Choisir et réaliser les fondations

Henri RENAUD

EYROLLES

Sommaire

Chapitre 1

Charges permanentes et d'exploitation-Données de base

1. Notions d'états limites 12
2. Types d'actions et mode de transmission 12
3. Bases de calcul des charges permanentes 14
4. Charges d'exploitation des bâtiments d'habitation 14
5. Visualisation des charges permanentes et d'exploitation 15
6. Application : descente de charges pour un mur de façade 16
7. Cas d'une façade de pavillon avec larges baies 17
8. Exemple de pavillon à plusieurs niveaux 18
9. Charges concentrées sur éléments porteurs en béton armé 20

Chapitre 2

Ciments courants et bétons de structure

1. Ciments courants et leur désignation 24
2. Appellations et caractéristiques des ciments 25
3. Les bétons de structure 26
4. Carbonatation des bétons et corrosion des aciers 27
5. Attaque par alternance gel et dégel 28
6. Classes particulières d'exposition 28
7. Exigences minimales pour les bétons 29
8. Ouvrages courants et caractéristiques principales du BPE 30
9. Bon de livraison de BPE et ses indications 31
10. Bétons particuliers pour la mise en œuvre 32
11. Coulage d'une dalle sur terre-plein avec un béton autonivelant 33

Chapitre 3

Aciers en barres et en treillis soudés

1. Éléments porteurs en béton armé et caractères mécaniques des aciers 36
2. Caractéristiques des aciers en barres pour le béton armé 36
3. Armatures préfabriquées par travaux courants 38
4. Fiche technique : armatures des chaînages 39
5. Caractéristiques des armatures des treillis soudés standards 40
6. Dispositions des panneaux de treillis soudés et des barres HA 41
7. Utilisations des treillis soudés 42
8. Cas d'un plancher avec poutrelles et entrevous 42
9. Emplois des barres HA et des treillis soudés dans les dalles 43

Chapitre 4

Béton armé : principes et applications

1. Principe n° 1 : utiliser le béton en compression et l'acier en traction 46
2. Principe n° 2 : assurer la liaison béton-acier 47
3. Principe n° 3 : appliquer les règles de mise en œuvre 48

4. Application des principes aux poteaux en béton armé 50
5. Dispositions constructives des poteaux et colonnes 51
6. Fiche technique : armatures des poteaux et semelles isolées 52
7. Poteaux ancrés sur semelles isolées et sur semelles continues 53
8. Poteaux soumis à la compression et à la flexion 54
9. Ancrage et liaison des poteaux en pied et en tête 55
10. Application des principes aux poutres en béton armé 56
11. Moment de flexion en une section de poutre 57
12. Diagrammes de déformations et contraintes en flexion simple 58
13. Armatures principales dans les zones tendues 59
14. Effet produit dans les sections par l'effort tranchant 60
15. Fissuration d'effort tranchant 61
16. Espacements des cadres et étriers et dispositions constructives minimales 62
17. Indications de la notice de calcul et plan d'armatures de la poutre 63
18. Formulaire de poutres rectilignes simples 64
19. Exemple d'utilisation du formulaire 65

Chapitre 5

Armatures et dispositions constructives des ouvrages en béton armé

1. Principaux ouvrages porteurs d'une construction 68
2. Mise en œuvre des armatures sur chantier ... 69
3. Solutions constructives de structure porteuse en béton armé 70
4. Fiche technique : choix d'une armature de poutre 71
5. Application pour un pavillon à combles aménagés 72
6. Choix des armatures de poutres en composants industrialisés 74
7. Détails de réalisation des poutres de longueur réglable 75
8. Procédés de mise en œuvre des poutres préfabriquées ou coulées sur place 76
9. Fondations de maison par puits et longrines préfabriquées 77

Chapitre 6

Plans d'exécution : semelles et chaînages de pavillon

1. Données du chantier pour la structure du rez-de-chaussée 80
2. Conception du système porteur du plancher et de l'étage partiel 81
3. Clauses techniques de mise en œuvre sur chantier 82
4. Murs de façade porteurs et ouvrages associés en béton armé 83
5. Armatures des fondations par semelles 84
6. Liaisons d'angles des semelles et attentes de poteaux 85
7. Chaînages et stabilité des constructions 86
8. Armatures des chaînages horizontaux et verticaux 87

Chapitre 7

Dimensions et armatures de semelles continues et isolées

1. Semelles de fondation des maisons individuelles 90
2. Sols et conditions de réalisation des fondations 90
3. Choix des dimensions des semelles rigides ... 92
4. Dalle en béton armé portée par les murs ou les longrines 93

5. Évaluation simplifiée de l'effort de traction sur les aciers 94
6. Exemples de détermination d'armatures pour semelles continues 95
7. Fiche technique : armatures préfabriquées de semelles continues 97
8. Béton comprimé et aciers tendus d'une semelle filante rigide 98
9. Application de la formule des bielles à une semelle continue sous mur 99
10. Intégration de l'effort de traction (N_s) 99
11. Applications de la méthode des bielles aux semelles isolées sous poteaux 100
12. Détermination d'une semelle isolée sous poteau porteur de plancher 101
13. Exemple de solution d'armatures de pavillon 102
14. Dessins d'exécution des semelles 103
15. Pavillon avec étage en partie médiane 104
16. Charges exercées sur les semelles continues par les planchers 106
17. Exemples de structures avec semelles filantes 107
18. Inventaire de charges et cas rencontrés 108
19. Types de semelles filantes sous mur 109

Chapitre 8

Réalisation des fondations par semelles et plots intermédiaires

1. Notions sur les fondations de pavillon 112
2. Semelles filantes pour sols homogènes peu compressibles 114
3. Prescriptions communes aux semelles filantes plates ou renforcées 115
4. Technique de construction d'un plancher bas sur terre-plein 116
5. Prescriptions d'armatures des dallages de maison individuelle 117
6. Fondations par semelles et réalisation du dallage sur terre-plein 118
7. Circuit de mise à la terre en maison individuelle 119
8. Fondations par semelles et par plots d'un plain-pied avec garage 120
9. Armatures préfabriquées par travaux courants 124

Chapitre 9

Fondations et armatures de maison sur vide sanitaire

1. Le vide sanitaire en maison individuelle 126
2. Conception du système porteur en VS 127
3. Solutions pour plancher d'habitation sur vide sanitaire 130
4. Fondations et armatures d'une maison de plain-pied sur vide sanitaire 131
5. Technique de construction 134
6. Plan des fondations avec repérage des semelles et des chaînages 135
7. Haut de vide sanitaire : plancher à poutrelles et réseau d'évacuation 136
8. Réseau d'eaux vannes et usées 137
9. Prescriptions de mise en œuvre de canalisations d'évacuation en PVC 138
10. Accessoires de raccordement en PVC : culottes, embranchements, tés et coudes 139

Chapitre 10

Fondations par longrines appuyées sur des puits ou des plots

1. Domaine d'utilisation 142
2. Principales caractéristiques des longrines 142
3. Principe de construction et cas de fondations 143
4. Tâches de mise en œuvre sur le terrain à bâtir 148

5. Exemple d'implantation et de détermination des massifs de fondation 150
6. Plan de repérage de fondation par puits et massifs d'un pavillon à étage 152
7. Plan d'armatures des longrines en béton armé 153
8. Cas d'une maison à combles aménagés 154
9. Techniques de construction d'un plancher bas 155
10. Fiche technique : plancher avec entrevous de bois moulé et traité pour vide sanitaire 156
11. Terrassement des puits et des plots 157

Chapitre 11

Projet de construction, sondages et fondations

1. Plan du terrain et emprise du pavillon 160
2. Élévation des façades 161
3. Plan d'exécution du rez-de-chaussée et coupe transversale 162
4. Implantation des sondages 163
5. Essais de reconnaissance du sol 164
6. Interprétation des essais et choix des fondations 165
7. Semelle filante avec soubassement de type rigide 166
8. Plan de repérage des armatures des fondations du pavillon 167
9. Préconisations d'armatures préfabriquées pour semelles filantes 168

Chapitre 12

Assainissement des soubassements et des fondations

1. Réseau de drainage 172
2. Descriptif d'un drainage de mur de sous-sol 173
3. Conception de la partie enterrée des murs de soubassement 174
4. Drainage et protection du mur 176
5. Types de membranes de protection avec excroissances 177
6. Prescriptions de mise en œuvre 178
7. Soubassement de terre-plein ou de vide sanitaire 180
8. Fiche technique : enduit bitumineux d'imperméabilisation 181
9. Étude de cas de pavillon en équerre avec sous-sol 182
10. Extrait du descriptif : assainissement des murs enterrés 184
11. Configuration des abords de la maison 185
12. Traitement des murs enterrés extérieurs suivant les locaux 186
13. Réseaux de drainage vertical de mur et horizontal sous dallage 187
14. Procédé de drainage sous dallage avec nappes à excroissances 188
15. Fiche technique pour locaux non habitables de catégorie 2 189

Chapitre 13

Sols de fondation, charges et pressions-Risques de tassements et désordres

1. Références aux documents officiels 192
2. Semelles filantes rigides et charges non uniformes 193
3. Nature du sol de fondation et pression admise 194
4. Caractéristiques fondamentales des sols 194
5. Paramètres et facteurs de capacité portante d'un sol 194
6. Détermination de la cohésion et de l'angle de frottement interne 195

7. Transmission des charges au sol 196

8. Pressions sur le sol en fonction de la charge centrée ou excentrée 197

9. Principales causes des tassements et visualisation des désordres 198

10. Principes de stabilité des constructions 202

11. Mécanisme du tassement de fondation sur sol sensible 203

12. Schémas d'illustration de désordres par tassement de sol 204

13. Cas de fondations avec plots, puits et longrines 205

14. Murs de façade ou de refend et risques de tassement 207

Index 209

Chapitre 1

Charges permanentes et d'exploitation – Données de base

1. Notions d'états limites
2. Types d'actions et mode de transmission
3. Bases de calcul des charges permanentes
4. Charges d'exploitation des bâtiments d'habitation
5. Visualisation des charges permanentes et d'exploitation
6. Application : descente de charges pour un mur de façade
7. Cas d'une façade de pavillon avec larges baies
8. Exemple de pavillon à plusieurs niveaux
9. Charges concentrées sur éléments porteurs en béton armé

5. Visualisation des charges permanentes et d'exploitation

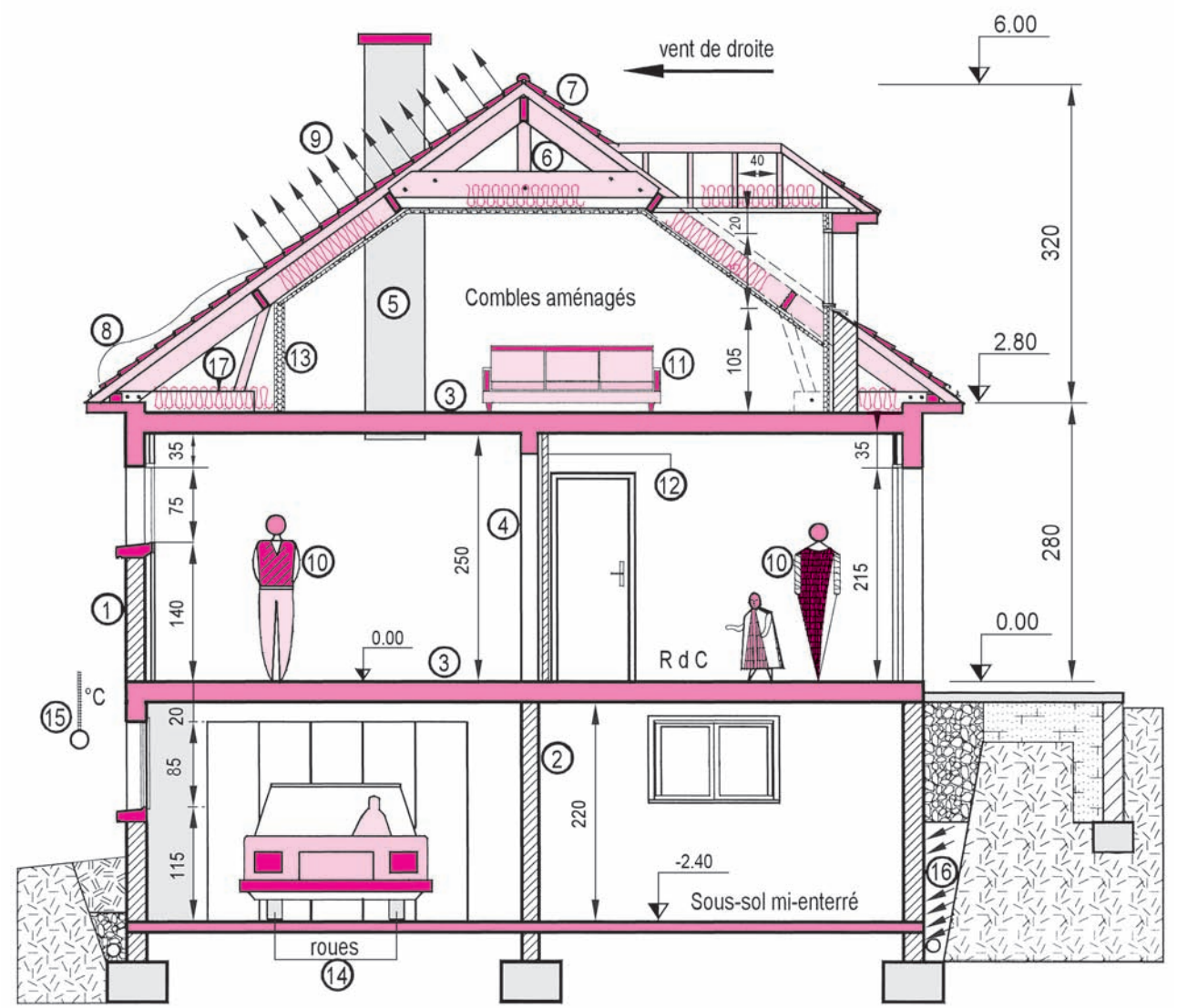


Fig. 4 : Coupe de principe avec exemples d'actions permanentes et variables

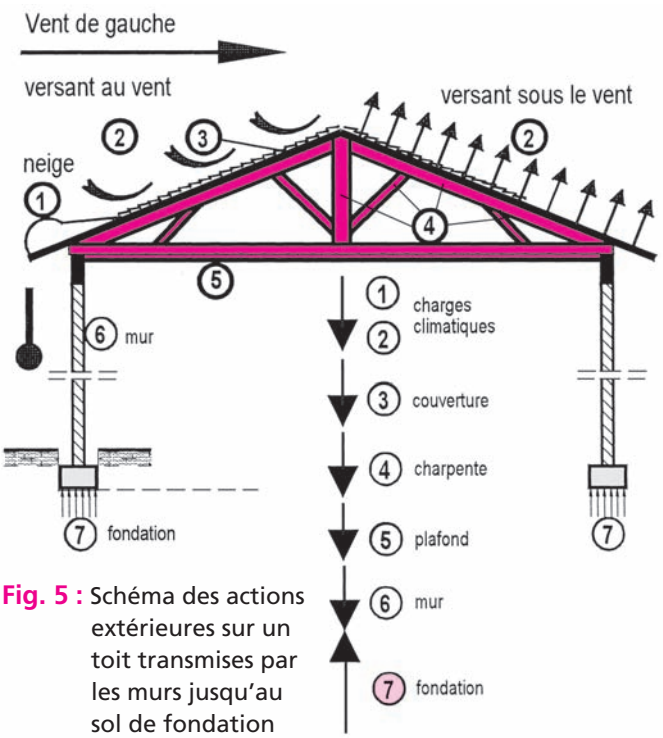


Fig. 5 : Schéma des actions extérieures sur un toit transmises par les murs jusqu'au sol de fondation

Légende de la coupe fig. 4			
n°	**Exemple d'action**	**Action permanente**	**Action variable**
1	Mur de façade	X	
2	Mur de refend	X	
3	Plancher	X	
4	Poteau en béton armé	X	
5	Conduit maçonné	X	
6	Charpente	X	
7	Couverture	X	
8	Neige		X
9	Vent		X
10	Personnes		X
11	Mobilier		X
12	Cloison	X	
13	Doublage	X	
14	Roues (charge concentrée)		X
15	Température extérieure		X
16	Poussée	X	
17	Blochet (charge concentrée)	X	

6. Application : descente de charges pour un mur de façade

Descriptif sommaire

- Maison d'habitation avec étage + combles aménagés.
- Fondations par semelles continues en béton armé.
- Murs de façades en blocs creux de béton de gravillons lourds d'une épaisseur de 20 cm, hourdés au mortier de ciment, avec raidisseurs verticaux incorporés, et chaînages à chaque niveau d'étage.
- Plancher d'étage courant avec poutrelles préfabriquées et table de compression (type 16 + 4 à entrevous en béton).
- Plancher bas en dalle pleine d'épaisseur 12 cm sur isolant polystyrène d'épaisseur 60 mm.
- Murs de soubassement en blocs perforés en béton d'épaisseur 20 cm.
- Semelles filantes en béton armé de section 50 cm de large et 40 cm de haut, avec enrobage minimal des aciers de 4 cm.

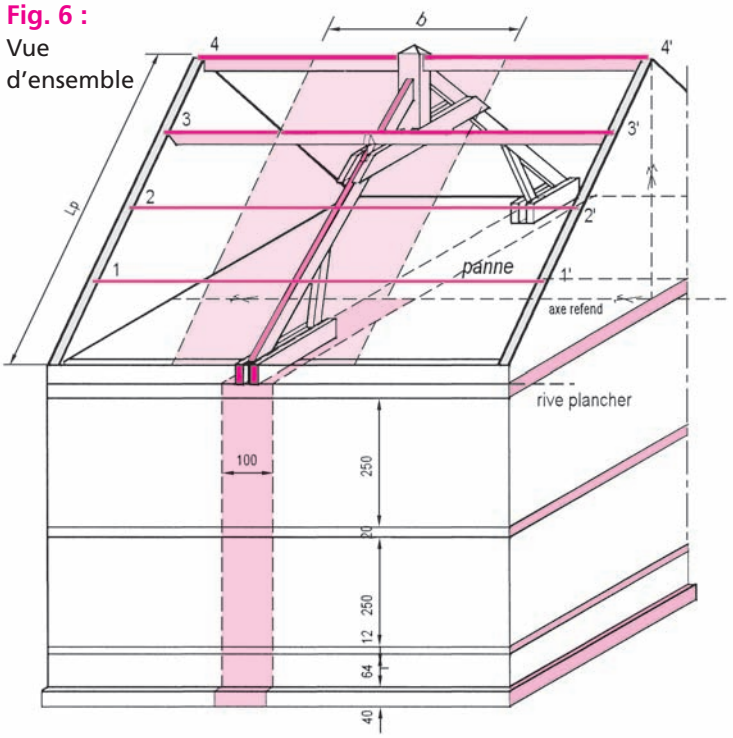
Étapes pour déterminer la pression des charges sur le sol (fig. 6 et 7)

- **Sélectionner** une tranche de bâtiment d'une longueur de 1 m sans baie et la plus chargée, par exemple par l'appui d'une ferme de charpente.
- **Considérer** chacune des travées de plancher indépendante.

