

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN - MOHAMED
BOUDIAF (USTO-MB)
FACULTE D'ARCHITECTURE ET DE GENIE CIVIL
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



Polycopié

Cours

Techniques et Règles de Construction

Elaboré par :

M^r MEKSI Abdeljalil

Docteur en génie civil-option matériaux et structures

Maître de conférences classe B

Sommaire

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

I	PROCESSUS DE REALISATION D'UN PROJET	
I-1	Définitions	02
I-2	Contexte de conduite d'un projet	02
I-2-1	Phase 1 – élaboration	03
I-2-1-1	Choix Du Bureau D'étude	03
I-2-1-2	Faisabilité du projet architectural et autorisation	03
I-2-1-3	Etudes d'esquisse ou études de diagnostic dans le cas de travaux sur un bâtiment existant	04
I-2-2	Phase 2 – planification	04
I-2-2-1	Etudes d'avant projet	04
I-2-2-1-1	Avant-projet sommaire – APS	04
I-2-2-1-2	Avant-projet définitif ou détaillé – APD	04
I-2-2-2	Dossier de demande de Permis de Construire	04
I-2-3	Phase 3 – exécution	04
I-2-3-1	Etudes de projet	04
I-2-3-1-1	Dossier de consultation des entreprises	05
I-2-3-1-2	Plans d'exécution	05
I-2-3-1-3	Sélection des entreprises de la construction et assistance aux contrats de travaux	05
I-2-3-2-1	La gestion du chantier	05
I-2-3-2-2	Ordonnancement, coordination et pilotage du chantier	06
I-2-4	Phase 4 – clôture du projet	
	Assistance aux opérations de réception et livraison du bâtiment au maître d'ouvrage	06
II	CRITERES POUR LE CHOIX DU SITE	06
II-1	La topographie	06
II-2	La nature géotechnique	06
II-3	Les risques naturels	06
II-4	Notion d'insertion urbaine	07
II-5	Protéger et mettre en valeur l'environnement	07
III	INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUE	07
III-1	Notions générales sur la géotechnique	07
III-1-1	Le sol matériau de construction	07
III-1-2	Le sol support de fondations	07
III-2	Stabilité et tassement	07
III-3	Choix du type de fondations	08
III-4	Reconnaissance des sols	08
III-4-1	Essais in situ	08
III-4-2	Essais en laboratoire	08
IV	DISPOSITIONS PREPARATOIRES POUR L'EXECUTION DES TRAVAUX	
V	IMPLANTATION DES OUVRAGES	12
V-1	Plan général d'implantation des ouvrages	13

V-2	Piquetage général	13
V-3	Contenu d'un plan d'implantation	14
V-4	Comment réaliser l'implantation ?	14

CHAPITRE II : TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

I TERRASSEMENTS

I-1	Définition	16
I-2	Décapage des terres	16
I-3	La fouille en pleine masse	17
I-4	La fouille en rigole ou en tranchée	18
I-5	La fouille en puits	18
I-6	La fouille en galerie	19
I-7	La fouille en talutée	19
I-8	La fouille verticale	20

II BLINDAGE DES PAROIS DE FOUILLES

II-1	EXCAVATION PAR BLINDAGE EN COURS DE TERRASSEMENT	21
II-1-1	Blindage par panneaux ou caissons	21
II-1-2	Paroi cloutée	22
II-1-3	Paroi berlinoise	22
II-2-	EXCAVATION PAR BLINDAGE AVANT TERRASSEMENT	23
II-2-1	Rideau de palplanches	23
II-2-2	Rideau de pieux	24
II-2-3	Paroi moulée	25

III LES TERRASSEMENT DANS LES TERRAINS ROCHEUX

III-1	Extraction sans explosifs	27
III-2	Extraction a l'aide d'explosifs	28

IV GESTION ET VALORISATION DES DECHETS ISSUS DU BTPH

V LES ENGINS DE TERRASSEMENT

V-1-	La pelle mécanique ou hydraulique	30
V-1-1	En rétrocaveuse	30
V-1-2	En butée	31
V-1-3	En dragueline	31
V-1-4	En benne preneuse	32
V-2-	La pelleteuse-chargeuse	32
V-3-	Le Bulldozer	33
V-4-	LES RIPPERS OU LES SCARIFICATEURS	33
V-5-	Les scrapers	33
V-6-	Les niveleuses	34
V-7-	Les tractopelles (ou chargeuses pelleteuses)	34

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE REALISATION DES OUVRAGES EN BETON ARME

I FONDATIONS ET LEURS TECHNIQUES D'EXECUTIONS

I-1	Rôles Des Fondations	35
-----	----------------------	----

I-1-1	Définition	35
I-1-2	Rôle principal	35
I-1-3	Rôle secondaire	35
I-2	Fonctionnement Des Fondations	36
I-3	Types De Fondations	37
I-4	Les Fondations Superficielles	37
I-4-1	Les semelles isolées	38
I-4-1-1	Définitions - Terminologie	38
I-4-1-2	Dimensions des semelles isolées	39
I-4-1-3	Profondeur hors gel des semelles de fondation.	39
I-4-1-4	Formes de semelles isolées	40
I-4-1-5	Ferraillage des semelles isolées	40
I-4-1-6	Mode d'exécution des semelles isolées	42
I-4-2	Semelles Filantes	44
I-4-2-1	Paramètres à prendre en compte	45
I-4-2-2	Réactions d'appuis de la semelle	45
I-4-2-2-a	Uniformité du sol	45
I-4-2-2-b	Variabilité du sol	45
I-4-2-3	Dispositions des aciers	47
I-4-3	Les Radiers	47
I-4-3-1	Définition	47
I-4-3-2	Avantages de la semelle unique (radier)	48
I-4-3-3	Principe De Construction Des Radiers	48
I-5	Fondations Profondes	49
I-5-1	Introduction	49
I-5-2	Classification suivant le mode d'exécution	49
I-5-2-1	Pieux refoulant le sol à la mise en place	49
I-5-2-1-a	Pieux en bois	50
I-5-2-1-b	Pieux battus préfabriqués	50
I-5-2-1-c	Pieux métalliques battus	50
I-5-2-1-d	Pieux en béton fonnés	50
I-5-2-1-e	Pieux métalliques fonnés	50
I-5-2-1-f	Pieux battus pilonnés	50
I-5-2-1-g	Pieux battus moulés	51
I-5-2-1-h	Pieux battus enrobés	51
I-5-2-1-i	Pieux vissés moulés	51
I-5-2-2	Pieux ne refoulant pas le sol à la mise en place	52
I-5-2-2-a	Pieux forés simples (barrette exécutée dans les mêmes conditions)	52
I-5-2-2-b	Pieux forés avec boue	52
I-5-2-2-c	Pieux forés tubés	53
I-5-2-2-d	Pieux tarières creuses	53
I-5-3	Classification suivant le mode de fonctionnement	53
II	LES COFFRAGES DANS LE BATIMENT	55
II-1	Définition	55
II-2	Rôle et fonction d'un coffrage	55
II-2-1	Rôle	55
II-2-2	Fonction	55
II-3	Analyse fonctionnelle du coffrage au travers de sa conception	55

II-3-1	La peau de coffrage	55
II-3-2	L'ossature du coffrage	55
II-3-3	Etalement de coffrage	56
II-3-4	Serrage	56
II-4	Les grandes familles de coffrages	56
II-5	Le matériel de coffrage des murs	57
II-5-1	Les banches colisables	57
II-5-2	Les banches manuable	58
II-5-3	Les banches travaux publics	58
II-6	Le matériel de coffrage des poteaux	58
II-6-1	Les coffrages-outils métalliques	58
II-6-2	Les coffrages traditionnels	60
II-6-3	Les coffrages perdus en carton	61
II-7	Ferraillage des poteaux	62
II-8	Le matériel de coffrage des poutres	63
II-8-1	Les coffrages-outils métalliques	63
II-8-2	Les coffrages mixtes	64
II-8-3	Les coffrages traditionnels	64
II-9	Disposition des aciers dans les poutres	65
II-10	Plancher (corps creux)	66
II-11	Autres types de coffrage	66

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

I	CHOIX DE LA SOLUTION METALLIQUE	
II	AVANTAGES DE LA CONSTRUCTION METALLIQUE	68
II-1	Préfabrication	68
II-2	Légèreté	68
II-3	Architecture	69
II-4	Grande variété de solutions	69
II-5	Facilites de transformations	69
II-6	Faibles encombrements	69
III	INCONVENIENTS DE LA CONSTRUCTION METALLIQUE	70
III-1	Préfabrication	70
III-2	Légèreté	70
III-3	Grande variété de solutions	70
III-4	Transformabilité	71
III-5	Isolations	71
IV	PRODUITS SIDERURGIQUES	72
IV-1	Poutrelles classiques	72
IV-1-1	Profilés IPN	72
IV-1-2	Profilés IP	73
IV-1-3	Profilés HE (poutrelles européennes à larges ailes)	73
IV-1-4	Les Profilés en U	73
IV-2	Les laminés marchands	74
IV-2-1	Les cornières	74
IV-2-1	Autres produits	74

