
1.5.3	Coefficient de réduction $\phi_{i,b}$ en pied de mur (équation 5.5)	238
1.5.4	Résistance de la maçonnerie en partie inférieure (équation 5.3)	238
1.5.5	Vérification de la résistance en partie inférieure (équations 9.1.1 et 9.1.2)	238

1.6	3 ^e vérification : résistance en partie médiane du mur	238
1.6.1	Charge N_{md} en partie médiane	239
1.6.2	Excentricité à mi-hauteur e_{mk}	239
1.6.3	Calcul de l'excentricité e_{hm} due au vent	239
1.6.4	Calcul de l'excentricité e_k due au fluage	240
1.6.5	Calcul de e_{mk}	240
1.6.6	Coefficient de réduction ϕ_m	240
1.6.7	Résistance de la maçonnerie	241
1.6.8	Vérification de la résistance	241
1.7	Conclusion	241
2.	Calcul d'une façade non porteuse chargée au vent	241
2.1	Hypothèse de calcul	241
2.2	Vérification à l'état limite ultime de résistance	242
2.3	Calcul de la pression du vent w à l'ELU	242
2.4	Vérification de la résistance de la maçonnerie	243
2.4.1	Calcul en maçonnerie non armée	243
2.4.2	Calcul en maçonnerie armée	243
3.	Calcul de la résistance d'un linteau en maçonnerie	244
3.1	Vérification de l'ELU en flexion	245
3.2	Vérification de l'ELU d'effort tranchant	246
4.	Exemple de calcul : mur de soutènement (section composite)	247
4.1	Documents de référence	248
4.2	Dimensionnement	248
4.3	Prédimensionnement et chargement	249
4.4	Données du projet	250
4.4.1	Caractéristiques des matériaux	250
4.4.2	Caractéristiques géométriques de l'ouvrage	252
4.5.	Actions et sollicitations	252
4.5.1	Calcul des sollicitations dues à la poussée des terres et à la charge q	253
4.6	Vérification des différents états limites	256
4.6.1	Vérification de la stabilité au renversement (ELU – EQU)	256
4.6.2	Vérification de la stabilité au glissement (ELU – GEO, glissement)	256

4.6.3	Vérification de la capacité portante du sol (ELU – GEO, portance)	257
4.6.4	Vérification du voile de maçonnerie et de l'aile armée (résistance interne de l'ouvrage)	260
4.6.5	Calcul des aciers longitudinaux de la semelle (sections S2 et S3)	262
4.6.6	Dispositions constructives	266
5.	Répartition des forces horizontales : application au séisme	266
5.1	Documents de référence	266
5.2	Dimensionnement	266
5.3	Détermination des sollicitations sismiques et prise en compte des effets de la torsion	266
5.4	Vérification des murs de contreventement	272

Annexes

A Sécurité incendie – résistance au feu277

1.	Exigence de résistance au feu selon le type d'établissement ..	277
2.	Résistance au feu des éléments	278
2.1	Résistance au feu des maçonneries de blocs en béton de granulats courants	280
3.	Dispositions constructives	283
3.1	Liaisons et joints	283
3.2	Canalisations électriques, tuyaux et câbles	286
4.	Vérification de la résistance au feu d'une structure	287

B Complément pour le calcul au séisme289

1.	Conditions sur les matériaux	291
1.1	Les éléments de maçonnerie	291
1.2	Les mortiers de jointoiement	291
1.3	Le béton de remplissage	292
1.4	Les armatures	293
2.	Dispositions constructives minimales pour les maçonneries chaînées	293
2.1	Chaînages verticaux	295