Exemple :
Dans le cas de 2 travées, le refend porte une ½ travée de part et d'autre de son axe.

- **Effectuer** la descente de charges, niveau par niveau, par calcul cumulé à partir du haut.
- **Calculer** la pression sur le sol :
  - sans application des coefficients de pondération ;
  - avec coefficients de pondération des charges.

Fig. 6 : Vue d'ensemble



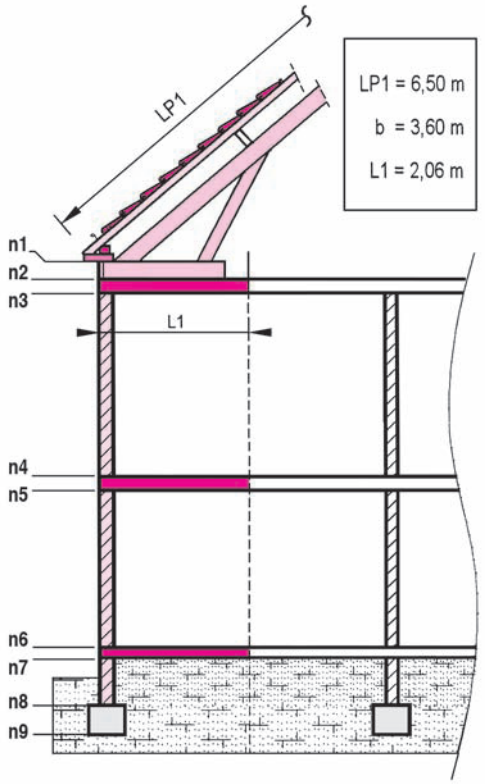


Tableau de calcul des charges niveau par niveau (n1 à n9)

Niveau	Désignation des ouvrages	Charges permanentes G						Charges d'exploitation Q				
		L	l	H ou ép.	Poids unité (daN)	Total	Cumul	L	l	Poids unité	Total	Cumul
1	Corniche	1,00	0,40	0,10	2 500	100	100					
2	Couverture en tuiles	6,50	3,80		45	1 112	1 212					
	Chevrons	6,50	3,80		7	173	1 385					
	Pannes	16	0,08	0,20	600	154	1 539					
	½ ferme	15	0,08	0,20	600	144	1 683					
3	Plancher	2,06	1,00		280	577	2 260	1,86	1,00	250	465	465
4	Mur	1,00		2,50	270	675	2 935					
5	Plancher	2,06	1,00		280	577	3 512	1,86	1,00	250	465	930
6	Mur	1,00		2,50	270	675	4 187					
7	Plancher bas	2,06	1,00	0,12	2 500	618	4 805	1,86	1,00	250	465	1 395
8	Soubassement	1,00		0,64	420	269	5 074					
9	Semelle BA	1,00	0,50	0,40	2 500	500	5 574					
Total							5 574					1 395



Fig. 17 : Toiture avec croupe et visualisation d'un appui de ferme sur un mur en maçonnerie

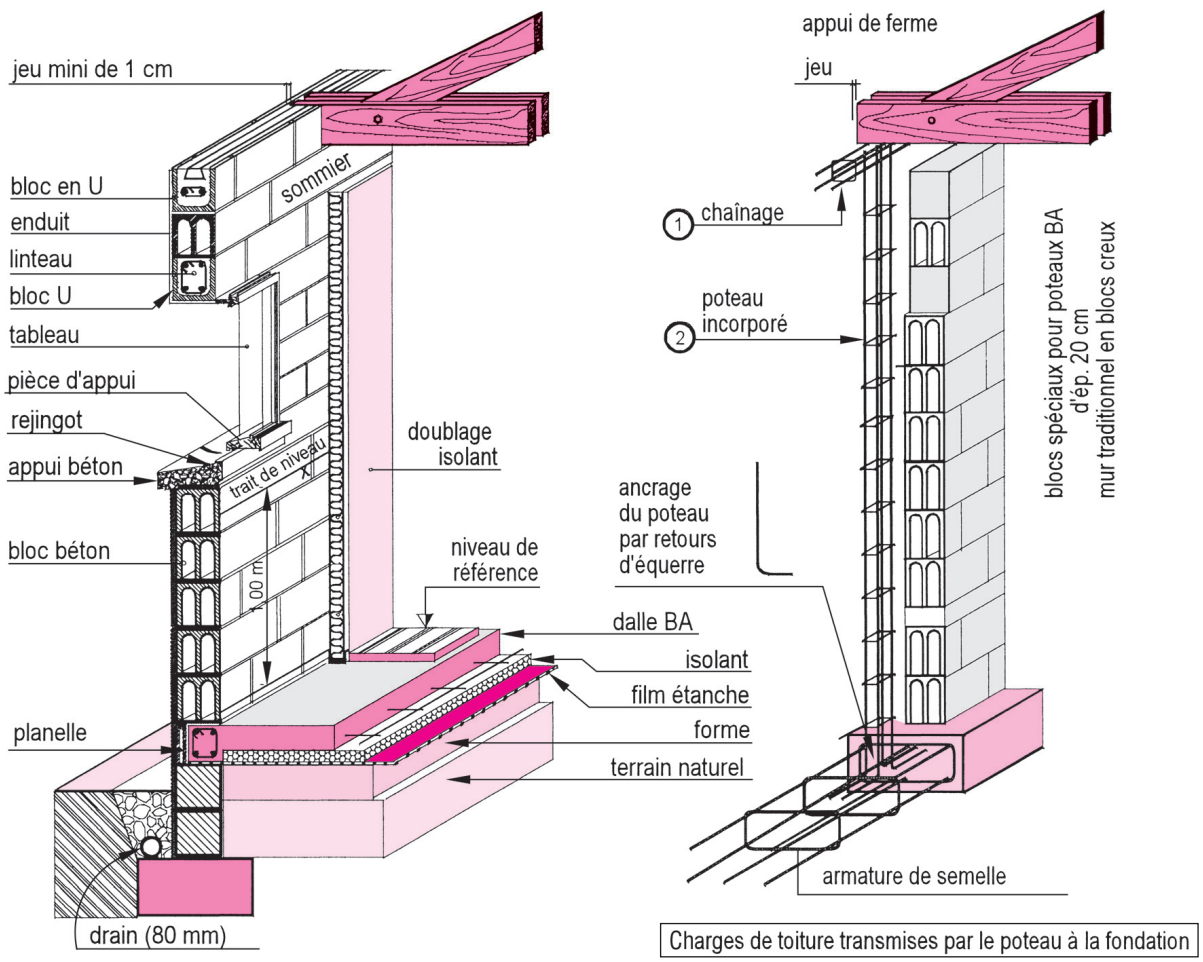


Fig. 18 : Appui de ferme sur un sommier (fig. 14), sur un chaînage continu ou sur un poteau incorporé en béton armé

9. Bon de livraison de BPE et ses indications

Raison sociale du fabricant BPE Nom de société Coordonnées (adresse, etc.) n° Siret	Norme béton NF EN 206-1	**La responsabilité du choix de la classe d'exposition incombe au client-prescripteur.** Les bétons à propriétés spécifiées (BPS) sont les produits principalement commercialisés par le BPE.

Centrale		Date					Bon de livraison n° : Quantité de béton : Camion n° : Chauffeur : Bon de commande n° :		
Nom du client		Adresse							
Chantier		Adresse et zone							
Commande n°		Voyage							
Cube commandé		Cube livré					Reste à livrer : ..... m³		
Code béton de la centrale		Appellation commerciale : **BPS** **C25/30** **42.5** **PM** **XF1** **D 20** **S3**							
Béton	Désignation du béton	BPS Béton à propriétés spécifiées					Certification NF EN 206-1		
	Classe d'exposition (1)	XF1, XC3, XC4							
	Résistance caractéristique	Classe de résistance à la compression sur cylindre/sur cube : **C 25/30**							
	Ciment (C) Additions (A) (3)	CEM II / A-V 42,5 PM CP2 Usine productrice du ciment Adjuvants : nature et dosage					Dosage (C + kA) (4) Dosage mini en ciment : 300 kg/m³ Type : P/RE Dosage : 0,40		
	Granularité	D : 0/20							
	Consistance	S3 correspondant à 100-150 mm d'affaissement au cône							
	Classe de chlorures (Cl %)	Teneur en pourcentage de masse d'ions chlorure rapportée à la masse de ciment Cl : 0,40 %							

Heures	1re gâchée	Arrivée sur chantier		Déchargement		Départ chantier	Retour centrale	Attente	Temps rotation
		Convenue	Réelle	Début	Fin				
	9:30	10:00	9:45	9:45	10:15	10:15	10:30		

Quantité m³ béton déversé	(a) avec tapis = 7 m³	(b) avec goulotte =

Ajout d'eau à la demande du client		Nom du client :
Nombre de litres :	Signature client :	Livraison réceptionnée le :
Le producteur dégage toute responsabilité		Signature :

(1) **La classe d'exposition** X0 ne peut convenir qu'en cas de non-exposition du béton à l'humidité, au gel ou à tout autre milieu agressif.

(2) **Notation usuelle** : béton non armé NA, armé BA ou précontraint BP.

(3) **Additions** : calcaires L, cendres volantes V, cendres volantes humides VH, additions siliceuses U, laitiers moulus S, fumées de silice D.

(4) **Coefficient k** d'une addition limitée en % du liant.

Codes des adjuvants

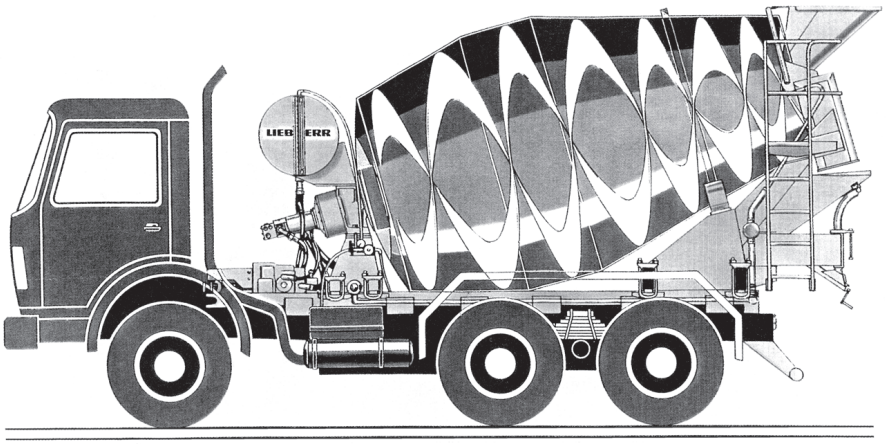
- Accélérateur de prise : Ap
- Accélérateur de durcissement : Ad
- Superplastifiant haut réducteur d'eau : F/Hr
- Superplastifiant retardateur de prise : F/Rp
- Hydrofuge de masse : H
- Entraîneur d'air : E
- Plastifiant réducteur d'eau : P/Re



Fig. 20 : Bétonnière portée et tapis à béton

Caractéristiques du tapis à béton et des bétonnières portées

Portée maximale	11,50 m
Hauteur max. d'acheminement	7,50 m
Profondeur max. d'acheminement	4,00 m
Débit	45 - 70 m³/h
Vitesse de la bande	3,5 m/s
Largeur de la bande	360 mm
Capacité des bétonnières portées	7,8 et 9 m³



① isolant PSE d'ép 60 mm + film étanche

② treillis soudé à mailles 150x150 mm et diamètres 7mm dans chaque sens

③ amenée du béton type BAN -- C 25/30 par goulotte et rallonges de demi-tubes à emboîtement jusqu'à 5 ou 6 m

④ galette de béton fluide étalé à la raclette

⑤ béton nivelé et lissé à la barre de répartition

⑥ béton d'ép mini 120 mm

Fig. 24 : Cuve tournante inclinée à 15° avec pales en hélices formant une vis Le sens inverse de rotation permet l'évacuation du béton



Fig. 25 : Simple déversement par goulotte et rallonges

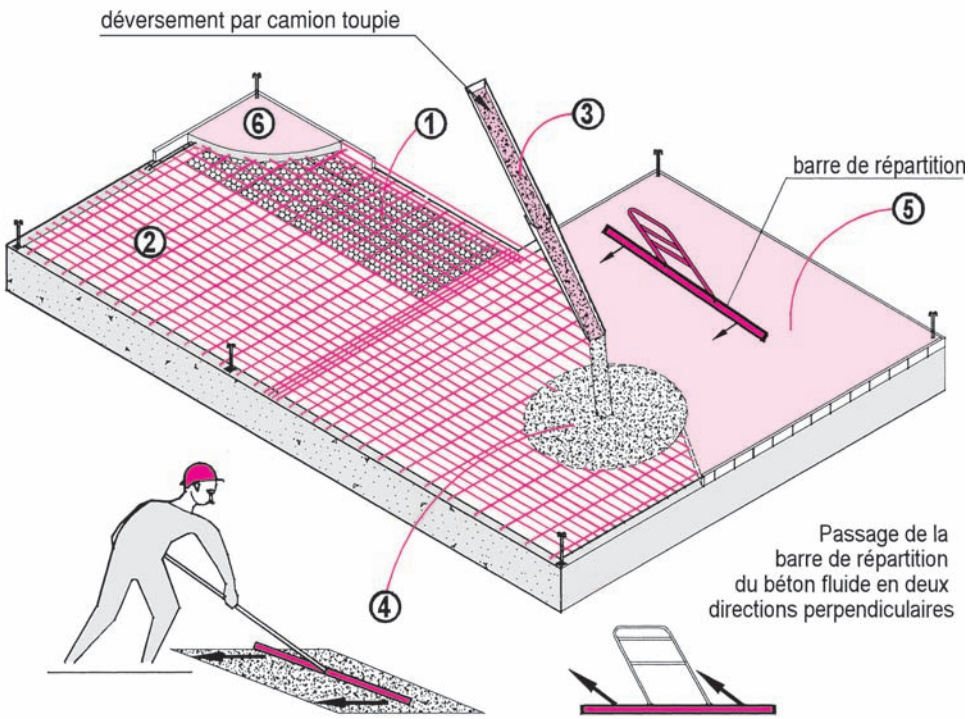


Fig. 26 : Schéma de mise en œuvre avec livraison du béton par camion toupie



Fig. 27 : Coulage



Fig. 28 : Passage de la barre

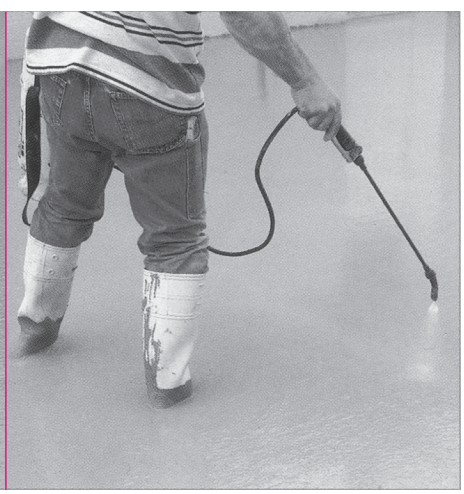


Fig. 29 : Pulvérisation du Fin'Agilia Pa

doc. : Lafarge bétons

7. Utilisations des treillis soudés

Utilisation	Produit
Dallage sur terre-plein	**ST 25 C** à mailles 150 x 150 mm et fils ∅ 7 mm
Dalle en béton armé portée sur les murs périphériques et sur des plots ou des têtes de puits en béton	**ST 10** ou **ST 20** suivant étude
Dallage légèrement armé soumis à de très faibles charges	**ST 10** à mailles 200 x 200 mm et fils 5,5 mm
Dalle de compression de plancher à poutrelles	**ST 10** (zones sismiques 1A, 1B et 2)
	PAF C à mailles 200 x 200 mm et fils de 4,5 mm
	RAF C à mailles 200 x 200 mm et fils de 4,5 mm
Dalle pleine en béton armé de plancher ou prédalle	Tous panneaux de structure **ST** après étude
Dalle flottante sur dallage ou sur plancher en béton armé	**RAF R ou PAF R** utilisés en treillis anti-fissuration
Voile en béton armé	**PAF V** et **ST 10** selon l'épaisseur des parois

8. Cas d'un plancher avec poutrelles et entrevous

Produit	Ouvrages élémentaires
Barre HA	Chaînages périphériques Chapeaux de rive et intermédiaires Renforts de trémie et attentes éventuelles
Treillis soudé	Dalles de compression Dalles flottantes