IV-2-1-1	Demi-poutrelles	74
IV-2-1-2	Profilés spéciaux	74
IV-2-1-3	Les ronds	75
IV-3	Les tubes	75
V	CONSTRUCTION MIXTE	75
VI-	éléments mixtes	76
VI-1	Poutres mixtes	76
VI-2	Connexion	76
VI-3	Poteaux mixtes	77
VI-4	Profilés en acier partiellement enrobés	77
VI-5	Planchers mixtes	78
VI	ASSEMBLAGE	85
VI-1	Définition et rôle d'un assemblage	85
VI-2	Modes d'assemblages	85
VI-2-1	Le rivetage	85
VI-2-2	Le boulonnage	86
VI-2-3	Le soudage	86
VI-3	Différentes formes d'assemblage rencontrés en C.M	87
VI-4	Exemple d'assemblage	89
VI-4-1	Encastrement	89
VI-4-2	Articulation	91
VI-4-3	Appui simple	92

CHAPITRE V : INTRODUCTION AUX DIFFERENTS REGLEMENTS

I-	GENERALITES	93
II-	NOTIONS SUR LES REGLEMENTS DE CONCEPTIONS ET D'EXECUTION DES CONSTRUCTIONS EN ALGERIE	93
II-1	Notions sur les règlements de conceptions des bâtiments en Algérie	93
II-1-1	Charges permanentes et charges d'exploitation (DTR-BC 2.2)	93
II-1-2	Règles parasismiques algériennes " R.P.A 99 / version 2003" (DTR-BC 2.48)	93
II-1-3	Les règles de conception et de calcul des structures en béton armé C.B.A 93 (DTR-BC 2.41)	94
II-1-4	Règle de conception et de calcul des structures en acier "CCM 97": (DTR-BC 2.44)	94
II-1-5	Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton : règles générales et règles pour les bâtiments (DTR-BC 2-4.10)	94
II-1-6	Les règles de conception et de calcul des parois et murs en béton banche (DTR-BC 2.42)	94
II-1-7	Règles de calcul des fondations superficielles (DTR-BC 2.331)	94
II-1-8	Dénomination provisoire des sols et des roches	95
II-1-9	Recommandations techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages	95
II-2	Notions sur les règles d'exécution des travaux de constructions d'ouvrages en béton armé en Algérie	95

II-2-1	Les règles d'exécution des travaux de construction de parois et murs en béton banche	95
II-2-2	Règles générales pour la fabrication, le transport et la mise en œuvre des murs extérieurs en panneau préfabriqués	95
II-2-3	Règles particulières d'exécution de dalles et volées d'escalier en béton armé posées sur appuis horizontaux	95
II-2-4	Règles d'exécution des chapes et dalles à base de liants hydrauliques	95
II-2-5	Règles d'exécution des travaux de terrassement pour le bâtiment	95
II-2-6	Recommandation pour l'exécution des structures en acier	96
II-2-7	Guide de construction pour la willaya d'Illizi	96
III-	REGLES BAEL	96
IV-	LES EUROCODES	96
IV-1	Présentation	96
IV-2	Liste eurocodes	97
IV-2-1	L'eurocode 0 (ec0) traite les bases de calcul des structures.	97
IV-2-2	L'eurocode 1 (ec1) traite les actions.	97
IV-2-3	L'eurocode 2 (ec2)	97
IV-2-4	L'eurocode 3 (ec3) traite les structures en acier.	97
IV-2-5	L'eurocode 4 (ec4) traite les structures mixtes acier-béton	98
IV-2-6	L'eurocode 5 (ec5) traite les structures en bois	98
IV-2-7	L'eurocode 6 (ec6) traite les ouvrages en maçonnerie	98
IV-2-8	L'eurocode 7 (ec7) traite les calculs géotechniques	98
IV-2-9	L'eurocode 8 (ec8) traite les structures pour leur résistance au séisme	98
IV-2-10	L'eurocode 9 (ec9) traite les structures en alliage d'aluminium.	98

CHAPITRE VI : LES REGLES PARASISMIQUES RPA 99 VERSION 2003

I	GÉNÉRALITÉS	99
II	CONDITIONS D'APPLICATION	99
III	CRITÈRES DE CLASSIFICATION	99
III-1	Classification des zones sismiques	99
III-2	Classification des ouvrages selon leur importance	99
III-2-1	Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale	99
III-2-2	Groupe 1B : Ouvrages de grande importance	101
III-2-3	Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne	101
III-2-4	Groupe 3 : Ouvrages de faible importance	101
III-3	Classification Des Sites	101
III-3-1	Catégorie S ₁	101
III-3-2	Catégorie S ₂	101
III-3-3	Catégorie S ₃	101
III-3-4	Catégorie S ₄	101
III-4	Classification des systèmes de contreventement	101
III-5	Classification des ouvrages selon leur configuration	103
III-5-1	Régularité en plan	103
III-5-2	Régularité en élévation	103

CHAPITRE VII : JUSTIFICATION DES STRUCTURES EN BETON ARME

I	ACTIONS ET COMBINAISONS D’ACTIONS	105
I-1	Introduction	105
I-2	Les principes du calcul aux états limites	105
I-2-1	Principes de vérification	105
I-2-2	Procédures de vérification aux états limites ultimes	105
I-2-3	Les états limites de service	106
I-3	Les actions	106
I-3-1	Actions sur les structures	106
I-3-2	Valeurs caractéristiques des actions	106
I-3-2-1	Actions permanentes	106
I-3-2-2	Valeurs représentatives des actions variables Q_k	106
I-4	Les combinaisons d’actions ELU et ELS	107
I-5	Coefficients partiels de sécurité et les valeurs de calcul des actions	107
I-6	Propriétés des matériaux (valeurs caractéristiques)	108
I-7	Vérification par la méthode des coefficients partiels	108
I-7-1	Combinaisons d’actions ELU	108
I-7-1-1	Situations de projets durables	108
I-7-1-2	Situations de projets accidentelles	108
I-7-1-3	Les combinaisons sismiques	109
I-7-2	Combinaisons d’actions ELS	109
I-7-3	Tableau récapitulatif des combinaisons d’actions pour un bâtiment courant	109
I-8	Conclusion	110
II-	JUSTIFICATIONS VIS-A VIS DE LA STABILITE DES FONDATIONS	
II-1	Justifications vis-à-vis de la stabilité des fondations superficielles	111
II-1-1	Justifications	111
II-1-2	Etats limites de mobilisation du sol	111
II-1-2-1	Etats limites ultimes de mobilisation de la capacité portante	111
II-1-2-2	Etats limites de service	111
II-1-2-3	Tassement	111
II-1-3	Etat limite ultime de renversement	111
II-1-4	Etat limite ultime de glissement	111
II-2	Justifications vis-à-vis de la stabilité des fondations profondes	112
II-2-1	Justifications	112
II-2-2	Etats limites de mobilisation du sol	112
II-2-2-1	Etats limites de mobilisation locale du sol	112
II-2-2-2	Etats limites ultimes	112
III-	DEFINITIONS ET JUSTIFICATIONS DES JOINTS	112
III-1	Les fonctions des joints	112
III-2	Les différents types de joints	113
III-2-1	Joints de dilatation	113
III-2-2	Joints de retrait	113
III-2-3	Joints de rupture	113
III-2-4	Joints de construction	114
III-2-5	Justification de la largeur des joints sismiques	114
	CONCLUSION ET REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	115

Liste des Figures

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

Figure 01	Phases D'un Projet.	02
Figure 02	Illustration d'un tassement différentiel.	06
Figure 03	Exemple d'un plan d'implantation.	12
Figure 04	Contenu d'un plan d'implantation.	13
Figure 05	Procédé de réalisation d'une équerre sur chantier.	14
Figure 06	Exemple de mise en place de chaises d'implantation.	14