C	Modifications apportées par l'Annexe nationale belge	297
1.	Valeurs des coefficients de sécurité γ_M	297
1.1	Classe d'exécution N (normale)	297
1.2	Classe d'exécution S (spéciale)	298
2.	Résistance caractéristique à la compression de la maçonnerie f_k	298
3.	Résistances caractéristiques à la flexion f_{xk1} et f_{xk2}	299
4.	Épaisseur effective des murs creux	299
5.	Épaisseur minimale du mur	299
D	Prescriptions géométriques relatives aux groupes d'ouvrages de maçonnerie	301
E	Caractéristiques géométriques des aciers d'armature	303
F	Adresses utiles	305
1.	En France	305
2.	En Belgique	307
3.	En Suisse	307
4.	Au Québec	308
	Bibliographie	309

Afin d'harmoniser les règles de conception et de mise en œuvre des ouvrages de maçonnerie entre les états membres de l'Union européenne, les règles de calcul ont été unifiées avec la publication de l'eurocode 6. Les Annexes françaises de la norme NF EN 1996-1-1/NA « Eurocode 6 - Calcul des ouvrages en maçonnerie - Partie 1-1 : règles générales pour ouvrages en maçonnerie armée et non armée - Annexe nationale à la NF EN 1996-1-1:2006 - Règles générales pour ouvrages en maçonnerie armée et non armée » sont en cours de rédaction.

Comprendre les changements par rapport aux règles actuelles basées en France sur le DTU 20.1

En adoptant le modèle semi-probabiliste, l'eurocode 6 bouleverse les règles de conception des maçonneries en France. Jusque-là, l'approche déterministe s'imposait. Un gros coefficient de sécurité empirique garantissait une sollicitation très largement inférieure à la résistance de la structure, et tout se passait bien. L'eurocode 6, comme les autres eurocodes, sépare l'analyse des sollicitations de l'analyse des résistances, affectant un facteur partiel à chacune de ces grandeurs. Cette méthode de calcul plus fine prend aussi en compte la durée de vie probable de l'ouvrage. Cette évolution consistant à considérer chaque facteur non plus comme une valeur absolue mais comme une variable aléatoire marque une rupture radicale dans l'art de construire !

Appliquer les nouvelles méthodes de calcul

Cet ouvrage s'efforce d'abord de clarifier les spécifications de l'eurocode 6 sur la façon de concevoir, de calculer, puis de mettre en œuvre une maçonnerie réalisée avec des briques, des blocs de béton ou de béton cellulaire ou des pierres.

Une autre façon d'utiliser cet ouvrage consiste à entrer directement par les exercices pratiques du chapitre 9. Cinq cas classiques y sont présentés en détail pour guider le concepteur dans des cas comparables.

À noter que les tableaux de calcul sous Excel® de chacun de ces exercices sont disponibles à l'adresse suivante : www.editions-eyrolles.com

Chapitre 1 — Le marché unique européen

Chapitre 2 — Caractérisation des matériaux et éléments constitutifs

Chapitre 3 — Propriétés et caractéristiques des ouvrages de maçonnerie

Chapitre 4 — Analyse structurale

Chapitre 5 — Dimensionnement à l'état limite ultime (ELU)

Chapitre 6 — Dimensionnement à l'état limite de service (ELS)

Chapitre 7 — Détails de mise en œuvre

Chapitre 8 — Durabilité et mise en œuvre

Chapitre 9 — Exercices pratiques

Cet ouvrage s'adresse aux techniciens, ingénieurs, projeteurs, vérificateurs, formateurs, enseignants et étudiants... chargés de la conception, du calcul, du dimensionnement et de la justification des ouvrages en maçonnerie.

afnor
EDITIONS

Groupe Eyrolles | Diffusion Geodif | Distribution Sodis

www.boutique-livres.afnor.org
www.editions-eyrolles.com

**Dimensionner les ouvrages
en maçonnerie** | Guide d'application

M. Hurez
N. Juraszek
M. Pelcé

Code éditeur : Eyrolles : G12280
ISBN EYROLLES : 978-2-212-12280-0
Code éditeur : Afnor 3381011
ISBN AFNOR : 978-2-12-381011-7

barbary-courier.com



9 782212 122800

72 €