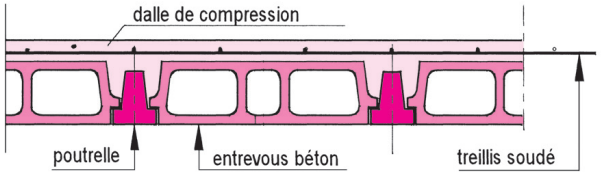


Fig. 20 : Plancher courant avec table de compression

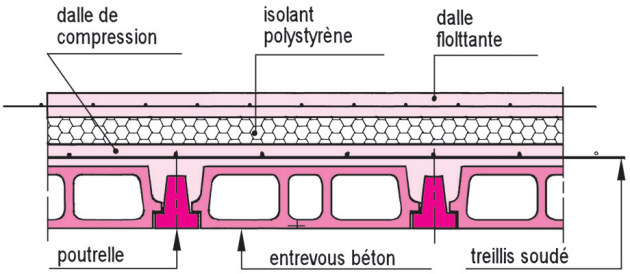


Fig. 21 : Plancher d'étage avec dalle flottante

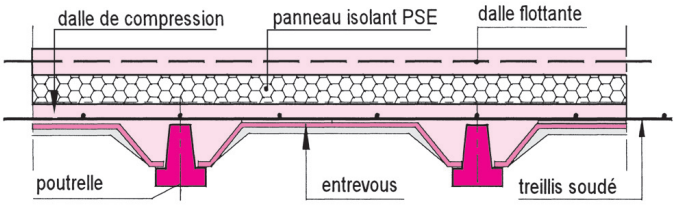
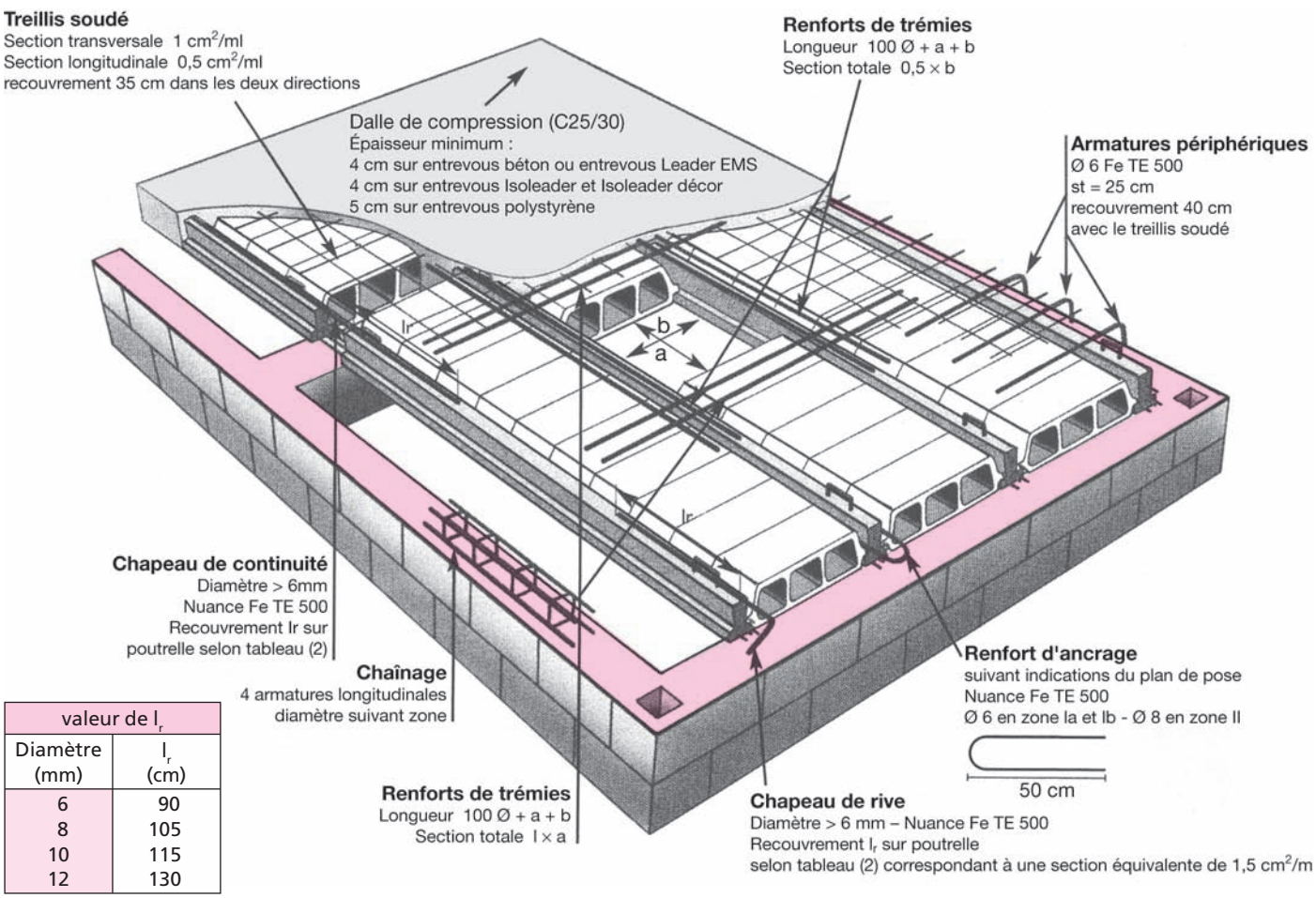


Fig. 22 : Plancher pour un vide sanitaire



valeur de l_r	
Diamètre (mm)	l_r (cm)
6	90
8	105
10	115
12	130

Fig. 19 : Dispositions constructives

9. Emplois des barres HA et des treillis soudés dans les dalles

1 Mur de soubassement
2 Plots ou puits de fondation
3 Terre-plein en tout venant 0/40 mm
4 Panneaux en polystyrène expansé d'ép. 60 mm et de dimensions 1,20 m x 2,50 m
5 Film anti-capillarité en polyane d'ép. 200 microns
6 Armatures de renforts du dallage
- exemple : 6 HA 12 filants + chapeaux HA
7 TS de la dalle + chapeaux TS (ST 20)
8 Planelles scellées à la périphérie
9 Dalle BA d'épaisseur 12 cm
- béton de type C 25/30



EV : émergence canalisations eaux vannes

Panneau de treillis soudés de structure
Exemple :
- Désignation : ST 25 C
- Mailles : 150 mm x 150 mm
- Diamètre des fils longitudinaux : 7 mm
- Diamètre des fils transversaux : 7 mm
- Longueur du panneau : 6,00 m
- Largeur du panneau : 2,40 m

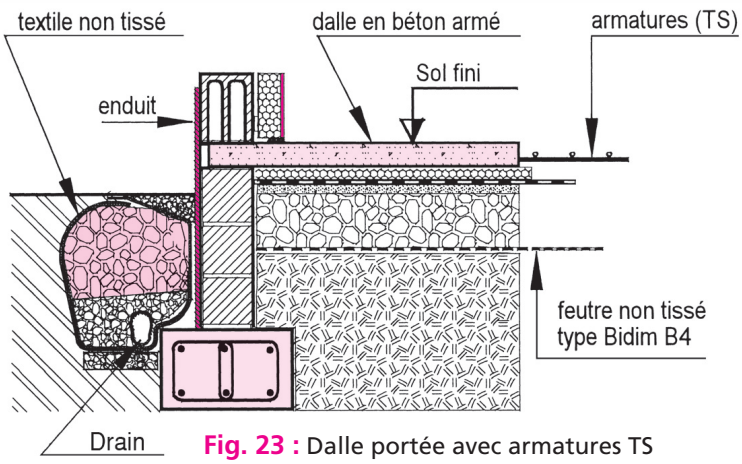


Fig. 23 : Dalle portée avec armatures TS

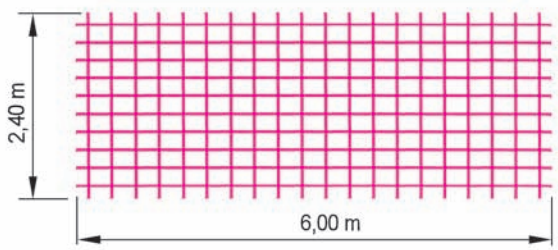


Fig. 24 : Armatures de la dalle portée

- barres HA de renfort (repère 6)
- treillis soudés en panneaux inférieurs (repère 7)
- chapeaux en barres HA en rive et sur plots
- chapeaux en TS au droit des renforts

Constitution du système porteur :
ⓐ murs périphériques en blocs perforés de béton
ⓑ plots de fondation intermédiaires
ⓒ renforts par aciers HA formant poutres plates
ⓓ dalle d'ép. 12 cm armée par des panneaux de treillis soudés de type ST 25 C
ⓔ chaînage périphérique : 4 HA 8 filants + cadres espacés de 150 mm
ⓕ béton BPS de résistance C 25/30 avec granulats Ø max 20 mm, de consistance S3

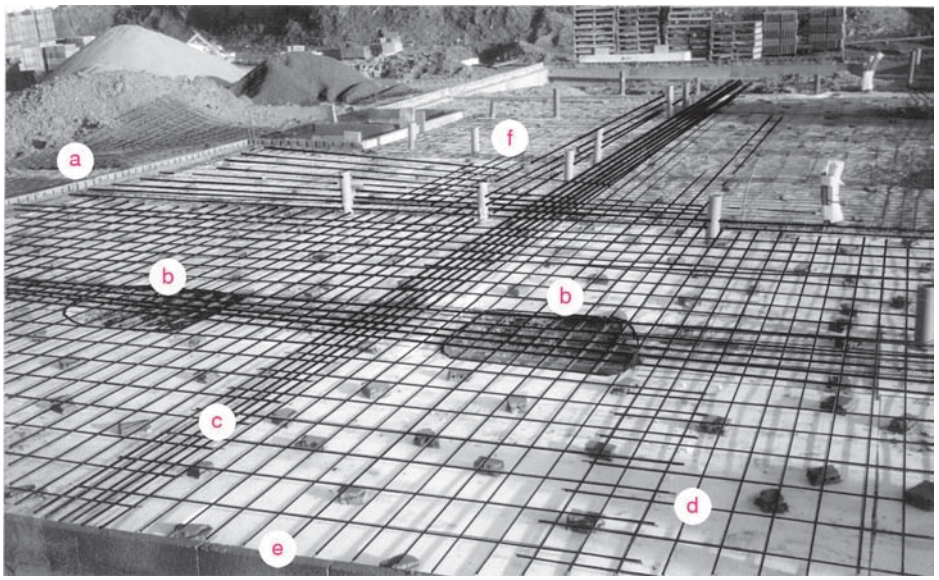


Fig. 25 : Visualisation de la réalisation

Chapitre 4

Béton armé : principes et applications

1. Principe n° 1 : utiliser le béton en compression et l'acier en traction
2. Principe n° 2 : assurer la liaison béton-acier
3. Principe n° 3 : appliquer les règles de mise en œuvre
4. Application des principes aux poteaux en béton armé
5. Dispositions constructives des poteaux et colonnes
6. Fiche technique : armatures des poteaux et semelles isolées
7. Poteaux ancrés sur semelles isolées et sur semelles continues
8. Poteaux soumis à la compression et à la flexion
9. Ancrage et liaison des poteaux en pied et en tête
10. Application des principes aux poutres en béton armé
11. Moment de flexion en une section de poutre
12. Diagrammes de déformations et contraintes en flexion simple
13. Armatures principales dans les zones tendues
14. Effet produit dans les sections par l'effort tranchant
15. Fissuration d'effort tranchant
16. Espacements des cadres et étriers et dispositions constructives minimales
17. Indications de la notice de calcul et plan d'armatures de la poutre
18. Formulaire de poutres rectilignes simples
19. Exemple d'utilisation du formulaire

Détermination de la longueur d'un recouvrement

► Recouvrement rectiligne d'une barre

- **Exemples d'utilisation en ouvrages courants :**
  - semelles de fondation filantes ;
  - poteaux ancrés sur des semelles ;
  - chaînages verticaux ou horizontaux ;
  - armatures de poutres ou de dalles.
- **Longueur de recouvrement l_r**

Elle dépend :
- du diamètre de la barre ∅ ;
- de la résistance caractéristique de l'acier f_e ;
- de la contrainte d'adhérence ultime τ_{su}

$$\tau_{su} = 0{,}6 \cdot \psi^2 \cdot f_{tj}$$

ψ est le coefficient de scellement pris égal à 1,5 pour les aciers HA

f_{tj} est la contrainte de traction du béton

- **Effort normal de traction sur l'acier N_{st}**

Section de l'acier x résistance caractéristique

$$N_{st} = \frac{\pi \cdot \varnothing^2}{4} \cdot f_e \quad (1)$$

- **Forces d'adhérence sur la longueur de scellement F_{ad}**

$$F_{ad} = \pi \cdot \varnothing \cdot \tau_{su} \cdot l_s \quad (2)$$

Condition d'équilibre : (1) = (2)

$$N_{st} = F_{ad}$$

$$l_s = \frac{\varnothing \cdot f_e}{4\,\tau_{su}} \quad (3)$$

- Longueurs de recouvrement l_r en fonction du diamètre

f_{c28}	20	25	30	35	40	45	50
τ_{su}	2,43	2,83	3,24	3,64	4,05	4,45	4,86
l_r	51,4 ∅	44,2 ∅	38,6 ∅	34,3 ∅	30,9 ∅	28,1 ∅	25,7 ∅

Exemple
- Béton de classe de résistance C 25/30
- Contrainte d'adhérence : 2,83 MPa
- Acier de nuance 500
- Diamètre de la barre : 14 mm

Longueur de scellement droit (formule 3) :

$$l_s = \frac{1{,}4 \text{ cm} \times 500 \text{ MPa}}{4 \times 2{,}83 \text{ MPa}} = 61{,}84 \text{ cm}$$

soit : longueur de recouvrement ≃ 44,2 fois le diamètre

En pratique, on prend les valeurs forfaitaires suivantes pour les longueurs de recouvrement l_r avec un acier de nuance HA 500 :
- l_r = 50 ∅ pour les jonctions des **barres tendues sans crochets** ;
- l_r = 30 ∅ pour les jonctions des **barres comprimées** (poteaux).

► Recouvrement des panneaux de treillis soudés

- **Les ancrages rectilignes et les dispositions des panneaux**

Ils sont précisés dans le chapitre 3 (fig. 12 à 15 p. 40-41).

- **Le recouvrement des panneaux**

Le recouvrement des panneaux avec 3 soudures dans le sens porteur est souvent effectué dans un même plan (cf. fig. 22a).
Le recouvrement en plans distincts (fig. 22b) est réducteur pour l'obtention de la hauteur utile.

- Ancrage total

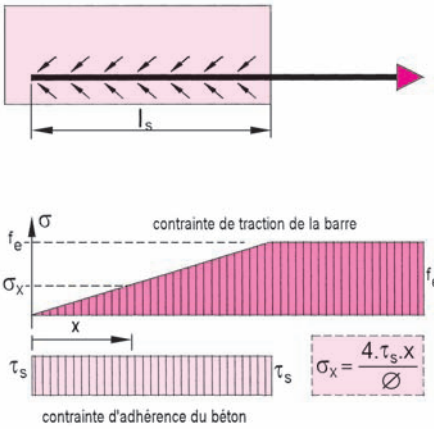


Fig. 19 : Adhérence et scellement droit

- **Principe de scellement de la barre par adhérence**

La contrainte de traction de l'acier varie sur la longueur de scellement.
La contrainte d'adhérence sur la barre est supposée constante.

- **Tableau des périmètres utiles**

Le périmètre utile minimal est circonscrit à la section droite d'un paquet de 2 ou 3 barres.

Barre isolée	π . ∅
Paquet de 2 barres	(π + 2) . ∅
Paquet de 3 barres	(π + 3) . ∅

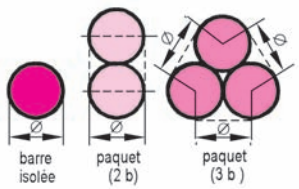


Fig. 20 : Périmètres utiles

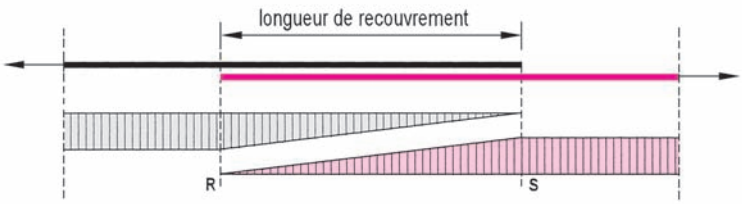


Fig. 21 : L'effort de traction est repris en toute section du recouvrement

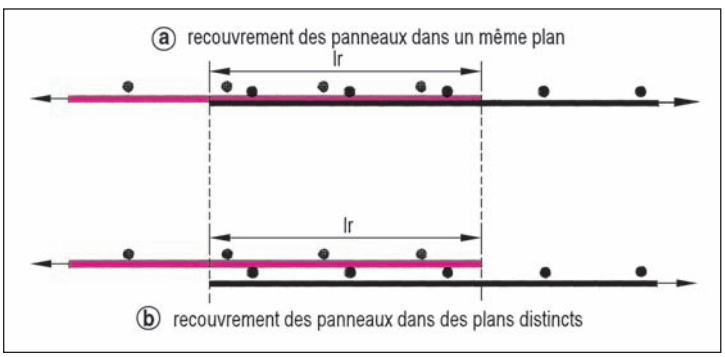


Fig. 22 : Recouvrement des panneaux de treillis soudés (22a et 22b)

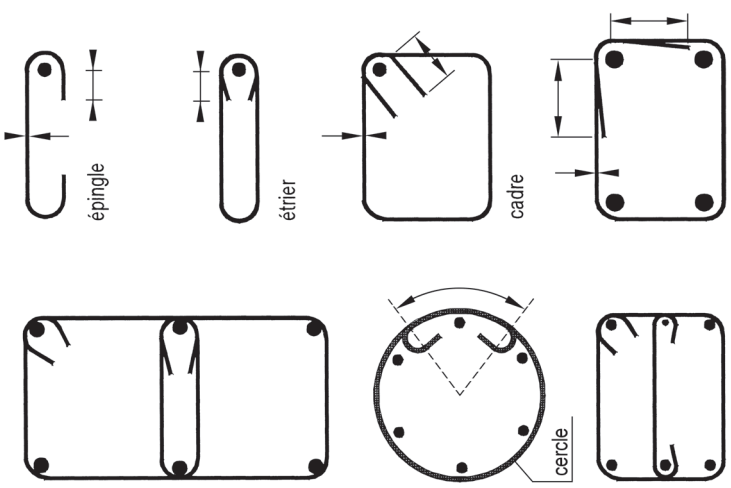


Fig. 23 : Ancrages des cadres, étriers, épingles

8. Poteaux soumis à la compression et à la flexion

Les poteaux supportent surtout des charges verticales permanentes et d'exploitation transférées par :

- la toiture (charpente et couverture) ;
- les planchers ;
- les poutres appuyées sur les poteaux.

La charge appliquée est rarement centrée sur le poteau et celui-ci subit les actions des poutres solidaires qui ont tendance à l'incurver.