CHAPITRE II : TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

Figure 01	Schéma remblais et déblais en coupe.	16
Figure 02	Schéma remblais et déblais en plan.	17
Figure 03	Fouille en pleine masse.	17
Figure 04	Fouille en tranchée.	18
Figure 05	Fouille en puits.	18
Figure 06	Fouille en galerie.	19
Figure 07	Quelques exemples de pentes de talus.	19
Figure 08	Talutage en déblais.	20
Figure 09	Schéma de principe des fouilles.	20
Figure 10	Excavation en fouille blindée.	21
Figure 11	Caisson métallique.	22
Figure 12	Illustrations de parois cloutées.	22
Figure 13	Schéma de principe de la paroi berlinoise traditionnelle.	23
Figure 14	Illustration de la serrure et d'un rideau de palplanches.	24
Figure 15	Illustration de pose de pieux sécants.	25
Figure 16	Illustration des travaux de réalisation d'une paroi moulée.	26
Figure 17	Illustration des terrassements en terrain rocheux.	28
Figure 18	Dislocation par explosif.	28
Figure 19	Opérations de tri et de remise en valeur des matériaux issus du BTPH.	30
Figure 20	Pelle hydraulique en rétrocaveuse.	31
Figure 21	Pelle mécanique en butée.	31
Figure 22	Pelle mécanique en dragueline.	32
Figure 23	Pelle hydraulique en benne preneuse.	32
Figure 24	Pelleteuse sur Pneumatique.	32
Figure 25	Pelleteuse sur chenille.	33
Figure 26	Bulldozer.	33
Figure 27	Rippers.	33
Figure 28	Scrapers.	34
Figure 29	Niveleuse.	34
Figure 30	Tractopelle.	34

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE REALISATION DES OUVRAGES EN BETON ARME

Figure 01	Efforts exercés sur une semelle isolée.	36
Figure 02	Caractéristiques géométriques des différents types de fondations.	37
Figure 03	Semelle isolée, et semelle filante sous mur.	37
Figure 04	Semelle filante sous poteaux.	38
Figure 05	Radier général.	38
Figure 06	Coupe verticale sur semelle superficielle.	38
Figure 07	caractéristiques géométriques d'une semelle isolées.	39
Figure 08	Profondeur hors gel.	39
Figure 09	Différentes configurations géométriques des semelles isolées.	40
Figure 10	Actions sur les semelles isolées.	40
Figure 11	Disposition des aciers dans une semelle isolée.	41
Figure 12	Disposition des aciers dans une semelle isolée circulaire.	41
Figure 13	Disposition pratique pour les semelles isolées excentrées.	42
Figure 14	Implantation et mise en place des chaises de construction.	43
Figure 15	Fouille en puits talutée.	43
Figure 16	Béton de propreté (gauche) et film en polyane (droite).	44
Figure 17	Pose du ferrailage.	44
Figure 18	Bétonnage avec coffrage et bétonnage en pleine fouille.	44
Figure 19	Semelle à base rigide.	45
Figure 20	Semelle à base souple.	45
Figure 21	Base rigide avec sol variable.	46
Figure 22	Base souple avec sol variable entre les colonnes.	46
Figure 23	Base souple avec sol variable sous la colonne.	46
Figure 24	Schéma de principe du fonctionnement d'une semelle filante et disposition des aciers.	47
Figure 25	Coffrage et ferrailage d'une semelle filante.	47
Figure 26	Radiers souple et rigide.	47
Figure 27	Ferrailage et bétonnage de Radiers.	48
Figure 28	Caractéristique géométrique d'un pieu.	49
Figure 29	Différentes barrettes.	49
Figure 30	Différentes géométries de pieux métalliques.	50
Figure 31	Mise en place de pieu tubé par vibrofonçage.	51
Figure 32	Mise en place de pieu vissé moulé.	52
Figure 33	Méthode de réalisation des pieux forés sous boue, vue d'un trépan et d'une tarière à Godets.	52
Figure 34	Pieux formés par forage à la tarière continue.	53
Figure 35	Classification suivant le mode de fonctionnement.	54
Figure 36	Banches colisables et manuable.	58
Figure 37	Banches travaux publics.	58
Figure 38	Coffrages pour poteau circulaire et carré.	59
Figure 39	coffrage en demi-coquille et en aile de moulin d'un poteau carré.	60
Figure 40	Coffrage en bois pour un poteau de moyenne section.	60
Figure 41	Coffrage en bois pour un poteau de grande section.	61

Figure 42	Coffrage perdu en carton pour poteaux circulaires.	62
Figure 43	position des armatures longitudinales et importance des cadres.	62
Figure 44	Exemple de dispositions des aciers transversaux dans les poteaux (coupes transversales).	63
Figure 45	Coffrage métallique pour poutres.	63
Figure 46	Coffrage mixte pour poutres.	64
Figure 47	Coffrage en bois pour poutres.	64
Figure 48	Diagrammes des moments et efforts tranchants et dispositions des aciers.	65
Figure 49	Coffrage traditionnel pour plancher à corps creux.	66
Figure 50	Eléments métalliques pour coffrage tunnel.	66
Figure 51	Eléments de coffrage en bois (coffrage tunnel).	67

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

Figure 01	Exemple de profilés en double Té.	73
Figure 02	Exemples de profilés U.	74
Figure 03	Exemples de cornières.	74
Figure 04	Exemples de profilés tubulaires.	75
Figure 05	exemple de constructions mixtes.	79
Figure 06	exemple de plancher préfabriqué.	79
Figure 07	exemple d'une poutre mixte partiellement enrobée.	80
Figure 08	éléments mixtes (poteaux, poutres, planchers).	80
Figure 09	différentes sections de poutres mixtes coulées in situ.	81
Figure 10	exemple de mise en place de goujons sur des poutres en atelier.	81
Figure 11	différentes configurations des poteaux mixtes.	82
Figure 12	poutres mixtes partiellement enrobées de béton (figures de bas) et poutres mixtes avec protection conventionnelle faite de panneaux (figure de haut).	82
Figure 13	dalle mixte à base de tôle profil en acier.	83
Figure 14	liaison mécanique (tôle-béton) assurée par des déformations du profil (bossages ou embossages).	83
Figure 15	liaison par frottement pour des profils à nervures rentrantes.	83
Figure 16	liaison par la fixation d'ancrages réalisés au moyen de goujons soudés ou de connecteurs cloués au pistolet (illustration de gauche). Ancrages d'extrémités par déformation des nervures aux extrémités de la tôle (illustration de droite).	84
Figure 17	Rivets.	85
Figure 18	Types de boulons.	86
Figure 19	Soudure de la base d'un poteau.	87
Figure 20	Différents types d'assemblage dans un bâtiment.	87
Figure 21	Attache dans une base de poteau.	88
Figure 22	Assemblages poutre-poutre.	88
Figure 23	Assemblage poteau-poutre (soudage et boulonnage) .	88
Figure 24	Assemblage poteau-poutre.	89

Figure 25	Assemblage poteau-poteau.	89
Figure 26	Encastrement poteau-poutre.	90
Figure 27	Encastrement poteau-Arbalétrier.	90
Figure 28	Poteau encastré.	90
Figure 29	Articulation poteau-poutre par cornière.	91
Figure 30	Articulation poutre-solive de plancher.	91
Figure 31	Poteau Articulé.	92
Figure 32	Poutre appuyée.	92

CHAPITRE VI : LES REGLES PARASISMIQUES RPA 99 VERSION 2003

Figure 01	Carte de zonage sismique du territoire national.	100
Figure 02	Limite des décrochements en plan.	103
Figure 03	Limite des décrochements en élévation.	104

CHAPITRE VII : JUSTIFICATION DES STRUCTURES EN BETON ARME

Figure 01	Joint de dilatation.	113
Figure 02	Joint de retrait.	113
Figure 03	Joint de rupture.	114
Figure 04	Joint de construction.	114
Figure 05	Joint sismique entre deux blocs.	114

Liste des tableaux

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

Tableau 01	Deux exemples d'essais géotechniques in situ+caisse avec carottes.	09
Tableau 02	Quelques exemples d'essais géotechniques en laboratoire.	10
Tableau 03	Les différents emplacements à envisager dans un chantier, leurs localisations et leurs fonctions.	12

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE REALISATION DES OUVRAGES EN BETON ARME

Tableau 01	Avantages Et Inconvénients Des Différents Coffrages.	57
------------	--	----

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

Tableau 01	Produits fournis par l'industrie sidérurgique.	72
Tableau 02	Caractéristiques mécaniques des aciers pour boulons.	86

CHAPITRE V : INTRODUCTION AUX DIFFERENTS REGLEMENTS

Tableau 01	Signification des termes utilisés dans les eurocodes.	98
------------	---	----

CHAPITRE VI : LES REGLES PARASISMIQUES RPA 99 VERSION 2003

Tableau 01	Valeurs du coefficient de comportement R.	102
------------	---	-----

CHAPITRE VII : JUSTIFICATION DES STRUCTURES EN BETON ARME

Tableau 01	Valeurs recommandées des coefficients Ψ pour les bâtiments pour les différentes catégories et les différents types de charges.	107
Tableau 02	Valeurs de calcul des actions.	109
Tableau 03	Les combinaisons d'actions à envisager pour un bâtiment dans le cas où les vérifications ELU ne concernent que la résistance des éléments structuraux en situation de projet durable ou transitoire et les vérifications ELS ne concernent les vérifications de la structure sous combinaisons caractéristiques.	110
Tableau 04	les valeurs de Q_{\min} et Q_{\max} en fonction des combinaisons d'actions considérées.	112

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La maîtrise du domaine du génie civil passe par la connaissance des règles et normes en matière de calcul conjuguée à cela une connaissance des techniques dans la phase de construction à même de permettre la réalisation de structure stable, économique, durable et de garantir la sécurité des différents opérateurs intervenants dans l'acte de bâtir.

Ce polycopié destiné aux étudiants de troisième année licence en génie civil, est composé de deux parties. La première partie a pour objectif de présenter aux étudiants les aspects techniques et technologiques de l'opération de construction. La deuxième partie l'initiation des étudiants aux notions de bases des différents règlements appliqués dans la conception des constructions civiles et industrielles avec une application des règles de justification des structures en béton armé. Ce support de cours se décompose en 7 chapitres.

Dans le premier chapitre, on présente la procédure du déroulement du projet à travers ces phases administratives et financières en définissant le rôle de chaque intervenant dans les projets de construction jusqu'à la livraison et la mise en exploitation. Les critères du choix de site, les dispositions préparatoires, l'intérêt et les différents essais géotechniques sont aussi abordés. Les techniques d'implantation, de piquetage, de terrassement et de blindage des excavations sont visitées à travers le chapitre 2. Dans le troisième chapitre les différents systèmes de fondations, leur mode d'exécution ainsi que les procédés de coffrage et de ferrailage des structures de bâtiment sont présentés. L'étude des structures métalliques et mixtes et leurs procédés d'assemblage fait l'objet du quatrième chapitre. Le chapitre 5 présente un recueil des différents règlements et normes pour la conception, le calcul et l'exécution des structures. Une présentation de la réglementation parasismique Algérienne est faite au chapitre 6. Enfin les deux derniers chapitres traitent des actions, combinaisons d'actions, des justifications des structures et des spécifications de calcul des éléments de structures.

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

I-PROCESSUS DE REALISATION D'UN PROJET

I-1 Définitions

- **Projet:** Ensemble complexe de tâches et d'activités interdépendantes visant à produire un service ou un produit déterminé à l'avance, tout en respectant les contraintes de budget, d'échéance et de qualité. Dans notre domaine, chaque projet est unique (site, client, programme, etc.). Sa durée de vie est limitée par l'usure liée à l'intensité d'utilisation, le changement de vocation, etc. Le projet vit également un cycle de vie dynamique (implantation, croissance, maturité et vieillissement).
- **Maître d'ouvrage:** Il s'agit de la personne (publique ou privée, morale ou physique) qui décide de réaliser une opération. Elle doit arrêter le programme, trouver le financement, identifier les étapes et définir les échéances dans le calendrier, choisir les professionnels chargés de la réalisation et signer l'ensemble des marchés (contrats d'études et de travaux).
- **Maître d'œuvre:** C'est la personne ou l'entité que le maître d'ouvrage a choisi pour procéder à l'établissement du projet et pour en contrôler l'exécution. Dans ce cadre, elle doit notamment établir les pièces écrites et dessinées, préparer le dossier de consultation des entreprises et assurer le contrôle d'exécution des marchés de travaux.
- **Gestion d'un projet:** C'est l'ensemble des connaissances, des compétences, des outils et des méthodes de travail mises au service d'un projet. Cela sous-entend des décisions prises et des interventions effectuées dans le but d'assurer le succès d'un projet dans toutes les phases de son développement tout en respectant le budget et les échéances projetés.
- **Appel d'offre :** Un appel d'offre est une procédure qui permet à un commanditaire (le maître d'ouvrage), de faire le choix de l'entreprise (le soumissionnaire qui sera le fournisseur) la plus à même de réaliser une prestation de travaux, fournitures ou services. Le but est de mettre plusieurs entreprises en concurrence pour fournir un produit ou un service.
- **Code des marchés publics :** le code des marchés publics est le code juridique regroupant les règles et procédures que les pouvoirs adjudicateurs et les entités adjudicatrices doivent respecter pour leurs achats en matière de travaux, de fourniture et de service.

I-2 Contexte de conduite d'un projet

La conduite d'un projet consiste essentiellement à en évaluer les besoins et à en cerner les obstacles de manière à proposer des solutions qui respecteront les limites de temps et les contraintes budgétaires sans compromettre la qualité.

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

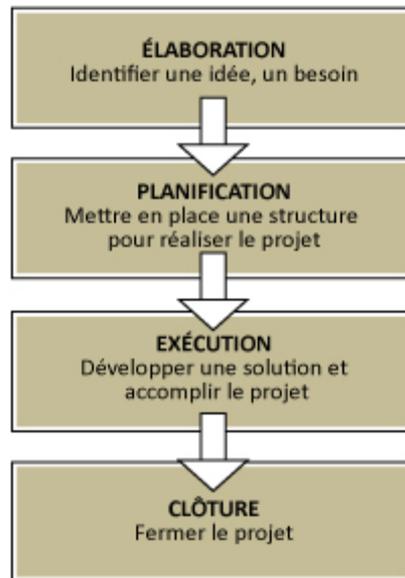


Figure 01 : Phases D'un Projet

I-2-1 Phase 1 – Elaboration

- Identification du projet et énoncé des besoins (besoin, clarification de la demande, analyse des parties prenantes, validation du besoin);
- études (Étude d'*opportunité* : viabilité du projet, identification des besoins, formulation de la commande; Étude de *faisabilité* : économique, organisationnelle et technique, amortissement du projet, impact social et économique);
- élaboration de la fiche technique de projet, envoi à la tutelle pour avis (approbation).

I-2-1-1 Choix du bureau d'étude

Pour conduire le projet à travers ces différentes phases, le maître de l'ouvrage aura besoin d'un bureau d'étude pour piloter le projet et lui apporter aide et assistance sur le plan technique.

Une consultation ou un avis d'appels d'offres est lancé pour le choix d'un bureau d'étude selon des critères techniques et financiers spécifiques à la nature et à l'envergure de l'infrastructure à réaliser en respectant les dispositions du code des marchés publics qui est un outil destiné à régler la commande publique.

Si le maître de l'ouvrage est une entité privée il n'est pas régi par le code des marchés publics et peut par conséquent solliciter le bureau d'étude de son choix.

I-2-1-2 Faisabilité du projet architectural et autorisation

Au premier contact, le maître d'ouvrage rencontre le bureau d'étude (architecte dans le cas de bâtiments) et lui exprime ses attentes qui l'aident à préciser ses besoins et son programme pour réaliser son projet sur le plan conceptuel (architectural) dans les meilleures conditions.

Le bureau d'étude informe le maître d'ouvrage sur les conditions relatives au terrain, à la construction et aux fonctions du bâtiment, à l'éventuelle expertise additionnelle à contracter ainsi que sur les démarches administratives requises. Il s'enquiert du budget du maître d'ouvrage et apporte éventuellement son assistance pour le montage financier. L'architecte décrit l'ensemble des services qu'il se propose de fournir, les garanties qu'il apporte, en

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

accord avec le client. Si celui-ci n'en dispose pas déjà, le bureau d'étude peut également assister le maître d'ouvrage dans la quête d'un terrain approprié.

I-2-1-3 Etudes d'esquisse ou études de diagnostic dans le cas de travaux sur un bâtiment existant

Le bureau d'étude présente les résultats de sa première étude de faisabilité du bâtiment souhaité et réalise une première esquisse en fonctions des différents paramètres liés au terrain, aux options de la construction envisagée par le maître d'ouvrage et de ses contraintes financières. Cette esquisse initiale permet une première visualisation du projet inséré dans le site et une étude des variantes. En cas de réhabilitation ou de rénovation de bâtiment existant, Le bureau d'étude fournit également sont étude de diagnostic technique et architectural pour réaliser la modification souhaitée et les travaux requis.

Le bureau d'étude précise aussi une première estimation du coût des différentes options qui répondent aux attentes du maître d'ouvrage, il peut éventuellement proposer plusieurs options qui mettent l'accent sur telle ou telle condition évoquée par le maître d'ouvrage : minimisation des coûts de construction, minimisation des coûts d'utilisation et d'entretien, maximisation de la longévité de la construction, insertion optimale dans l'environnement naturel ou urbain, qualité architecturale, etc...

I-2-2 Phase 2 – Planification

I-2-2-1 Etudes d'avant projet

Si le maître d'ouvrage est satisfait des premières études d'esquisse ou de diagnostic, il peut décider de poursuivre les travaux dans les études d'avant projet.

I-2-2-1-1 Avant-projet sommaire – APS

A ce point de la relation, Le bureau d'étude fournit une description précise des différentes options retenues pour le projet de bâtiments et une estimation du coût et de la durée des travaux. Une certaine tolérance peut être ménagée en fonction de la taille du projet et de l'état d'avancement actuel des travaux d'études et de construction.