Le type de chargement sur le poteau du pavillon, schématisé fig. 51 et 52, introduit des moments de flexion par les poutres dans le sens longitudinal et le sens transversal.

La section du béton et des aciers du poteau et son élancement doivent éviter tout risque de flambement sous l'effet des charges à prendre en compte avec les coefficients de sécurité réglementaires.

Les liaisons en tête et en pied de poteau sont réalisées par :

- **des longueurs minimales de recouvrement** des barres aux jonctions (fig. 36 à 38 et fig. 48) ;
- **des attentes crossées** scellées dans les fondations (fig. 47, 48, 50 et 55) ;
- **des équerres disposées en angle** dans le plan vertical à la jonction poteau-poutre (fig. 55) ;
- **des chapeaux** surmontant les poteaux centraux (fig. 56 et 58) ;
- **des chaînages** assurant la stabilité des ouvrages de maçonnerie et de béton armé (fig. 53 et 60) ;
- **la présence d'armatures secondaires** (cadres, étriers, barres relevées aux appuis) suivant les règles de mise en œuvre pour les diamètres et les espacements (§ 15).

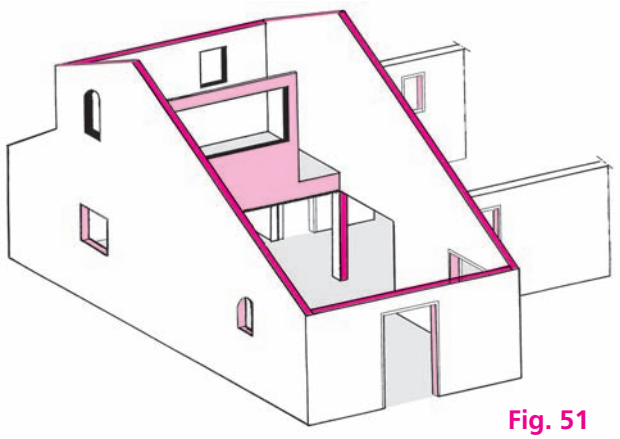


Fig. 51

Le poteau reçoit les charges schématisées sur les fig. 51 et 52.

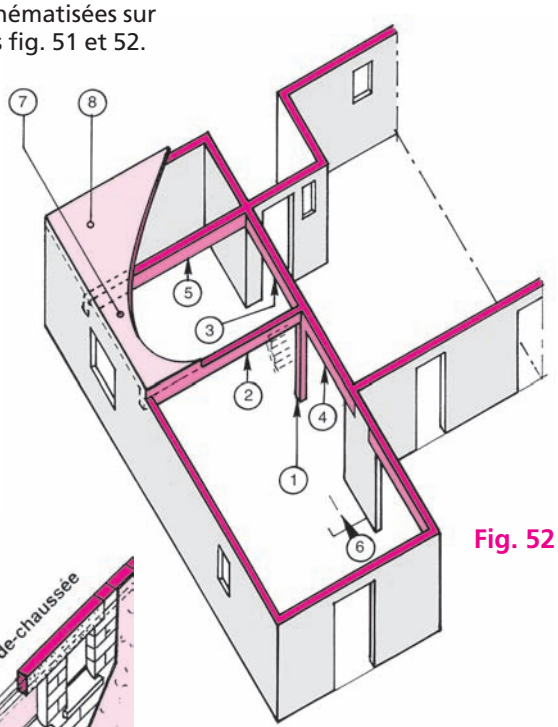


Fig. 52

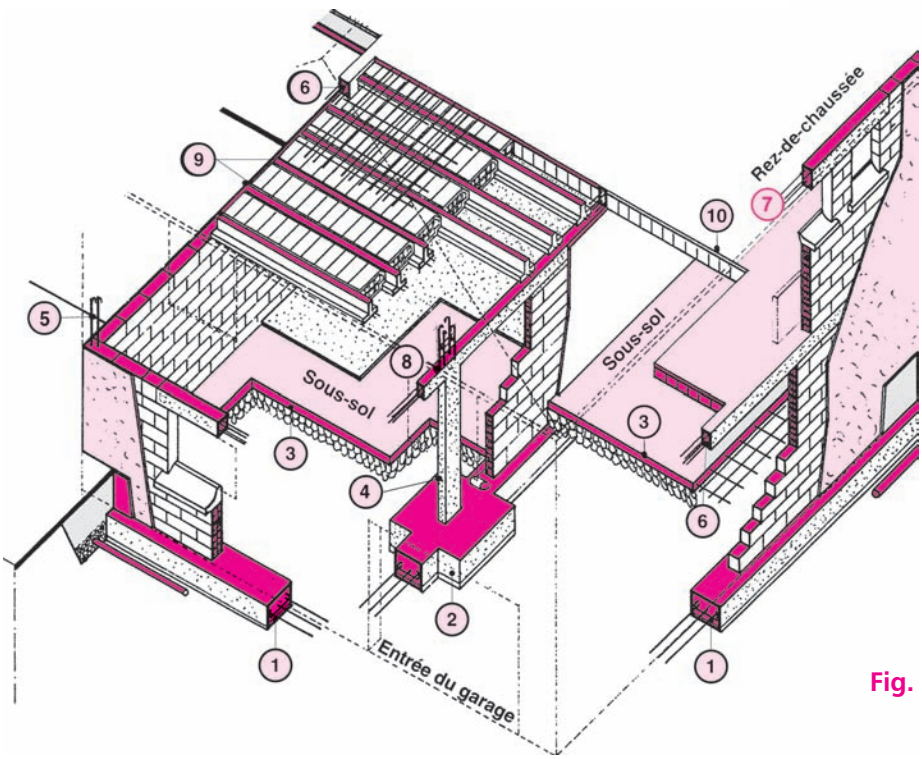


Fig. 53 : Poteau intérieur et son environnement dans une structure de pavillon (fig. 13 chap. 1)

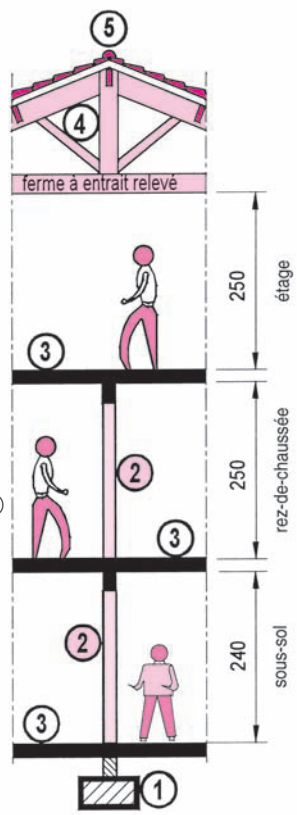


Fig. 54 : Charges sur le poteau ②

1	Semelle continue
2	Semelle élargie sous poteau
3	Dalle du sous-sol
4	Poteau incorporé
5	Chaînage vertical

6	Chaînage horizontal
7	Linteaux
8	Poutre-chaînage sur refend
9	Poutrelles du plancher du sous-sol
10	Dalle de compression du plancher

9. Ancrage et liaison des poteaux en pied et en tête

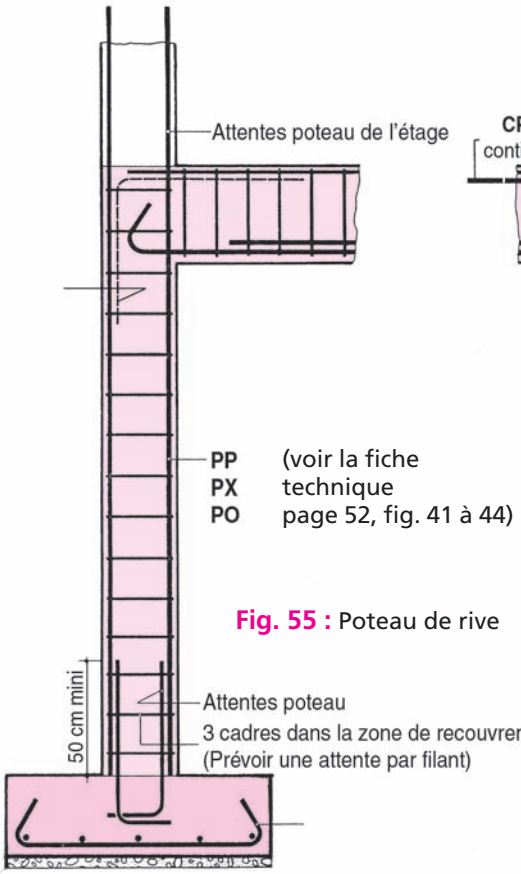


Fig. 55 : Poteau de rive

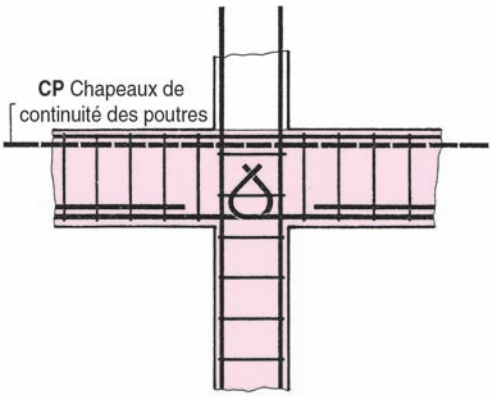


Fig. 56 : Poteau isolé central

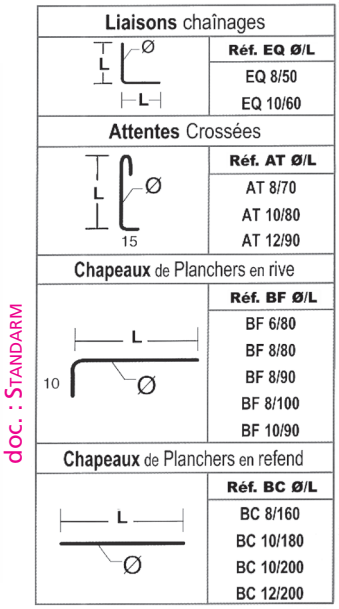


Fig. 57 : Équerres, crosses et chapeaux

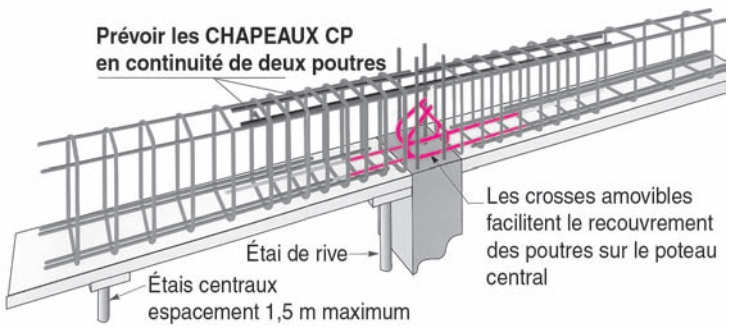


Fig. 58 : Continuité par chapeaux sur le poteau central

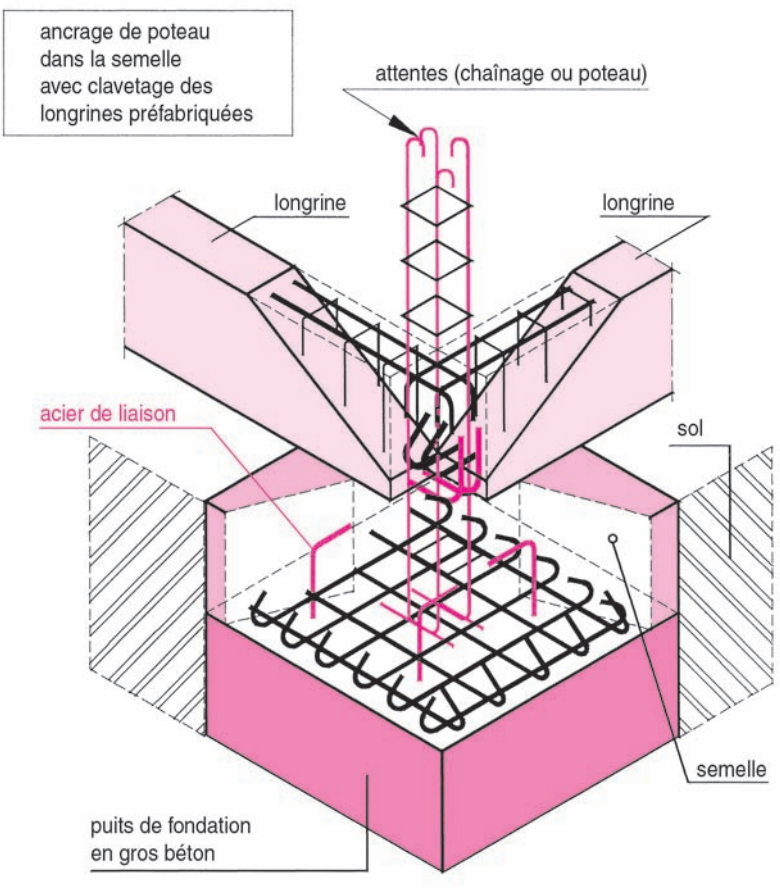


Fig. 59 : Fondation par massifs bétonnés et longrines

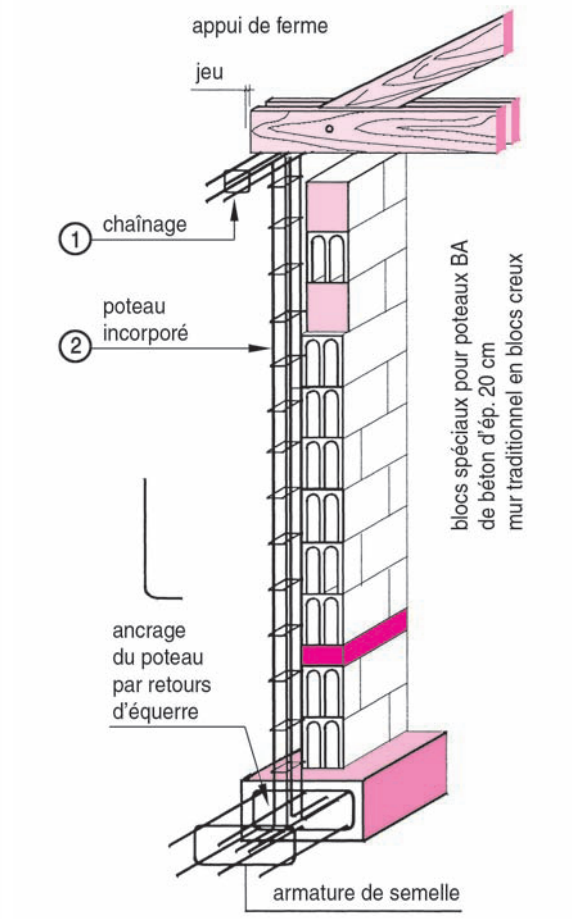


Fig. 60 : Ancrage dans la semelle et chaînage en tête

10. Application des principes aux poutres en béton armé

Une poutre est un élément de construction, généralement horizontal, appuyé à ses extrémités sur un mur ou un poteau en béton armé.

C'est un solide engendré par une section droite **S**, dont le centre de surface **G** décrit une droite, dans le cas des poutres rectilignes, ou une courbe, dans le cas des poutres courbes ou arcs, appelée ligne moyenne (fig. 61).

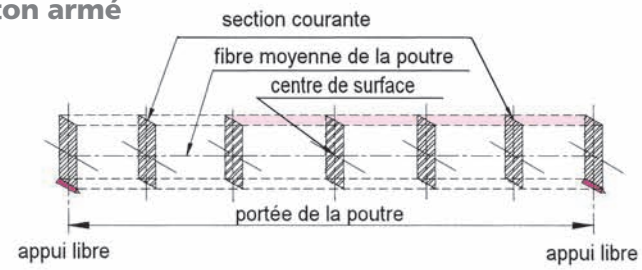


Fig. 61 : Notion de poutre rectiligne

Mode de fonctionnement

Exemple d'une poutre uniformément chargée, appuyée sur deux appuis libres.

Considérons deux sections voisines (fig. 62) :

- S_1 de trace verticale **ab** ;
- S_2 de trace verticale **cd**.

Avant chargement, on a :

- la fibre supérieure **ac** ;
- la fibre inférieure **bd** ;
- la ligne moyenne **mn**.

La poutre est rectiligne :

- sans rotation aux appuis ;
- sans déformée (flèche).

Après chargement, on a :

- la fibre supérieure $\mathbf{a_1c_1}$;
- la fibre inférieure $\mathbf{b_1d_1}$;
- la ligne moyenne **mn** inchangée.

La poutre est fléchie :

- avec rotation aux appuis ;
- avec une déformée (flèche).

Résultats (fig. 63 et 64) :

- raccourcissement de la fibre supérieure qui traduit un effort de compression du béton N_b ;
- allongement de la fibre inférieure qui traduit un effort de traction N_a.

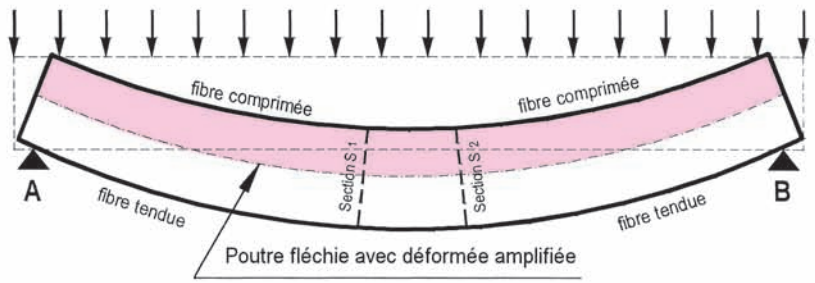


Fig. 62 : Poutre fléchie

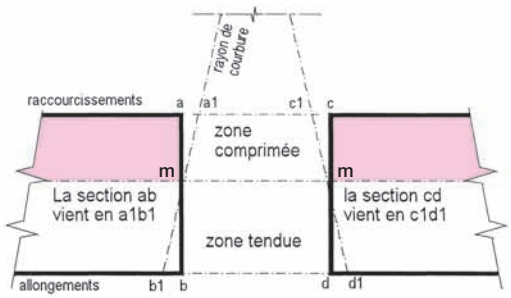


Fig. 63 : Courbure et déformations

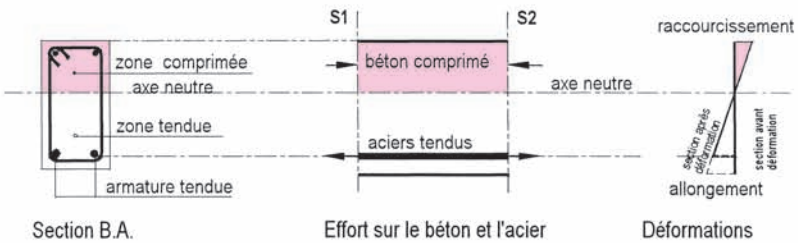


Fig. 64

Application du principe béton armé

- **Les aciers principaux** sont placés en zone inférieure de la poutre avec crochets d'extrémités.
- **Le béton** équilibre seul l'effort de compression en partie supérieure.
- **Les armatures transversales** sont nécessaires pour équilibrer l'effort tranchant.