I-2-2-1-2 Avant-projet définitif ou détaillé – APD

Les dernières mises au point effectuées en fonction des options retenues par le maître d'ouvrage, le choix des matériaux est arrêté, les différentes prestations techniques et l'ensemble des travaux sont précisés avec leur intégration au sein du projet de construction.

I-2-2-2 Dossier de demande de permis de construire

Au-delà des documents techniques, plans et définitions des matériaux, réseaux et voiries, le bureau d'étude prépare l'ensemble des documents administratifs et juridiques, nécessaire à la constitution d'un dossier complet de demande de Permis de Construire (PC) qu'il soumet à l'autorité compétente.

Il suit l'instruction du dossier, apporte les éventuelles pièces supplémentaires requises et aide à intégrer les expertises tierces nécessaires en accord avec le maître d'ouvrage jusqu'à obtention du permis de construire.

I-2-3 Phase 3 – Exécution

I-2-3-1 Etudes de projet

Le bureau d'étude (l'architecte) prépare alors les plans détaillés de tous les niveaux du ou des bâtiments, élévations, façades et éventuellement perspectives additionnelles qui assurent une bonne compréhension de l'ensemble du projet jusqu'en dans ses moindres

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

détails. Selon les besoins spécifiques de chaque projets, le bureau d'étude technique sélectionné met à la disposition du maître d'ouvrage une équipe pluridisciplinaire en vue d'une intégration réussie de leur expertise dans l'ensemble du projet.

I-2-3-1-1 Dossier de consultation des entreprises

Suite à la mise au point définitive de la conception, l'architecte constitue le dossier de consultation des entreprises qui détaille l'ensemble des caractéristiques techniques et administratives de chaque lot du projet et estime les budgets respectifs, afin que les entreprises intervenantes proposent des devis solides. Celui-ci permet également de préciser le cadre de l'intervention des entreprises et de leurs relations avec le maître d'ouvrage et le bureau d'étude.

I-2-3-1-2 Plans d'exécution

Dans le prolongement du DCE (Dossier de consultation des entreprises), les études d'exécution ont pour objet la réalisation technique du projet : les plans d'exécution aux échelles appropriées, les notes de calcul et les spécifications d'usage pour le chantier permettent l'exécution des travaux par les différents entrepreneurs pour la construction de l'ensemble du bâtiment.

Au-delà des plans architecturaux, le maître d'ouvrage peut éventuellement charger le bureau d'étude, assisté de techniciens des spécialités requises, de réaliser les plans d'exécution et devis quantitatifs détaillés de certains lots (qui demandent des compétences spécialisées), dans une mission complémentaire des études d'exécution.

I-2-3-1-3 Sélection des entreprises de la construction et assistance aux contrats de travaux

Le bureau d'étude consulte les entreprises capables d'intervenir et analyse les offres des entrepreneurs selon des procédures bien définies. Des négociations peuvent être conduites au nom du maître d'ouvrage et des modifications peuvent être apportées pour rentrer dans les budgets alloués. Le bureau d'étude assiste le maître d'ouvrage pour la sélection des différents prestataires de la construction en fonctions des critères retenus avec le maître d'ouvrage. Il peut suggérer les services de telle ou telle entreprise en fonction des expériences passées et garanties de sérieux dont il a déjà eu la preuve. Suite à la sélection des entreprises, le bureau d'étude prépare les marchés dévolus à chacune des entreprises ; celles-ci s'engagent contractuellement avec le maître d'ouvrage sur des coûts et des délais qu'elles devront respecter.

I-2-3-2 Le chantier

Le bureau d'étude prépare la mise en œuvre du chantier et organise la participation des différentes spécialités pour s'assurer du respect des règles de l'art (règles et normes en vigueur), des engagements de chacun et de la juste réalisation des plans.

I-2-3-2-1 La gestion du chantier

Le maître d'œuvre intervient sur le terrain auprès des différentes entreprises pour assurer l'exécution conforme des différentes phases de la construction du bâtiment:

- Terrassement du terrain et travaux de voirie et réseaux divers (VRD)
- Gros-œuvre : stabilité et solidité du bâtiment (fondations, structure)
- Second-œuvre : étanchéité, esthétique et confort

Le maître d'œuvre anime les réunions de chantiers dont il prépare et diffuse les comptes-rendus à l'ensemble des parties concernées. Il supervise également le paiement des intervenants et l'accomplissement des prestations correspondantes dans les temps prévus.

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

I-2-3-2-2 Ordonnancement, coordination et pilotage du chantier

L'analyse des tâches élémentaires qui composent les études d'exécution et les travaux, leur enchaînement et les points critiques de cette suite d'interventions, constituent la mission d'ordonnancement et de planification, qui est complémentaire de la maîtrise d'œuvre. Celle-ci a pour but de planifier avec soin l'imbrication optimale des différentes interventions des entreprises pour une construction la plus rapide et la moins onéreuse possible.

I-2-4 Phase 4 – Clôture du projet

Assistance aux opérations de réception et livraison du bâtiment au maître d'ouvrage

Le bureau d'étude contrôle l'ensemble des travaux effectués et de la réalisation des prestations jusque dans leurs ultimes détails. Il se charge aussi du décompte général des factures des différents prestataires et solde les comptes de chantier.

Le bureau d'étude clôture alors le dossier des ouvrages réalisés et confirme ainsi la conformité de l'ouvrage afin de correspondre aux termes des contrats de garanties. Des pénalités peuvent être appliquées aux entreprises qui dépasseraient la durée prévue pour leur intervention.

Une fois l'ensemble des travaux validés par le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage, ceux-ci s'accordent de la réception provisoire du bâtiment, et la passation complète de la responsabilité du ou des bâtiments au maître d'ouvrage.

La réception définitive sera prononcée douze mois après la mise en service ou la mise en exploitation de l'édifice.

II- CRITERES POUR LE CHOIX DU SITE

Le choix du site d'implantation d'une infrastructure est motivé par plusieurs paramètres, on pourra citer :

II-1 La topographie

Un terrain présentant des dénivellations importantes engendrera des coûts élevés en matière d'aménagement (murs de soutènement, talutage,..) et de dispositif de protection contre les eaux pluviales, ainsi le choix d'un terrain plat serait l'idéale.

II-2 La nature géotechnique

Le choix d'un site présentant des caractéristiques géotechniques de terrains avec des portances plus ou moins acceptables est la variante la plus intéressante car elle conduit à l'adoption de modes de fondations les moins onéreux possible. Les sites caractérisés par des formations géotechniques plutôt médiocres sur le plan mécanique (capacité portante) engendrent l'adaptation de fondations spéciales coûteuse financièrement, difficile à réaliser et nécessitant un délai d'exécution important.

Sachant que la quasi majorité des désordres observés dans les différentes infrastructures sont d'ordre géotechnique, ceci exige de nous une attention particulière sur la nature et les études de sol.

II-3 Les risques naturels

Il serait plus judicieux d'éviter les sites présentant des risques naturels tels que :

Les zones inondables,

Les zones présentant des instabilités de pentes (risque de glissement de terrain).

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

II-4 Notion d'insertion urbaine

Les bâtiments publics jouent un rôle particulier dans la ville. Ils ont souvent une importance symbolique et inscrivent dans le paysage urbain une vision de l'organisation de la société (lieux de décision, de débat, de formation, de régulation, ...) et de la hiérarchie des valeurs (justice, solidarité, instruction, culture, ...). Ils doivent donc naturellement se distinguer, par leur image et par leur visibilité, des immeubles de logement ou des bâtiments commerciaux qui abritent quant à eux des intérêts plus individuels.

C'est entre autres possible grâce à une architecture expressive et manifeste, mais avant cela par une mise en scène appuyée par des perspectives et des espaces publics. Le site d'implantation est donc à choisir en conséquence.

II-5 Protéger et mettre en valeur l'environnement

Le progrès technique a entre autres permis le développement d'une société prospère, répondant aux besoins matériels d'une population croissante, il a cependant été démontré que ce développement n'a pas été neutre et que les écosystèmes en ont beaucoup pâti.

L'urbanisation étendue, a réduit l'espace disponible pour la faune et la flore et a segmenté les territoires, dressant des obstacles à la propagation des gènes. De nouvelles formes urbaines, soit plus denses, soit plus protectrices, sont capables de réduire la pression exercée sur la nature.

III- INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUE

III-1 Notions générales sur la géotechnique

III-1-1 Le sol matériau de construction

Sert à réaliser des barrages, des digues en terre, route, autoroutes, remblais,...

III-1-2 Le sol support de fondations

Les fondations reprennent les charges et surcharges ou plus généralement les sollicitations transmises par la structure (superstructure), puis les transmettent au sol à même d'assurer la stabilité de l'ouvrage.

III-2 Stabilité et tassement

Les conditions de stabilité doivent conduire à respecter le principe fondamental de l'égalité des actions transmises par la structure avec les réactions transmises par le sol. Le terrain d'assise ne doit pas tasser. Quoiqu'en réalité les tassements existent et sont tolérés jusqu'à certains seuils, sauf sur les sols rocheux.

- Tassement instantané : sans évolution dans le temps
- Tassement différé : évolue dans le temps.

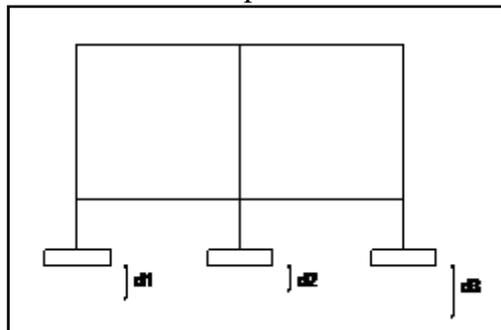


Figure 02 : illustration d'un tassement différentiel

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

Désordres après tassement différentiel (d_1 différente de d_2 et de d_3) : fissures au niveau des cloisons, rotules plastiques au niveau des nœuds,...

Les tassements différentiels apparaissent dans les cas suivants :

- Mode de fondations différent (profondes et superficielles)
- Assise non homogène
- Remblais récent mal consolidé

III-3 Choix du type de fondations

- Compte tenu des charges de la superstructure
- Propriétés des sols en place
- Niveau de la nappe phréatique
- Les ouvrages avoisinants

III-4 Reconnaissance des sols

III-4-1 Essais in situ (sondage carottés, pénétromètres, préssiomètre, études géophysiques)

Les essais géotechniques in situ ont pour but la reconnaissance des sols destinés à recevoir des projets de construction. Ils permettent d'obtenir des informations sur l'état du sol en place, de préciser l'organisation des différentes couches et de relever les paramètres mécaniques à leur attribuer afin de passer au calcul des ouvrages.

III-4-2 Essais en laboratoire (identification des différentes couches, détermination des caractéristiques physiques et mécaniques des sols en place, calcul des tassements, calcul de la portance,..)

Afin de connaître les caractéristiques physiques et mécaniques du sol ainsi que son comportement en place en état de contrainte, des essais simulant ces conditions doivent être réalisés. Le rôle des essais de laboratoire est, tout d'abord d'identifier le matériau du point de vue physico-chimique puis de déterminer ses caractéristiques mécaniques et son comportement lorsqu'il sera dans les conditions mécaniques réelles imposées par l'ouvrage.

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

	Types d'essais	But
	Sondage carotté	Sert à prélever des échantillons de sols pour analyse au laboratoire.
	Essai pénétrométrique	Donne une idée sur la portance des sols sans prélèvement de carottes.
	Carottes prélevées et mises dans des caissons.	Pour le transport au laboratoire et leurs protections.

Tableau 1 : Deux exemples d'essais géotechniques in situ+caisse avec carottes.

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

	Types d'essais	But
	Essai triaxial	Déterminer les paramètres de cisaillement
	Analyse granulométrique par tamisage	Identification des sols
	Essai de cisaillement rectiligne.	Détermination de la cohésion et de l'angle de frottement.

Tableau 2 : Quelques exemples d'essais géotechniques en laboratoire

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

IV-DISPOSITIONS PREPARATOIRES ET INSTALLATION DE CHANTIER POUR L'EXECUTION DES TRAVAUX

- **Installation de barrières** (délimitation et protection du chantier)

- **Installation de chantier**
 - Signalisation du chantier (pose des panneaux d'indication),
 - Pose de baraquements et de bureaux,
 - Approvisionnement en matériaux,
 - Déterminer les accès au chantier.

- **Identifications des réseaux existants**

- **Matérialisation des accès et voiries pour la mobilité des engins**
 - Délimitation des zones d'excavations pour déterminer les servitudes nécessaires a même de permettre un fonctionnement efficient des travaux et garantir une mobilité fluide des intervenants (ouvriers, conducteur de travaux)
 - Identification des aires de stockage des matériaux, de préfabrication, de façonnage des aciers, mise en dépôt des déblais,...

- **Débroussaillage**
 - Enlèvement des buissons, d'arbustes, la coupe d'arbres et le désherbage,
 - L'arrachage des souches et des racines,
 - Evacuation des produits en dehors du terrain.

- **Décapage de la couche végétale**
 - Il s'agit de décaper la couche de terre végétale variant de 20cm à 50cm suivant la nature du sol, cette opération consiste à :
 - Enlever la couche végétale de très faible portance,
 - Evacuation des terres en dehors des limites de l'emprise des ouvrages,
 - La mise en dépôt des terres arables pour leur éventuelle réutilisation.

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

Rep	Désignation	Localisation	Fonctions
1	Engins de levage (grue à tour, grue à tour à montage rapide, grue automotrice...).	L'aire de balayage doit couvrir les bâtiments, le poste de bétonnage, les aires de préfabrication, armatures et Stockage. Eviter le survol des riverains.	Manutentionner les matériaux, les matériels, des divers postes aux lieux de mise en œuvre.
2	Poste de bétonnage (centrale à béton, malaxeur de mortier...).	Proche de l'accès principal, accessible aux camions de livraison (granulats, ciment, silos, trémies).	Fabriquer le mortier et le Béton.
3	Aire de préfabrication.	Près des bâtiments à construire.	Préfabriquer des ouvrages élémentaires (acrotères, poteaux, poutres, prédalles non précontraintes...) Fabrication de coffrages (bois).
4	Aire de ferrailage.	Proche des bâtiments à construire et de l'aire de préfabrication.	Découper et façonner les Armatures.
5	Aire de stockage.	Proche des accès Aire protégée (vols de matériaux) Sur le bâtiment.	Stocker les matériaux, éléments préfabriqués et matériels avant leur utilisation. Stocker la terre végétale.
6	Cantonnements (bureaux, réfectoire, sanitaires, hébergements, magasin, caravanes).	A proximité d'un accès du chantier si possible hors de l'aire de balayage de la grue. Les éléments peuvent être superposables ou se trouver dans le bâtiment réalisé.	Accueillir le personnel du chantier et les intervenants (réunion de chantier) dans des conditions d'hygiène et de sécurité. Favoriser les communications entre les intervenants. Stocker les matériaux et matériels sensibles.

Tableau 3 : Les différents emplacements à envisager dans un chantier, leurs localisations et leurs fonctions

V-IMPLANTATION DES OUVRAGES

L'implantation est l'opération qui consiste à reporter sur le terrain, suivant les indications d'un plan, la position de bâtiments, d'axes ou de points isolés dans un but de construction ou de repérage. La plupart des tracés d'implantation sont constitués de droites, de courbes et de points isolés.

Les instruments utilisés doivent permettre de positionner des alignements ou des points : théodolites, équerres optiques, rubans, niveaux, etc. l'instrument choisi dépend de la précision recherchée, elle-même fonction du type d'ouvrage à implanter : précision millimétrique pour

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

les fondations spéciales, centimétrique pour des ouvrages courants, décimétriques pour des terrassements, etc.

V-1 Plan général d'implantation des ouvrages

Le plan général d'implantation des ouvrages est un plan orienté qui précise la position des ouvrages, en planimétrie, par rapport à des repères fixes.

V-2 Piquetage général

Le piquetage général consiste à reporter sur le terrain la position des ouvrages définie par le plan général d'implantation, au moyen de piquets numérotés solidement fixés au sol, dont les têtes sont raccordées en plan et en altitude aux repères fixes mentionnés dans le plan d'implantation.