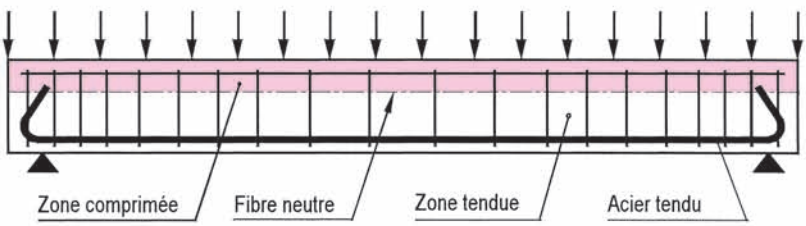


Fig. 65 : Organisation d'une poutre

Condition d'équilibre statique au moment de flexion

La somme des projections horizontales des forces doit être nulle (fig. 66) :

$$N_b + N_a = 0$$

Le moment de flexion des forces extérieures est égal au moment des forces intérieures dans une section **S** quelconque située à une distance x de l'appui gauche. Z étant le bras de levier ou distance des points d'application entre N_b et N_a :

$$M(x) = N_b \cdot Z \text{ ou } M(x) = N_a \cdot Z$$

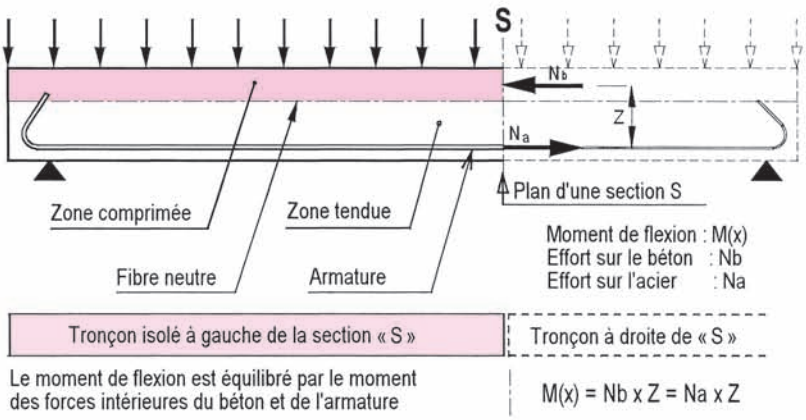


Fig. 66

11. Moment de flexion en une section de poutre

Le moment de flexion en travée de poutre est proportionnel :

- **à la portée de la poutre prise.** Elle est égale à la distance :
  - entre appuis, dans le cas d'appuis en béton armé comme les poteaux,
  - en considérant dans le cas de murs en maçonnerie une répartition triangulaire des pressions sur chaque appui d'extrémité ;
- **aux charges appliquées,** réparties ou concentrées.

Le moment de flexion au droit des appuis nécessite des aciers en partie supérieure de la poutre, dans la zone tendue.

Les aciers tendus en lit inférieur sont toujours prolongés sur les appuis de poutre.

Les contraintes dans une section sur le béton comprimé et l'acier tendu sont proportionnelles :
- au moment de flexion ;
- à la plus grande distance à partir de la fibre moyenne.

La résistance au moment de flexion d'une poutre intervient par le carré de sa hauteur utile, tant à l'état limite de service qu'au calcul à l'état limite ultime.

À l'état limite de service, on considère un comportement élastique du béton et de l'acier. La section d'acier est remplacée dans les calculs par une section de béton **n** fois plus grande. Le coefficient d'équivalence **n** est égal à 15.

À l'état limite ultime, on applique la règle des trois pivots avec utilisation d'un diagramme simplifié de compression du béton dit « diagramme rectangulaire », ou d'un diagramme des contraintes dit « parabolique ».

Principe : on cherche à utiliser les caractéristiques mécaniques de l'acier au maximum en fonction des conditions de limitation de la fissuration des ouvrages : peu nuisible, préjudiciable ou très préjudiciable.

Notion de contrainte en un point

La contrainte normale **σ** en un point est le quotient de la force intérieure élémentaire **df** qui s'exerce sur un élément de surface **ds** très petit.

Force élémentaire intérieure : **df = σ . ds**

Prenons l'exemple d'une éprouvette en métal sollicitée en traction par un effort normal de traction **F**.

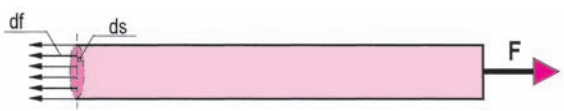


Fig. 67 : Effort normal F de traction

L'équation d'équilibre exige, avec l'hypothèse d'une répartition uniforme, des contraintes **σ** :

$$+\sigma \cdot \Sigma\, ds - F = 0, \text{ avec } \Sigma\, ds = S$$

Contrainte de traction exercée : **σ = F/S**

Règle des 3 pivots (A, B, C) dans le calcul à l'ELU

On distingue 3 domaines à l'aide de 3 pivots A, B, C et des droites représentatives de la déformation de la section issues de l'un des pivots (fig. 71).

Considérons par exemple le pivot A et le domaine 1 limité par AA' et le pivot B.

Les droites pivotant en A, situé au niveau du centre de gravité des aciers, matérialisent les diagrammes possibles de déformation de la section.

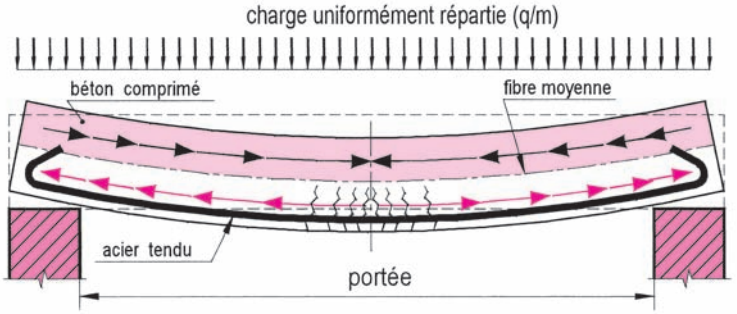


Fig. 68 : Poutre fléchie, effet du moment de flexion

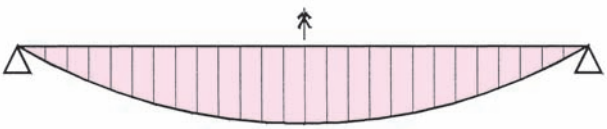


Fig. 69 : Moment de flexion maximal au milieu de la portée, Mf = Ql²/8

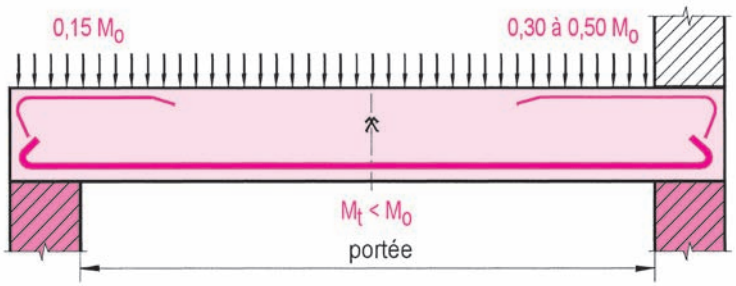


Fig. 70 : Chapeaux prescrits aux extrémités de poutre

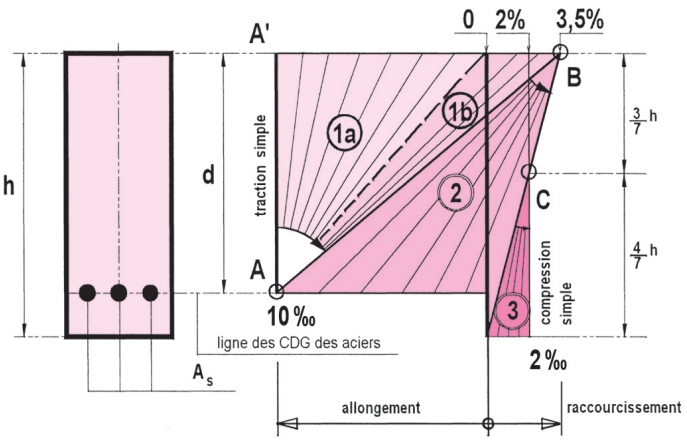


Fig. 71 : Règle des 3 pivots et diagrammes de déformations d'une section à l'ELU

Matériau acier	Matériau béton
Régions 1A et 1B Allongement constant pris égal à 10 ‰ Contrainte de calcul maximale **L'acier est bien utilisé** dans tous les cas pour les ouvrages courants tels que les poutres, les dalles ou les dallages.	**Région 1A** Le béton est tendu $0 < \varepsilon_{bu} \leq 10$ ‰ Cas des tirants en BA **Région 1B** Le béton subit un raccourcissement relatif $0 < \varepsilon_{bu} \leq 3{,}5$ ‰ La fibre supérieure est comprimée La section est partiellement comprimée comme dans le cas fréquent des poutres et des dalles

1. Principaux ouvrages porteurs d'une construction

Ouvrages en maçonnerie et en béton armé.

- **Éléments porteurs horizontaux** généralement en béton armé :
  - semelles de fondation sous murs ou sous poteaux ;
  - planchers en dalle pleine sur terre-plein ou avec poutrelles et entrevous ;
  - linteaux de baies, poutres, corniches, balcons, chaînages.
- **Éléments porteurs verticaux** et réalisés :
  - **soit en maçonnerie** de blocs béton ou de terre cuite pour les murs de façade, de refend, de pignon ;
  - **soit en béton armé** pour les poteaux, les raidisseurs d'angle ou intermédiaires.
- **Éléments inclinés** tels que paillasses d'escalier en béton armé, chaînages rampants des pignons, etc.

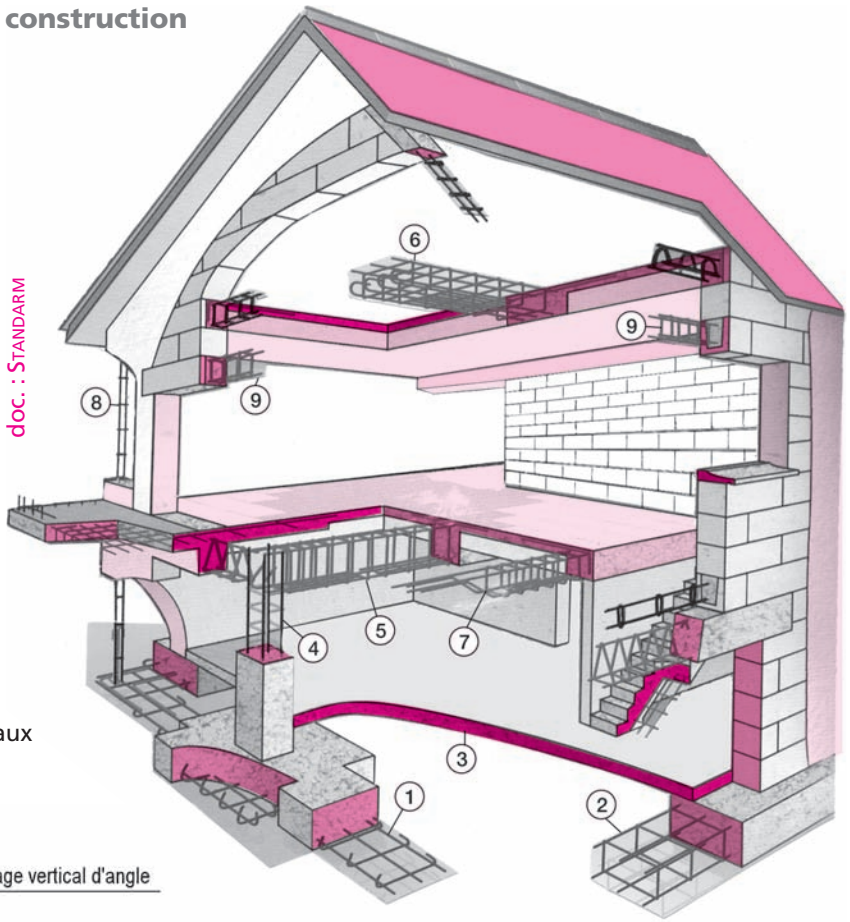


Fig. 1 : Ouvrages en béton armé associés aux maçonneries de mur

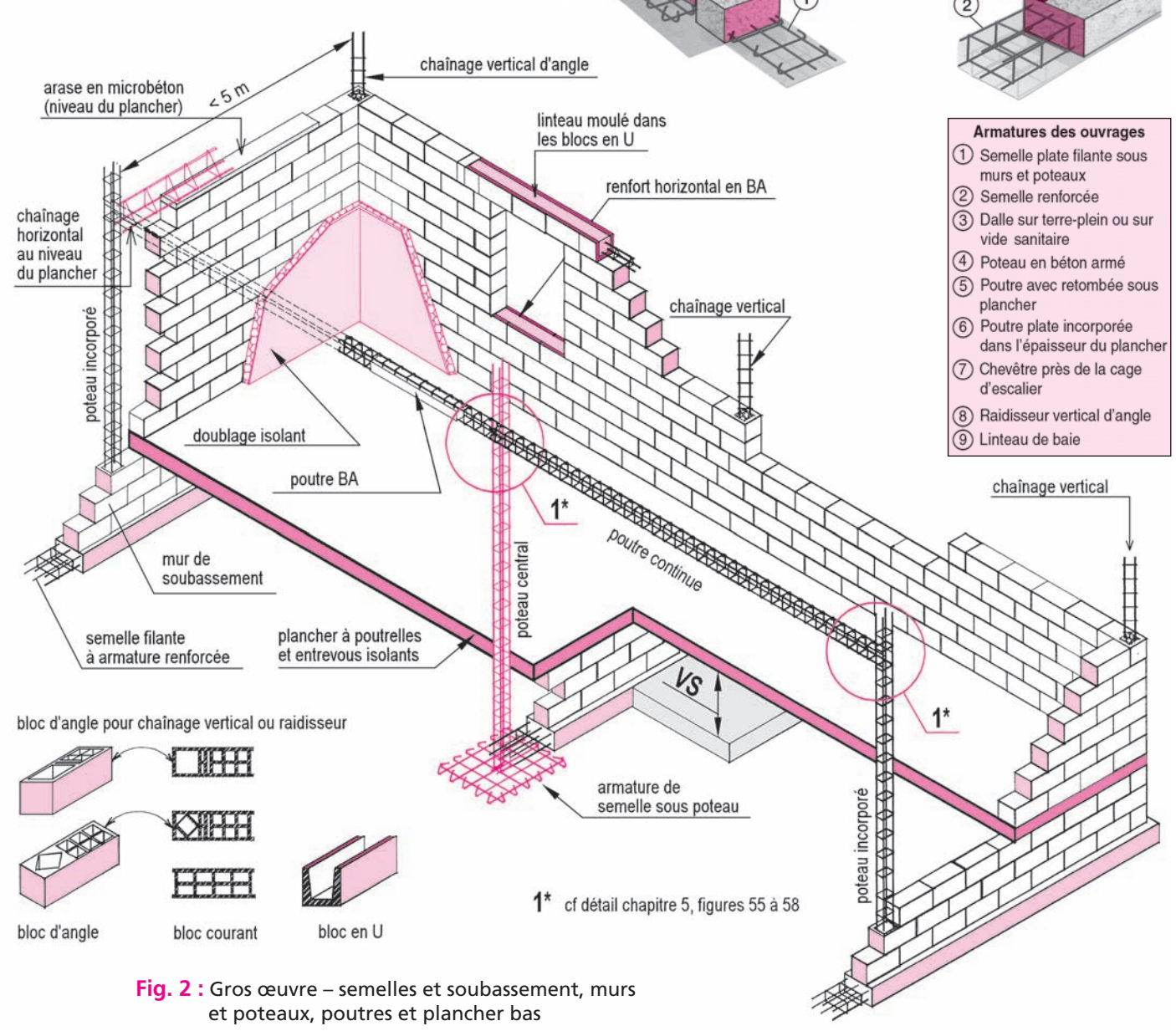


Fig. 2 : Gros œuvre – semelles et soubassement, murs et poteaux, poutres et plancher bas

5. Application pour un pavillon à combles aménagés

Le concepteur veut limiter la réalisation des refends afin :

- de libérer le maximum de surface habitable ;
- de s'affranchir des contraintes d'implantation des pièces ;
- de réduire le coût des fondations en réalisant des semelles isolées sous les poteaux intérieurs.