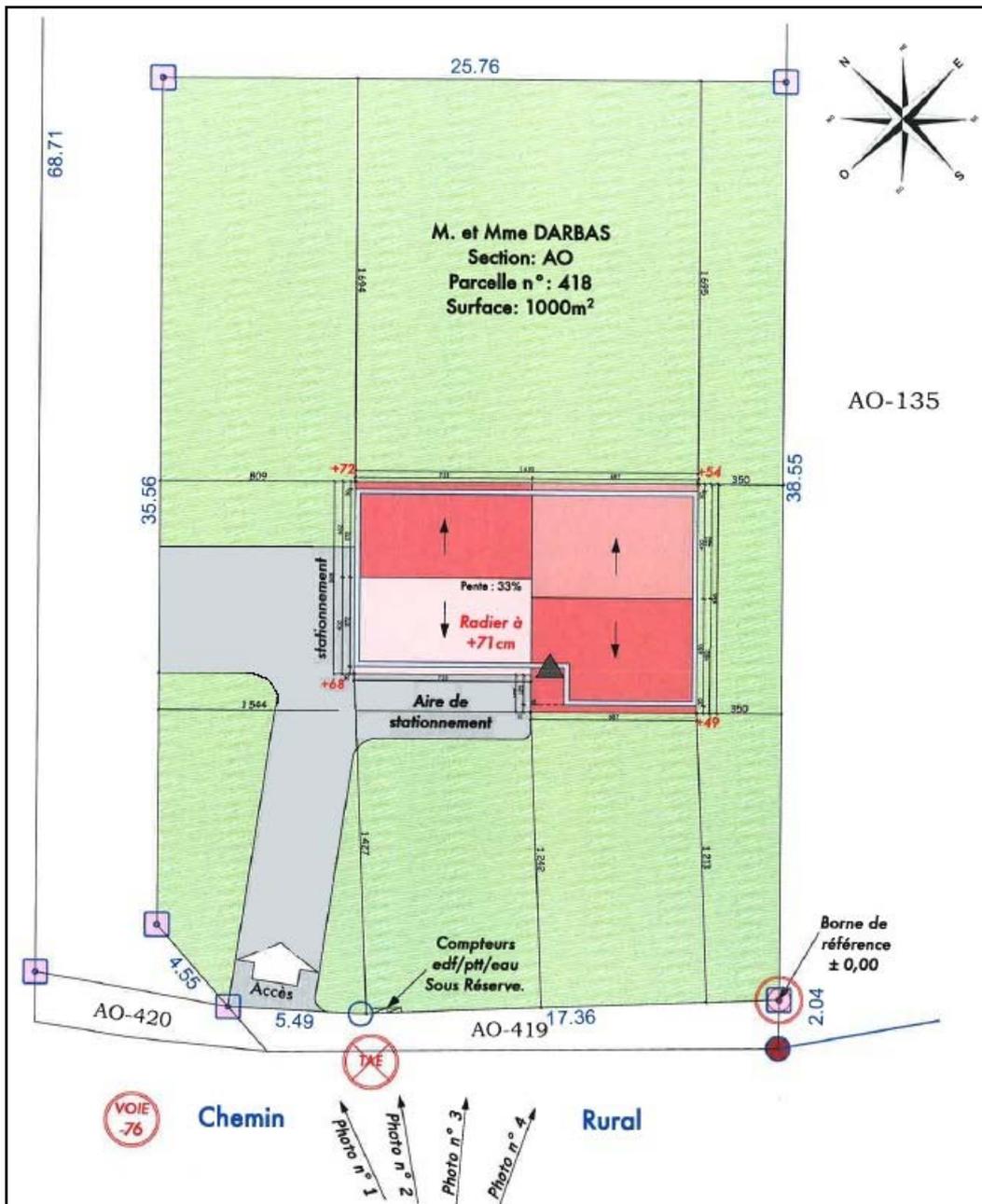


Figure 3 : Exemple d'un plan d'implantation

CHAPITRE I : TECHNIQUES D'ELABORATION D'UN PROJET

- Mauvais emplacement de l'ouvrage,
- Inversion des façades,
- Fausse équerre,
- Dimensions erronées.

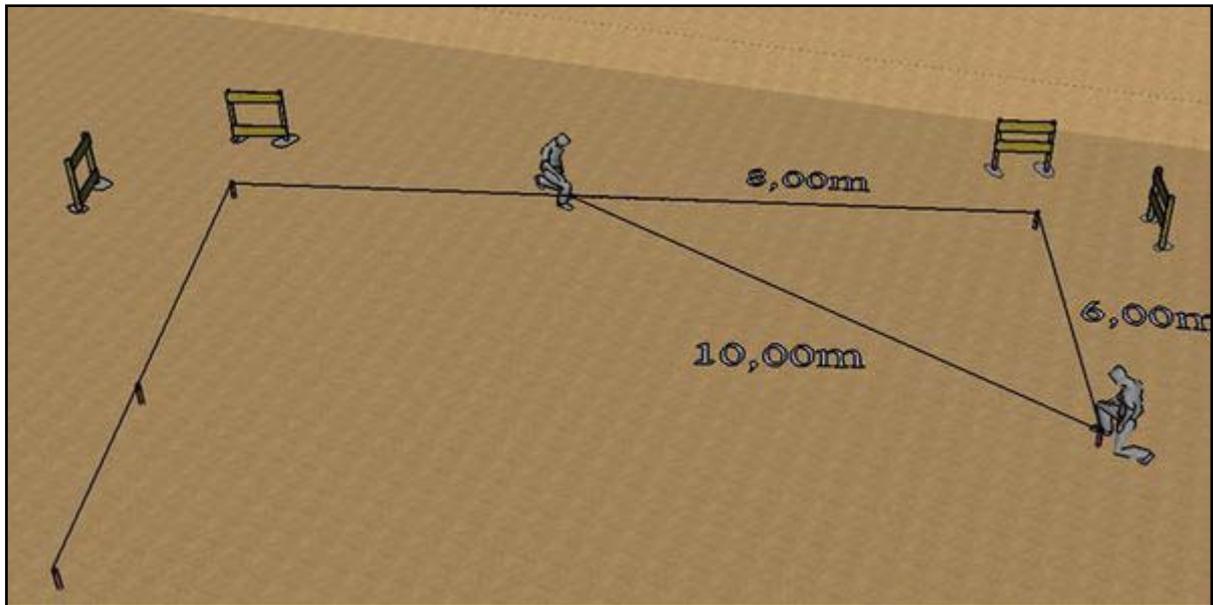


Figure 5 : Procédé de réalisation d'une équerre sur chantier

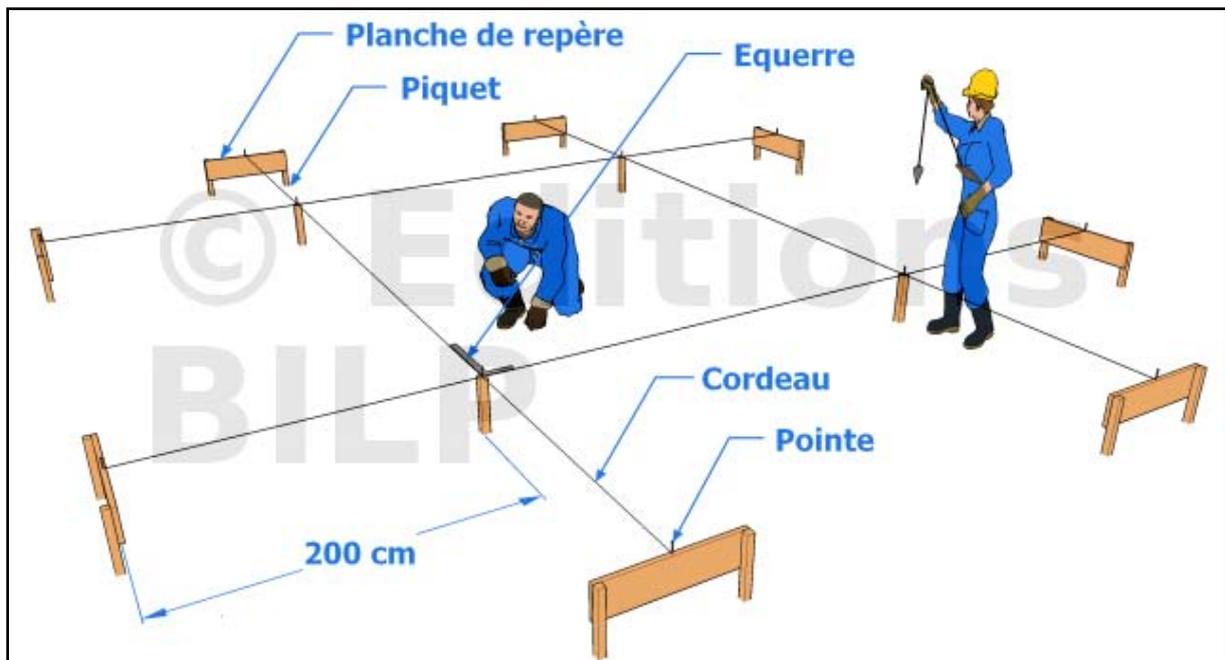


Figure 6 : Exemple de mise en place de chaises d'implantation

I-TERRASSEMENTS

I-1-Définition

Les terrassements sont des travaux qui se rapportent à la modification du relief du terrain. Ils sont réalisés par l'exécution de déblais et de remblais.

Les déblais consistent à abaisser le niveau du terrain par enlèvement des terres appelés aussi fouilles ou extraction.

Les remblais consistent à rapporter des terres afin de relever le niveau appelés aussi remblaiement.