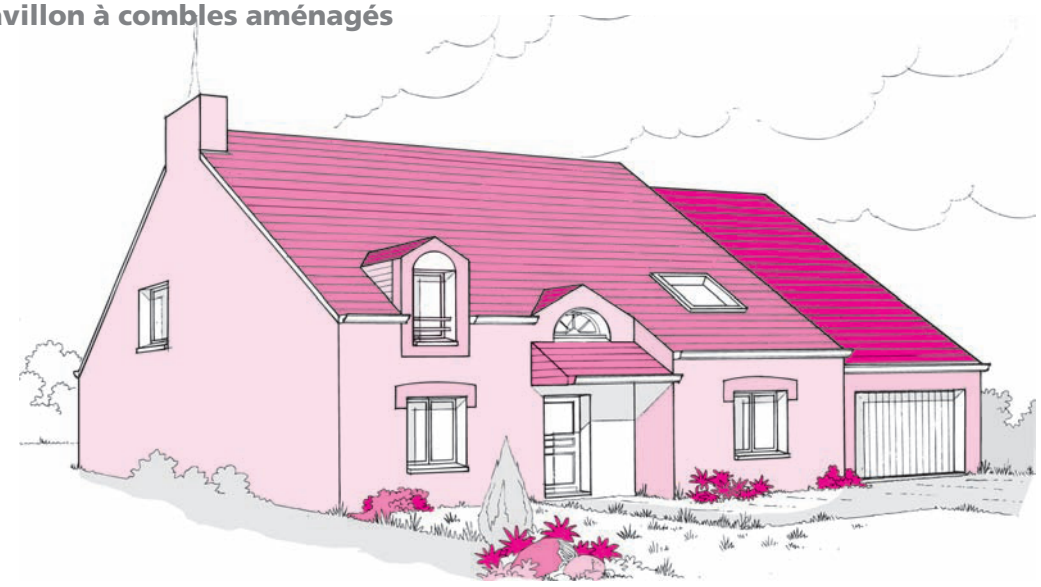


Fig. 16 : Vue d'ensemble de la construction avec combles aménagés et garage adossé

L'implantation des poteaux tient compte :

- de la distribution des locaux (fig. 17 à 20) ;
- du mur pignon de droite à porter à l'étage par poutres n° 4 et 5 ;
- des portées des poutres pour limiter la retombée sous plancher.

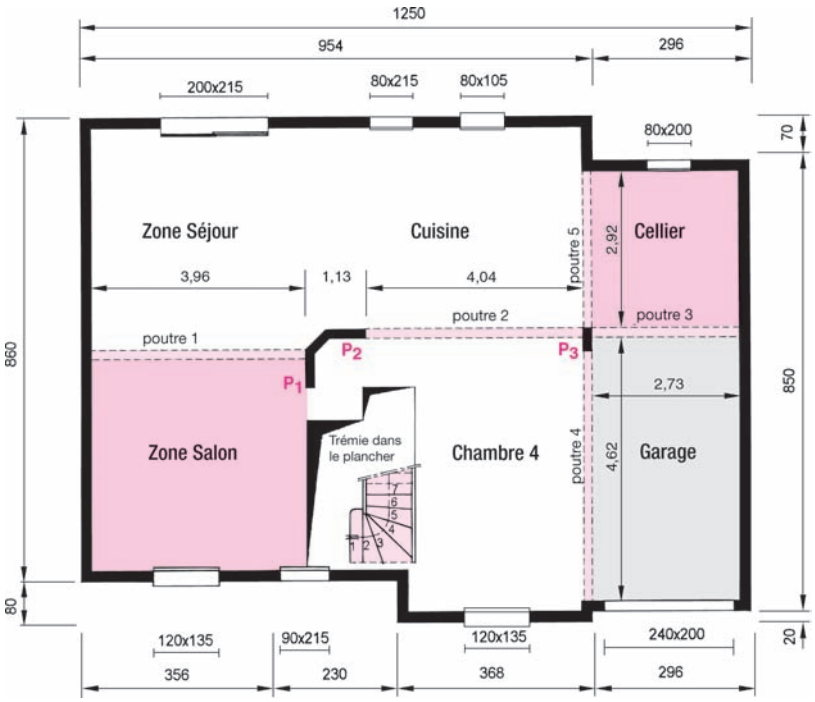
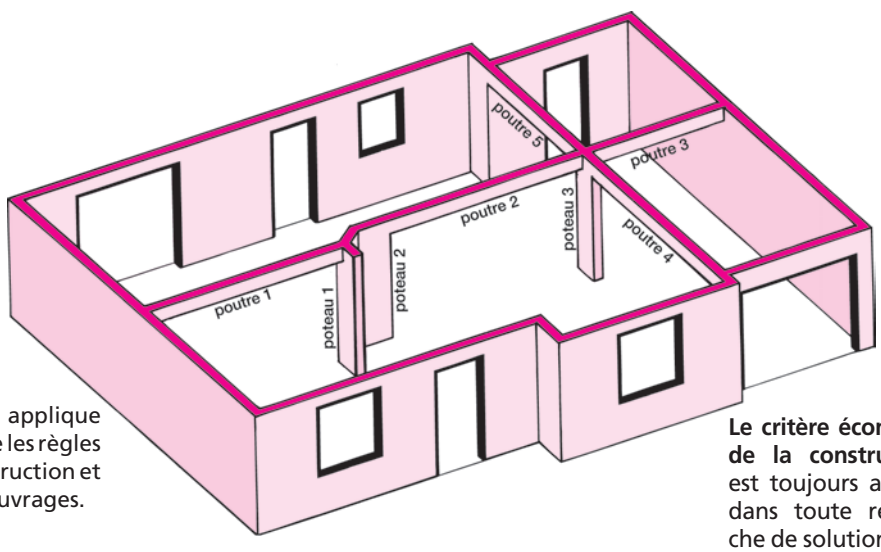


Fig. 17 : Schéma de la structure porteuse du plancher haut du rez-de-chaussée

Le système porteur du plancher nécessite :

- les poteaux intérieurs P1, P2 et P3 (fig. 17) ;
- les poteaux incorporés de rive dans les murs pignons aux extrémités de poutre ;
- les poutres n° 1 à n° 5 appuyées sur les poteaux.



Le concepteur applique en permanence les règles de bonne construction et de tenue des ouvrages.

Le critère économie de la construction est toujours associé dans toute recherche de solutions.

Fig. 18 : Visualisation de l'ensemble porteur au niveau du rez-de-chaussée

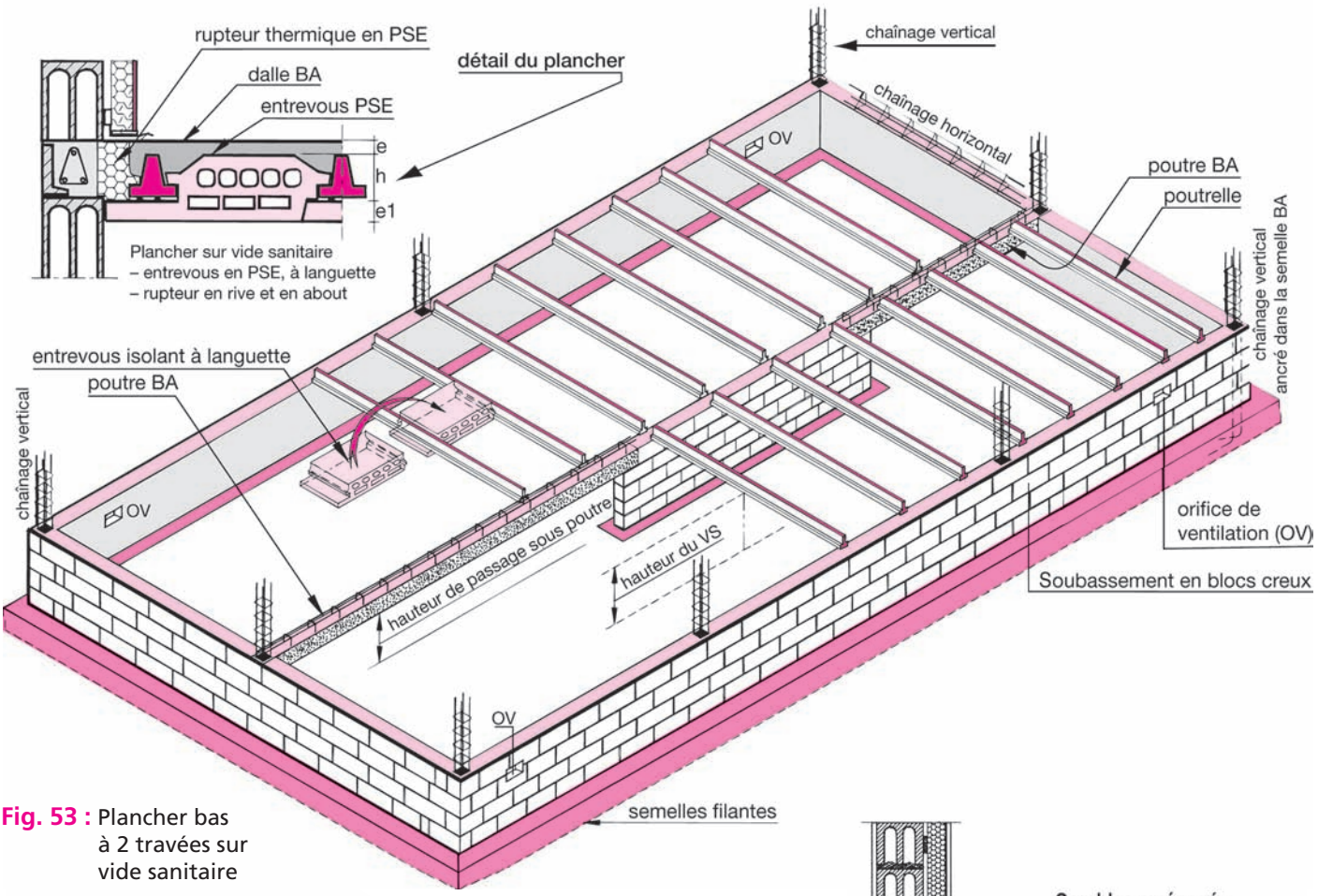


Fig. 53 : Plancher bas à 2 travées sur vide sanitaire

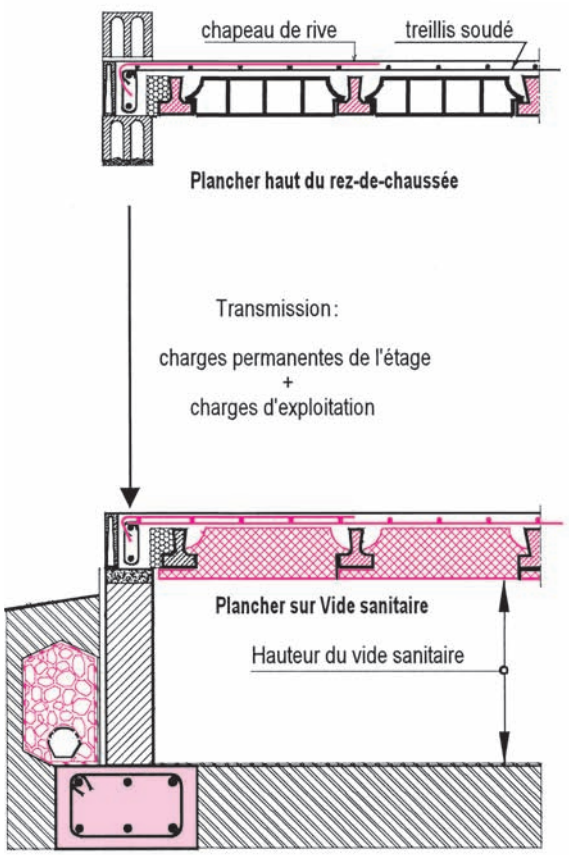


Fig. 54 : Mur de façade non porteur des planchers

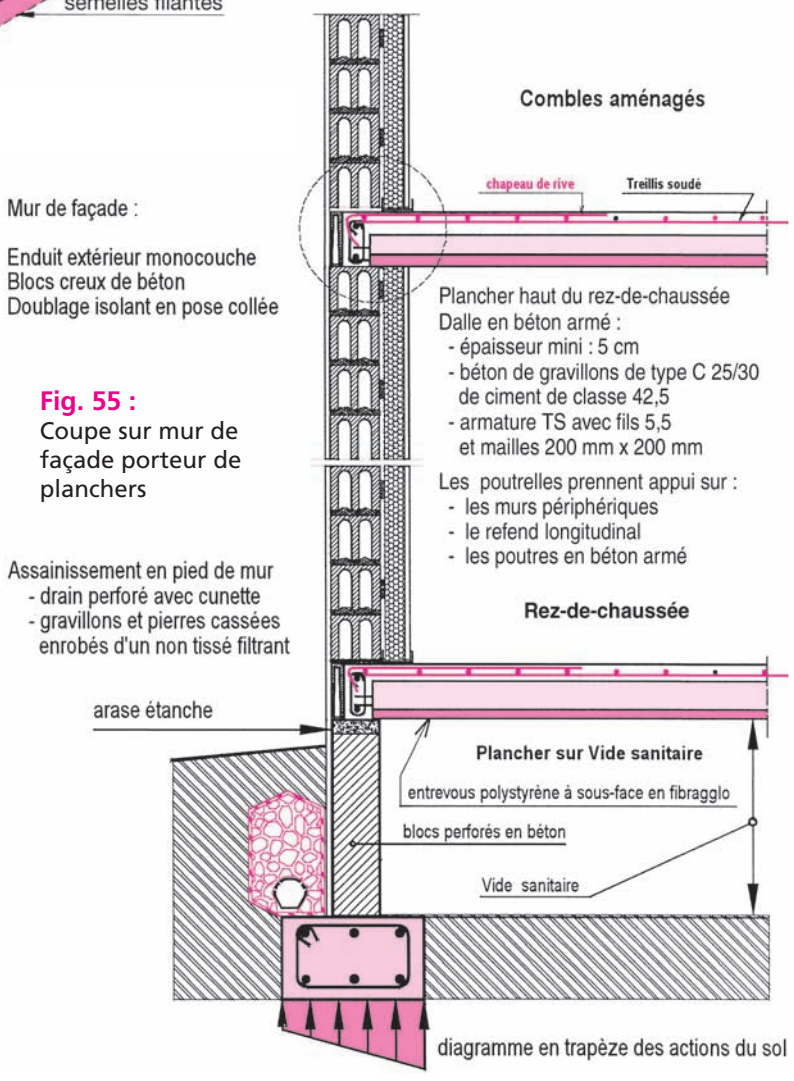


Fig. 55 : Coupe sur mur de façade porteur de planchers

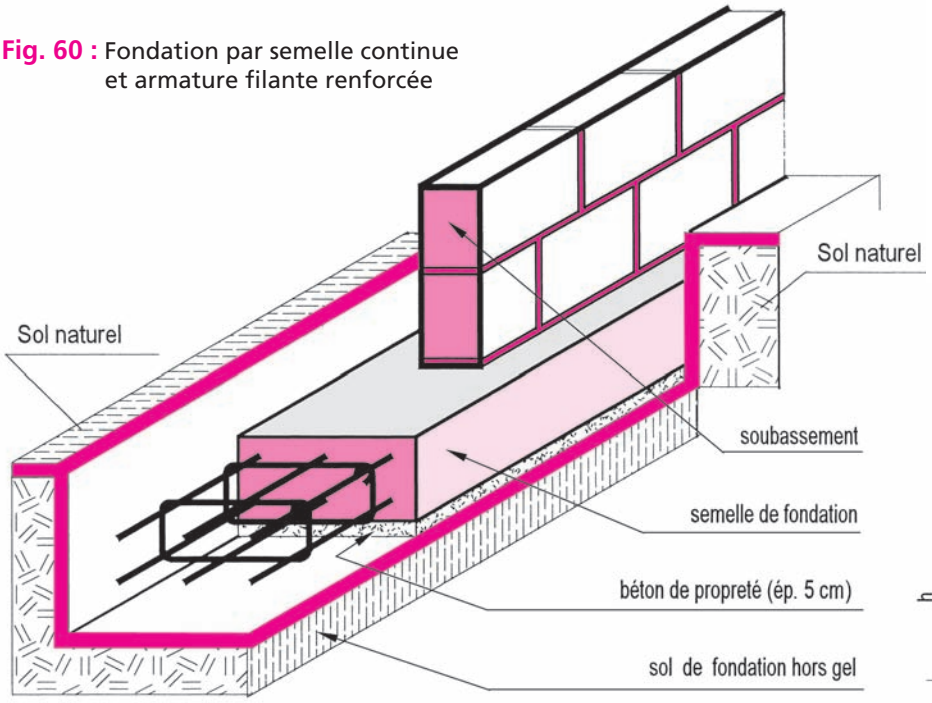


Fig. 60 : Fondation par semelle continue et armature filante renforcée

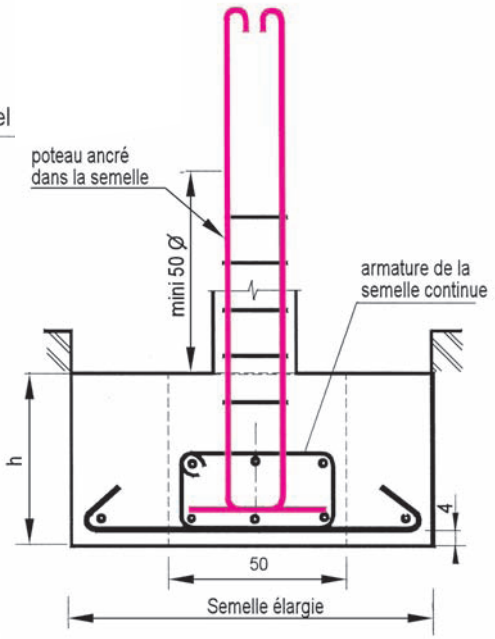


Fig. 61 : Semelle continue en béton armé élargie au droit du poteau

Schémas d'armatures de semelles filantes en fonction du sol et des charges (fig. 61 à 66)

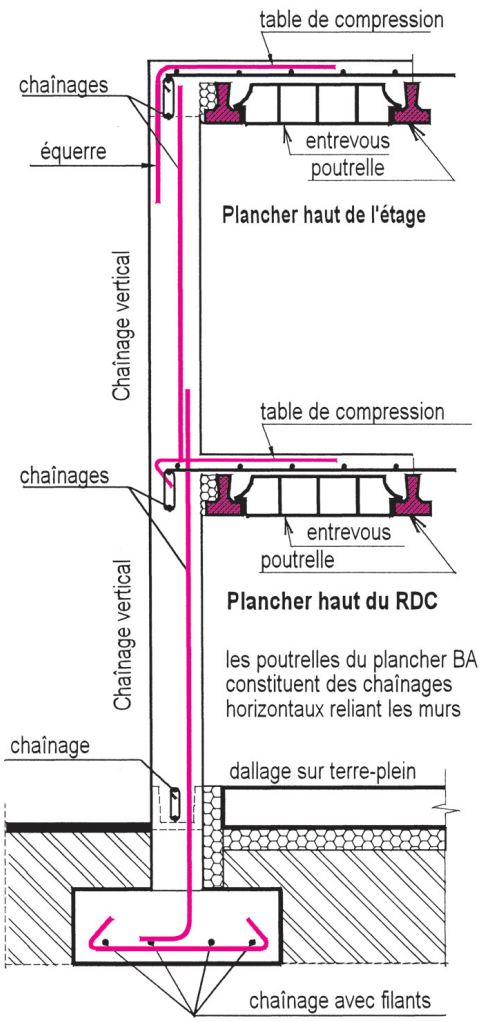


Fig. 62 : Chaînage vertical ancré dans la semelle

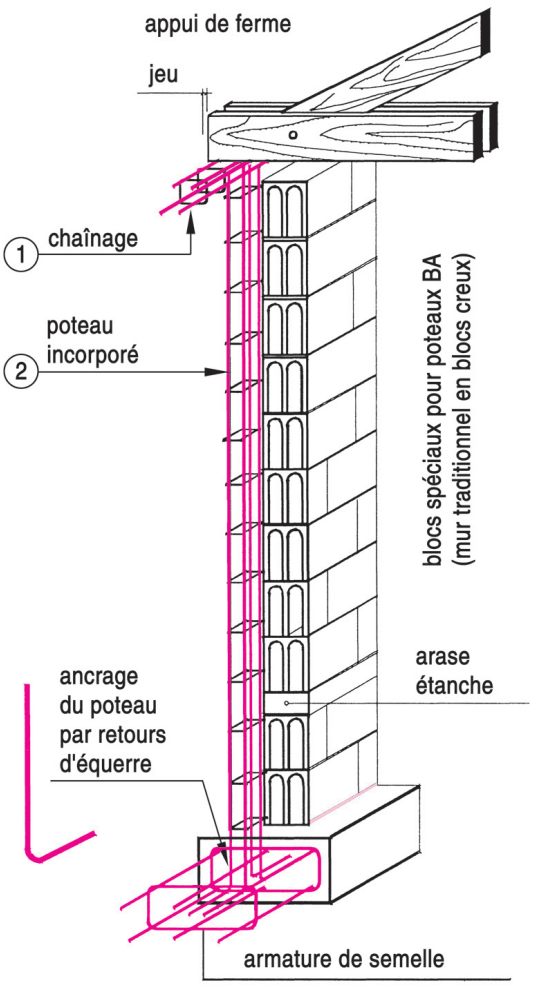
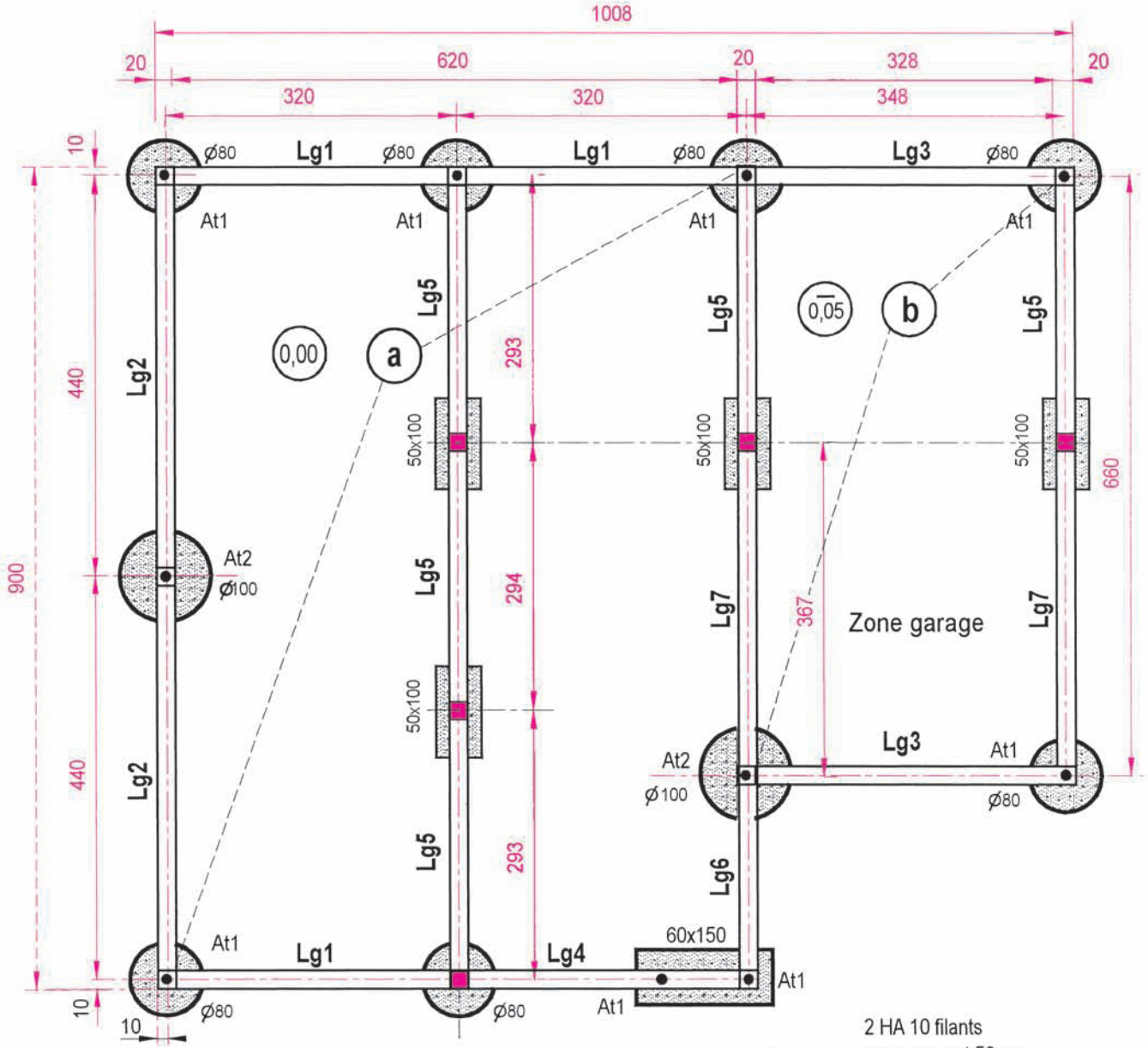
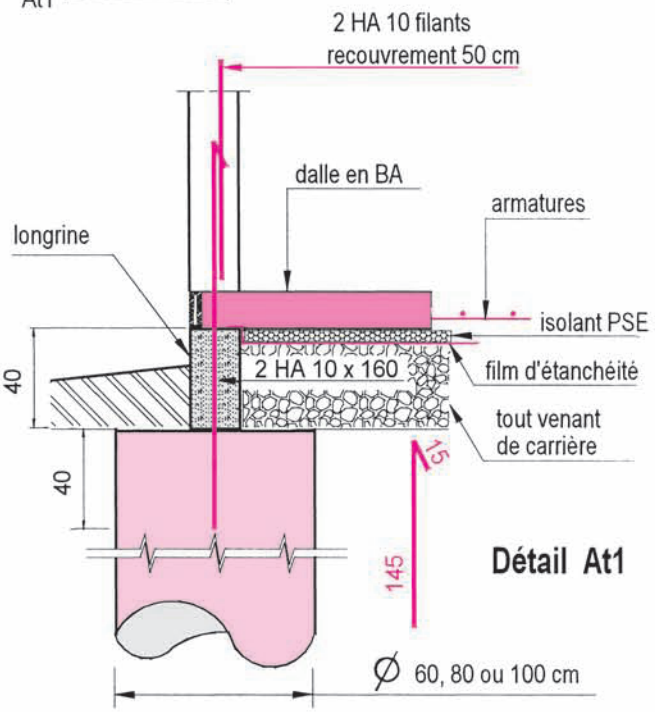


Fig. 63 : Ancrage d'un poteau dans la semelle





- **Lg n°** : repérage des longrines préfabriquées
- **At n°** : ancrages en attente
- Diamètre des puits en cm
  (ex : 80 ou 100 cm)
- Massifs de section rectangulaire
  (ex : 50x100 cm)
- Zones du plancher bas
  - surface habitable (repère a)
  - garage (repère b)
- Localisation des puits ou des massifs :
  - angles de la construction rentrants ou sortants
  - en ligne en porteurs intermédiaires de longrines
- Cotes d'implantation des puits par leurs axes

7. Plan d'armatures des longrines en béton armé

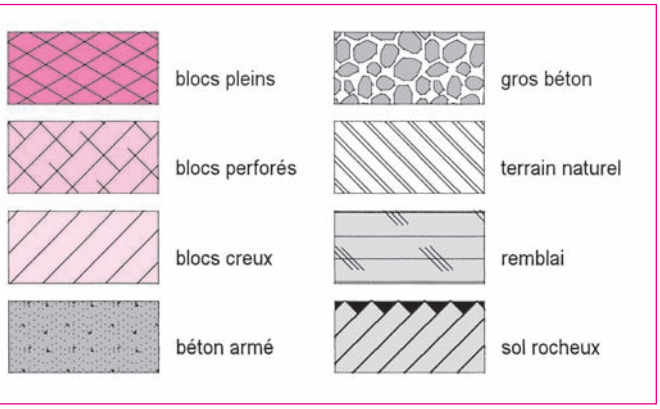
Rôle du bureau d'études béton armé

Il **effectue la descente de charges sur chaque longrine en béton armé** et détermine les sections de béton et d'aciers.

Il élabore un carnet de feuillets relatifs à chaque type de longrine avec les détails d'armature pour l'exécution des ouvrages.

Il **précise la légende adoptée sur les plans et les hypothèses de l'étude sur les matériaux, le sol et les charges.**

Légende (fig. 37)



Hypothèses de l'étude

Bétons pour béton armé (type BPS) :

– résistance caractéristique en compression à 28 jours :

$f_{c28} = 25$ MPa

Aciers

– acier à haute adhérence (HA) à résistance caractéristique : $f_e = 500$ MPa

Exemple : HA 8 (acier haute adhérence de diamètre 8 mm)

– acier doux pour les anneaux de levage : $f_e = 235$ MPa

– treillis soudés en panneaux : $f_e = 500$ MPa

– rayon de courbure des crochets des aciers principaux : 5,5 ∅ pour HA et 3 ∅ pour les aciers doux

– enrobage minimal des aciers : 3 cm (extérieur) et 2 cm (intérieur)

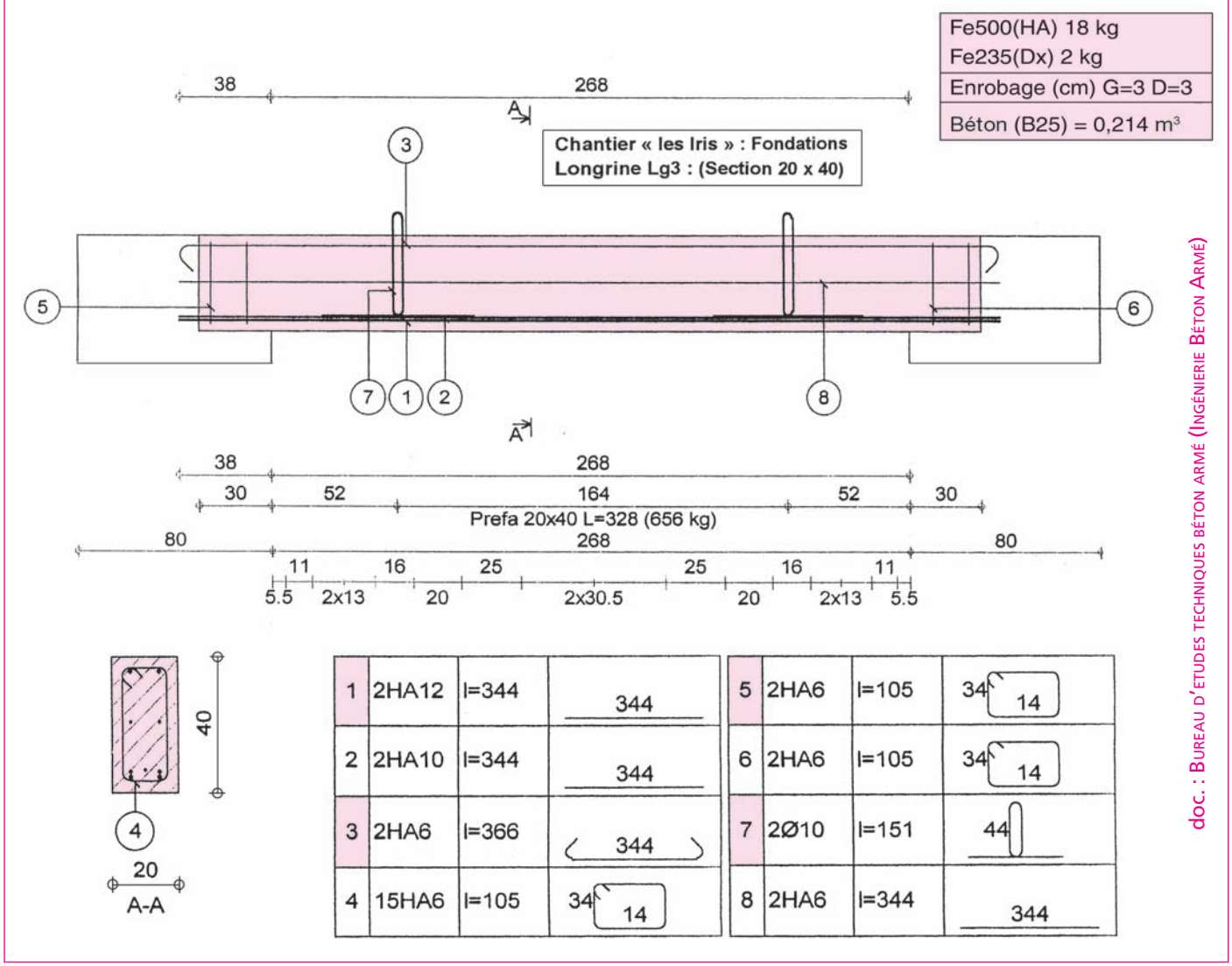
– **Résistance du sol** : 0,2 MPa ou 2 daN/cm²

– **Charges d'exploitation** :

Zone habitable : 150 daN/m²

Zone garage : 250 daN/m²

Exemple : armatures de la longrine Lg3 (fig. 38)



doc. : Bureau d'études techniques béton armé (Ingénierie Béton Armé)

Fig. 38 : Détails de l'armature de la longrine Lg3 de section 20 x 40

8. Cas d'une maison à combles aménagés

Données de départ

- **Le sol porteur** après creusement à la pelle se situe entre 1,30 m et 1,50 m environ en dessous du niveau du terrain naturel.
- **Le choix des fondations** s'oriente en conséquence vers une solution de fondations par plots et longrines.
- **La descente de charges** s'effectue en prenant en compte les charges transmises par :
  - le plancher bas à poutrelles ;
  - le plancher de l'étage supporté par des murs et une poutre en retombée.
- **Un vide sanitaire ventilé est prévu.**

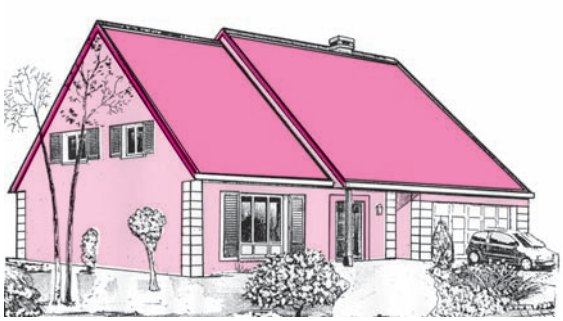
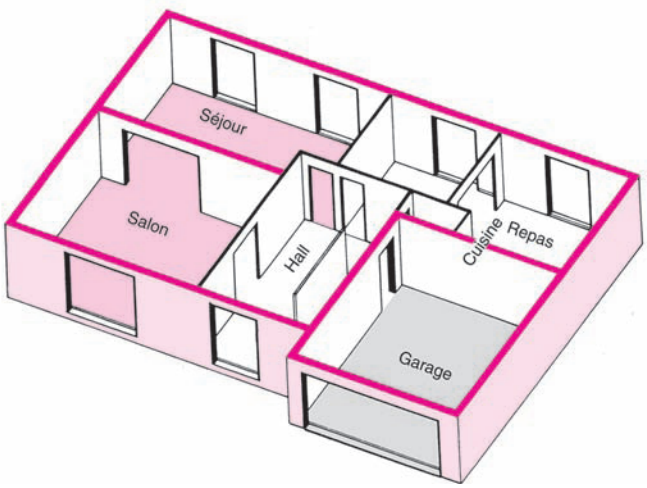


Fig. 39 : Vue perspective du pavillon avec garage

La structure porteuse par murs, poteaux, poutres et planchers est déterminante pour l'implantation des fondations (semelles, plots ou puits).



Implantation des plots

Elle dépend :

- de la position des angles de la maison ;
- des emplacements des murs de refend ou des poteaux ;
- de la portée des longrines en béton armé ou en béton précontraint en fonction de leur section ;
- du sens de pose des poutrelles pour limiter leur portée.

Choix possibles du système de fondations

- **Solution longrines**

Elles sont implantées en périphérie et en refend longitudinal (fig. 43). Il s'ensuit un moindre coût pour le terrassement.

- **Solution mixte : semelles et plots** (fig. 45)

Les semelles filantes sont en périphérie et un soubassement en blocs de béton sera réalisé. Cette ceinture limite le vide sanitaire et le système par plots et longrines se réalise à l'intérieur.

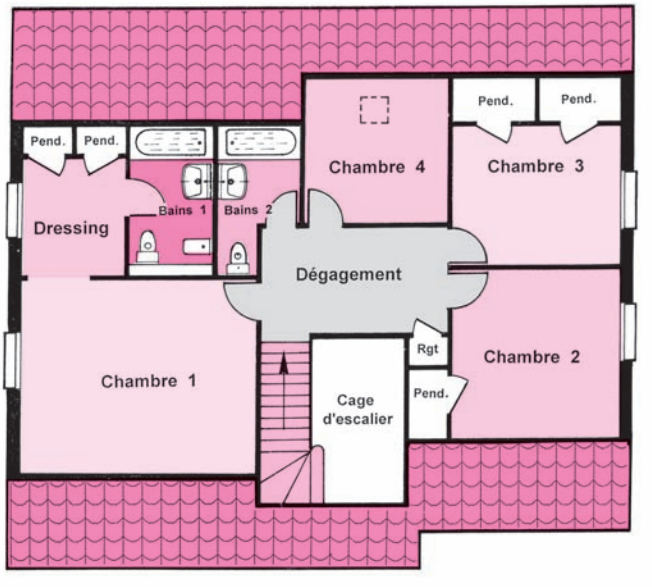
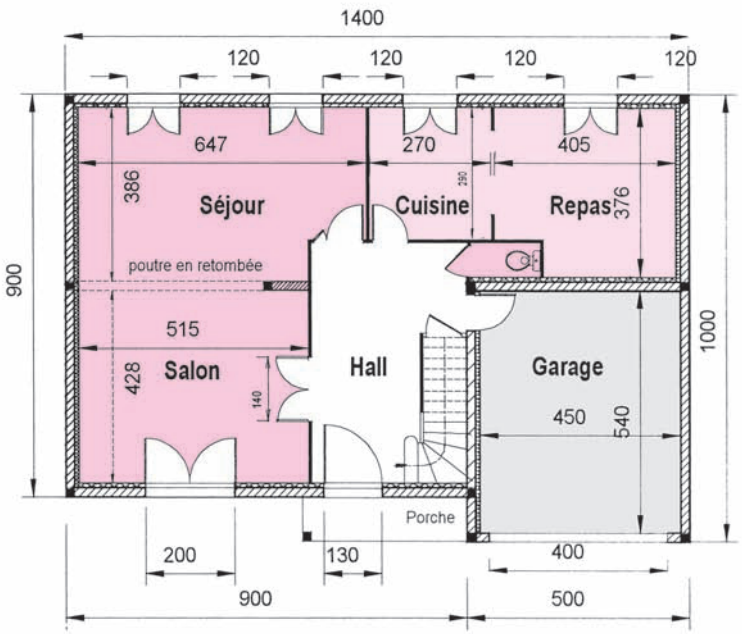
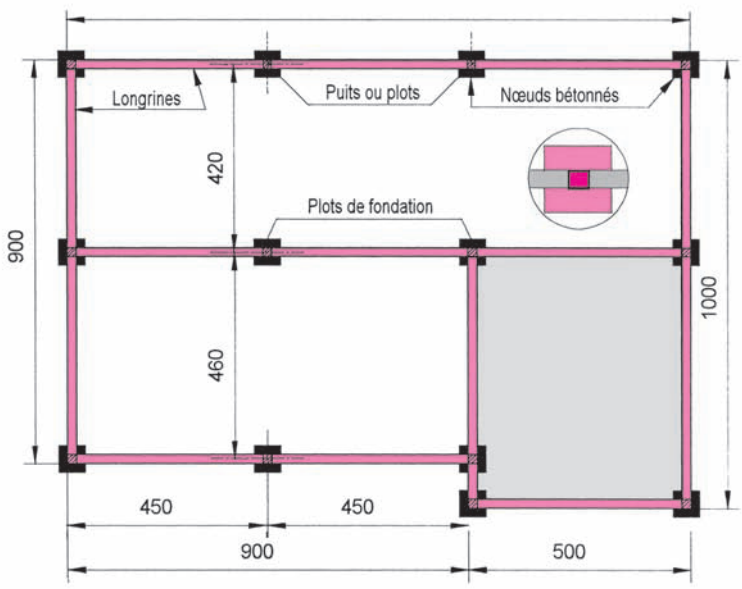


Fig. 41 : Plan sommaire de l'étage





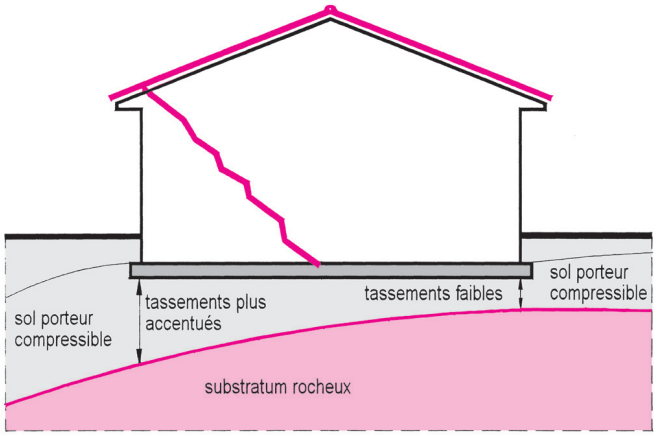


Fig. 39 : Sol porteur compressible hétérogène en épaisseur

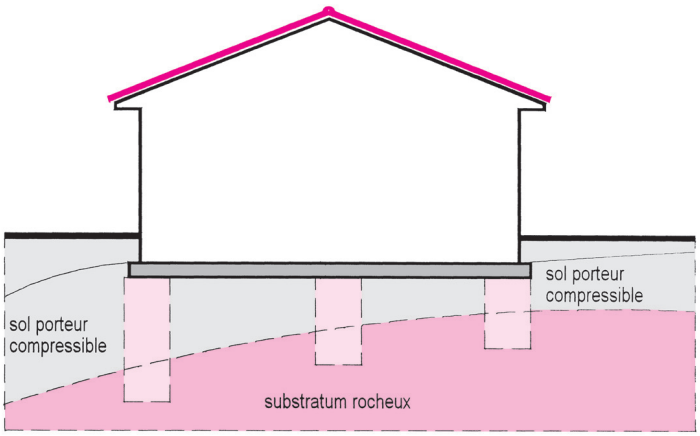
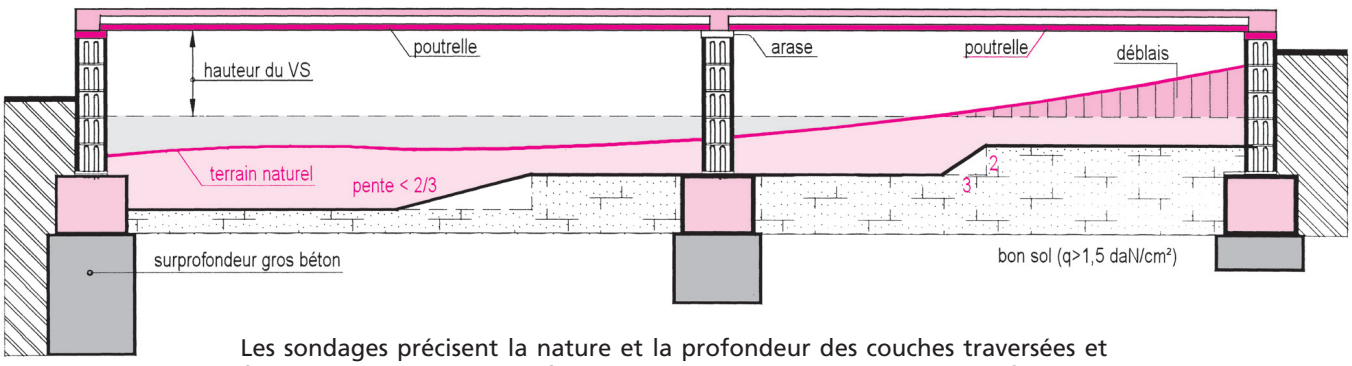


Fig. 40 : Solution par puits et longrines



Les sondages précisent la nature et la profondeur des couches traversées et facilitent la conception des fondations et la détermination du niveau fini et du volume des déblais et remblais.

Fig. 41 : Fondation et soubassement pour vide sanitaire sur terrain en pente

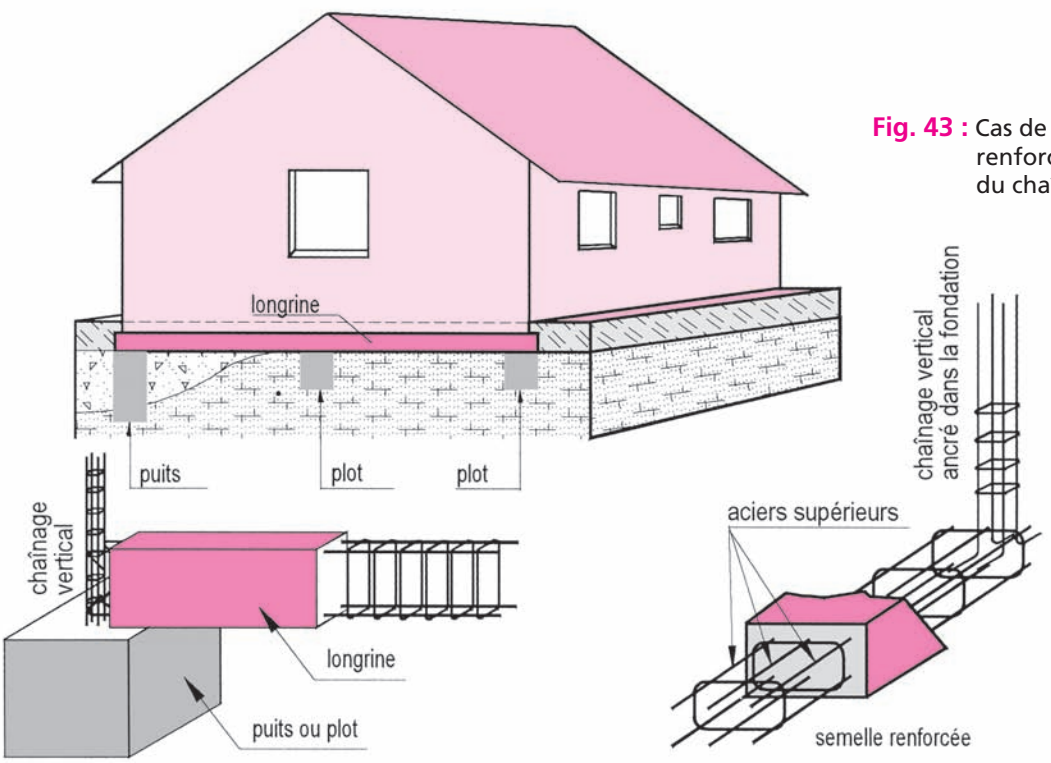


Fig. 42 : Fondation sur puits ou plot, longrine et chaînage vertical

Fig. 43 : Cas de semelle renforcée et ancrage du chaînage vertical

14. Murs de façade ou de refend et risques de tassement

Risque de tassement du sol aux angles de la maison

- **Les angles de bâtiment** exercent souvent une pression plus forte sur le sol de fondation par le poids propre de la structure.
- **Le sol au voisinage des angles** est exposé aux variations de la teneur en eau et à une diminution de volume en période de sécheresse, ce qui n'est pas le cas de la partie centrale du bâtiment.
- **Le risque de tassement différentiel aux angles** d'une maison est accentué, et les déformations par étirement se produisent dans les maçonneries (microfissures).

Préconisations

– Raidir la fondation par une armature filante renforcée avec aciers en partie supérieure.
– Augmenter la profondeur aux angles (profondeur hors sécheresse) et obtenir un point d'appui renforcé aux extrémités des semelles.

Risque de tassement du sol sous charges inégales

Le cas se produit sous des charges très inégales, par exemple :
– partie de bâtiment avec étage et autre partie en simple rez-de-chaussée (fig. 47) ;
– présence d'un appentis implanté contre le bâtiment principal (fig. 47 à droite) ;
– charge concentrée d'un poteau en béton armé ou d'un jambage.

Préconisations

– Prévision d'un joint de tassement désolidarisant les massifs constitués jusqu'au sol de fondation (fig. 49).
– Renforcement du système de fondation (fig. 48).
– Nécessité de chaînages d'angle ancrés dans la fondation et dans les chaînages horizontaux pour réduire les tractions éventuelles dans les murs en maçonnerie de blocs (fig. 50).

La tendance des constructeurs de maisons est d'augmenter la hauteur des semelles filantes (30 à 50 cm et plus sont fréquents) pour avoir une embase très rigide et compenser les effets des charges non uniformes et les sols non homogènes sur la longueur de la semelle continue.

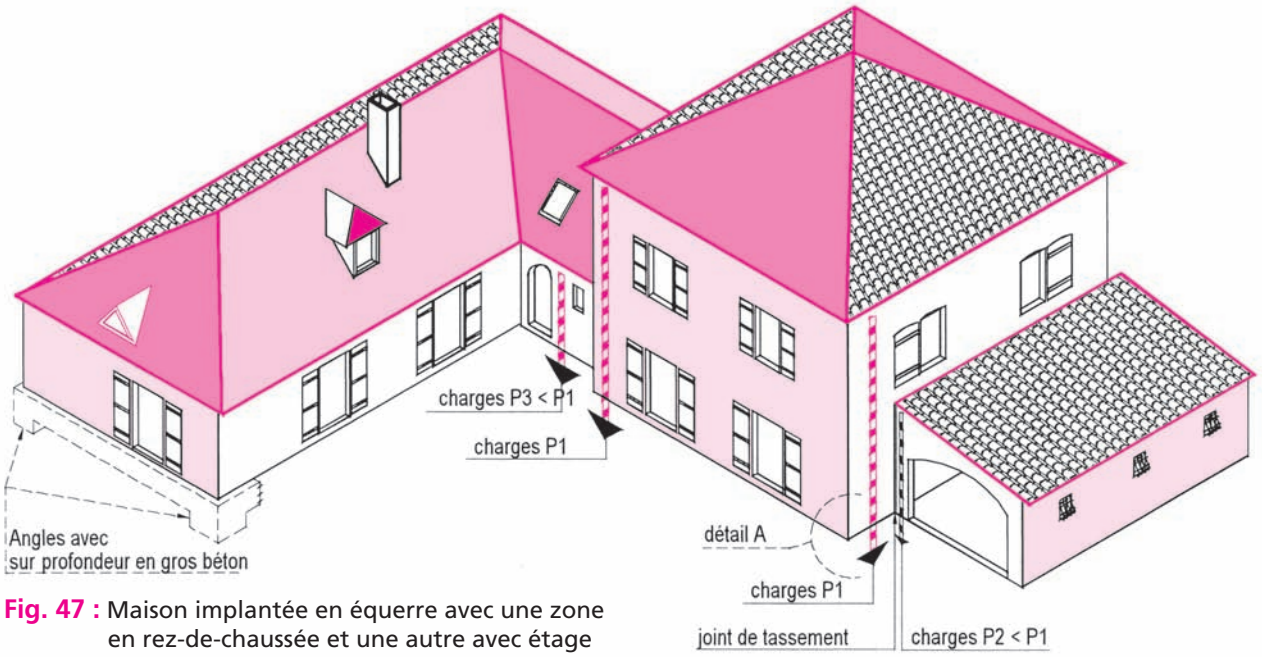


Fig. 47 : Maison implantée en équerre avec une zone en rez-de-chaussée et une autre avec étage avec un appentis accolé

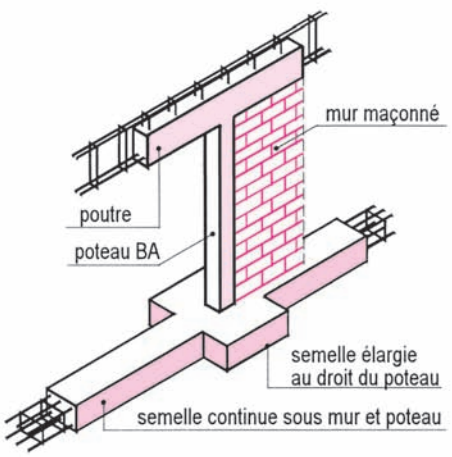


Fig. 48 : Semelle continue élargie au droit du poteau

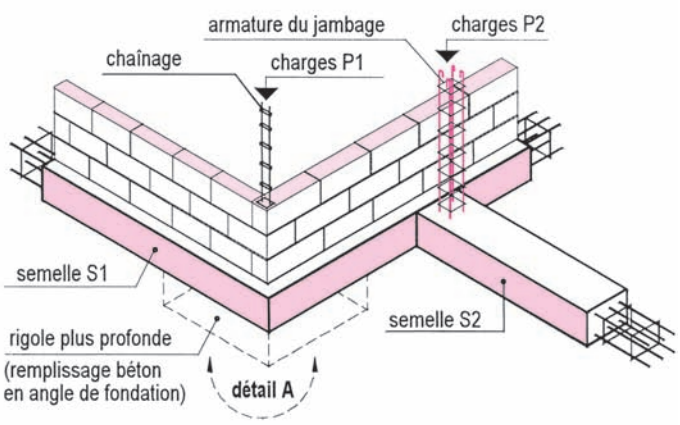


Fig. 50 : Semelles S1 et S2 dissociées pour le joint de tassement

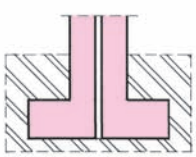


Fig. 49 :
Joint de tassement

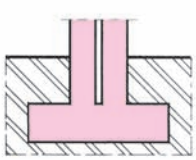


Fig. 51 : Joint de retrait ou de dilatation

Index

A

Acier tendu : 58

Aciers : 36

Aciers crossés : 149

Aciers filants : 96

Action permanente : 15

Action variable : 15

Actions : 12, 14

Actions ascendantes : 90

Actions réciproques : 98

Additions : 24, 31

Adhérence : 47, 49

Adjuvants : 31

Affaissement : 26, 30

Agressivité : 28

Ancrage : 48, 55, 82, 205

Ancrage poteau : 167

Angle de frottement interne : 194

Appui de ferme : 21

Arase : 148, 180, 184

Arbres : 198

Arceaux : 87

Argiles gonflantes : 203

Armatures : 100

Armatures de poutres : 71

Armatures droites : 61

Armatures préfabriquées : 168

Assainissement soubassement : 132

Attentes : 38, 39, 55, 103

Attentes crossées : 52, 53

Autonivelants : 32

Autoplaçant : 32

B

BAN : 32

BAP : 32

Barre répartition : 33

Barres : 36

Barrette de mesure : 119

BCP : 26

Becquet : 143

Bétonnage correct : 48

Bétonnage noeud : 149

Bétons de structure : 26

Bielles : 95

Bielles extrêmes : 98

Bois moulé : 156

Bon de livraison : 31

Boucle cuivre nu : 119

BPE : 29, 31

BPS : 26, 31, 92, 115, 148, 165

Bulbe : 91

Bulbe des pressions : 206

Bulbes : 113, 196

Butte : 200

C

Cadres : 38, 50, 52, 62

Camion-toupie : 33

Capillarité : 27

Carbonatation : 27

Carte hors-gel : 202

Cas de charge : 64

CE : 25

Ceintures : 86