On distingue plusieurs types de terrassements, on pourra citer notamment :

- Le décapage
- La fouille en grande masse ou en pleine masse
- La fouille en rigole ou en tranchée
- La fouille en puits
- La fouille en galerie

I-2-Décapage des terres

Il est appelé aussi terrassement en découverte, de faible profondeur ou terrassement superficiel. Il est destiné à enlever la terre végétale (10cm à 30cm) sur la surface de l'emprise du terrassement général et l'emplacement des voies d'accès, installation de chantier, baraques,...

La terre végétale sera mise en dépôt à la périphérie du chantier pour être réutilisée pour les aménagements extérieurs (espaces verts,...).

Il faut choisir un emplacement de stockage qui ne gêne aucune évolution des travaux ni être traversé par des futures canalisations. Il faut veiller également à ce que la terre végétale ne soit pas souillée par des gravats ou autre,....

Travaux compter au m^2 en générale mais si la profondeur n'est pas constante ils seront comptés au m^3 .

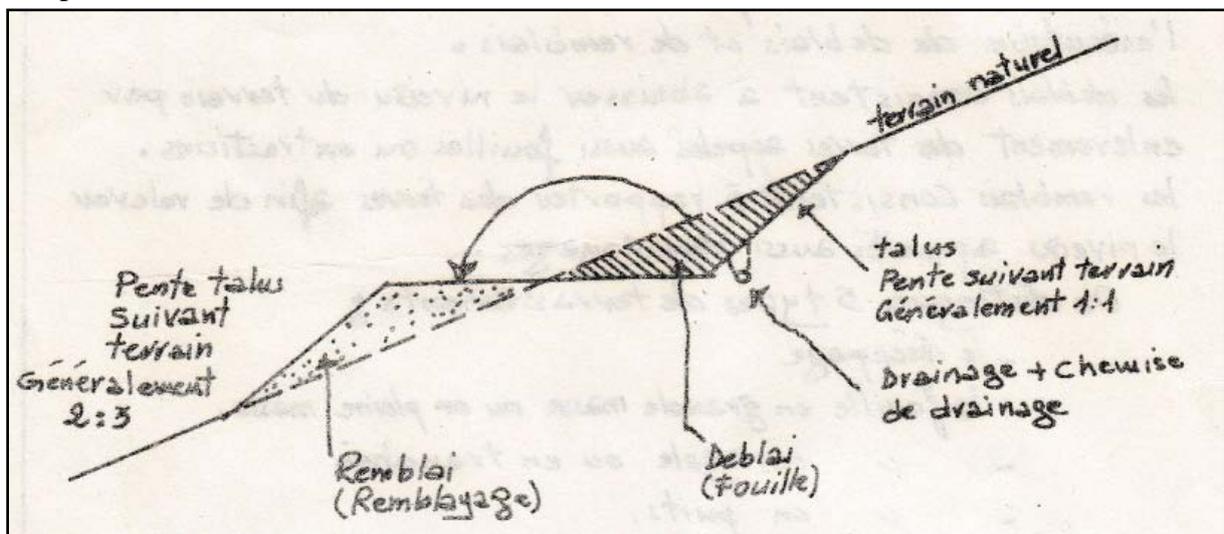


Figure 1: Schéma remblais et déblais en coupe transversale

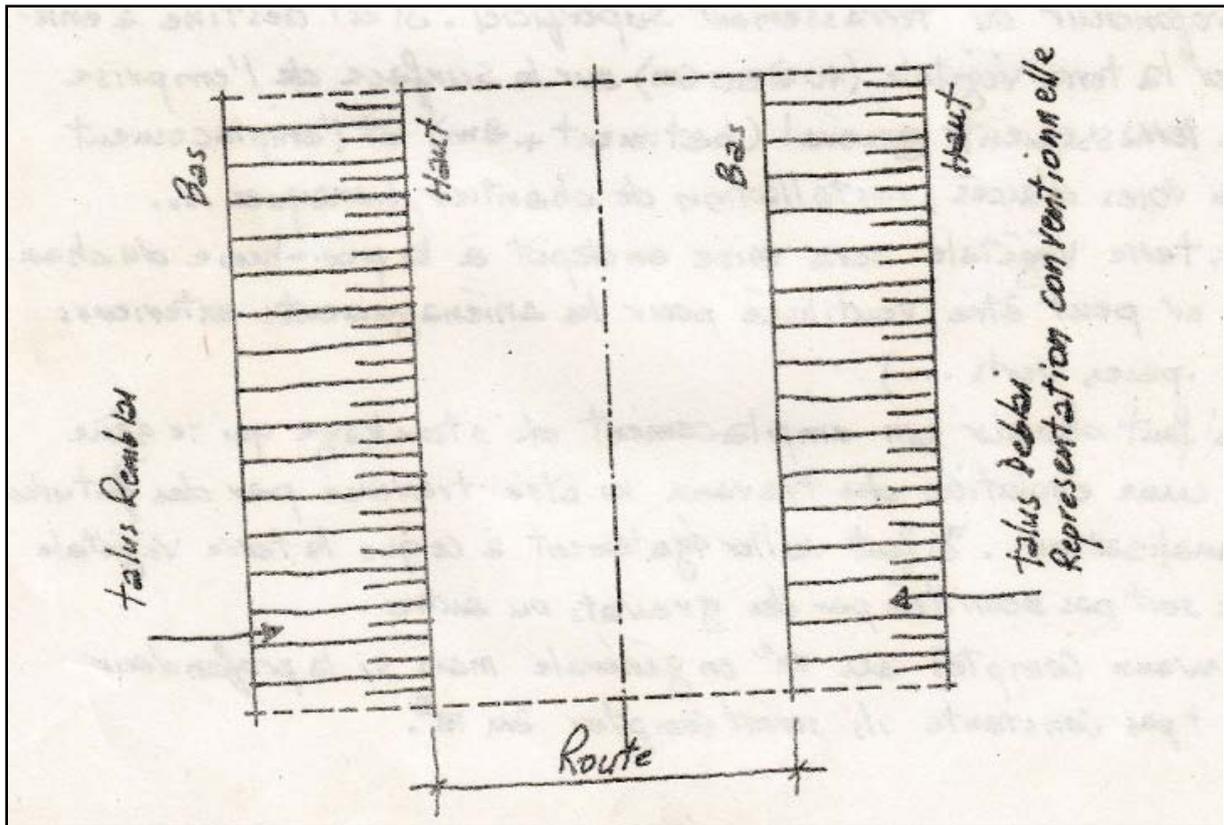


Figure 2 : Schéma remblais et déblais en plan (vue en plan de figure 1)

I-3-La fouille en pleine masse

C'est le terrassement principal d'une construction. La profondeur est fonction de l'importance de l'ouvrage.

Au niveau du fond de fouille, la distance entre mur et terre sera au minimum de 50cm, pour permettre l'exécution de l'étanchéité, le drainage,....

Les terres excédentaires doivent être immédiatement évacuées et on ne gardera sur le chantier que les terres nécessaires aux différents remblaiements. Les travaux sont comptés au m³.



Figure 3 : Fouille en pleine masse

CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

I-4-La fouille en rigole ou en tranchée

C'est une tranchée destinée à recevoir les fondations (semelles filantes), longrines et différentes canalisations. La largeur de cette fouille est fonction de la nature du terrain et de la profondeur.

On admet en général :

Une largeur de 0.40m pour une profondeur allant jusqu'à 0.60m,

Une largeur de 0.65m pour une profondeur allant jusqu'à 1.00m,

Une largeur de 0.75m pour une profondeur allant jusqu'à 1.30m,

Une largeur de 0.80m pour une profondeur allant jusqu'à 1.50m,

Une largeur de 1.00m pour une profondeur allant jusqu'à 2.00m,

Une largeur de 1.20m pour une profondeur allant jusqu'à 3.00m,

Une largeur de plus de 1.90m pour une profondeur supérieure à 4.00m,

Si la profondeur dépasse 2.50m la fouille est assimilée à la grande masse.

Pour des raisons de sécurité, le boisage (ou étagage) des parois de la fouille est obligatoire dès que l'on dépasse 1.50m, sauf si les travaux sont exécutés dans une roche compacte. Les travaux sont comptés au m³.



Figure 4 : Fouille en tranchée

I-5-La fouille en puits

C'est un terrassement de petite surface et de grande profondeur destiné à recevoir : fondations de poteaux, fosse d'ascenseur,.... Dans ce type de fouille, l'étagage prend le nom de blindage.



Figure 5 : Fouille en puits

CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

I-6-La fouille en galerie

Elle est exécutée sous terre et nécessite non seulement un étayage des parois, mais encore des plafonds.



Figure 6 : Fouille en galerie

I-7-La fouille en talutée

Le talutage empêche l'éboulement d'une tranchée en éliminant la poussée des terres. Le talutage, et spécialement le talutage en gradins, exige une importante emprise au sol.

Les talus sont caractérisés par leur angle d'inclinaison (pentes de talus) qui sont fonction de la nature du sol (caractéristiques physique du sol)

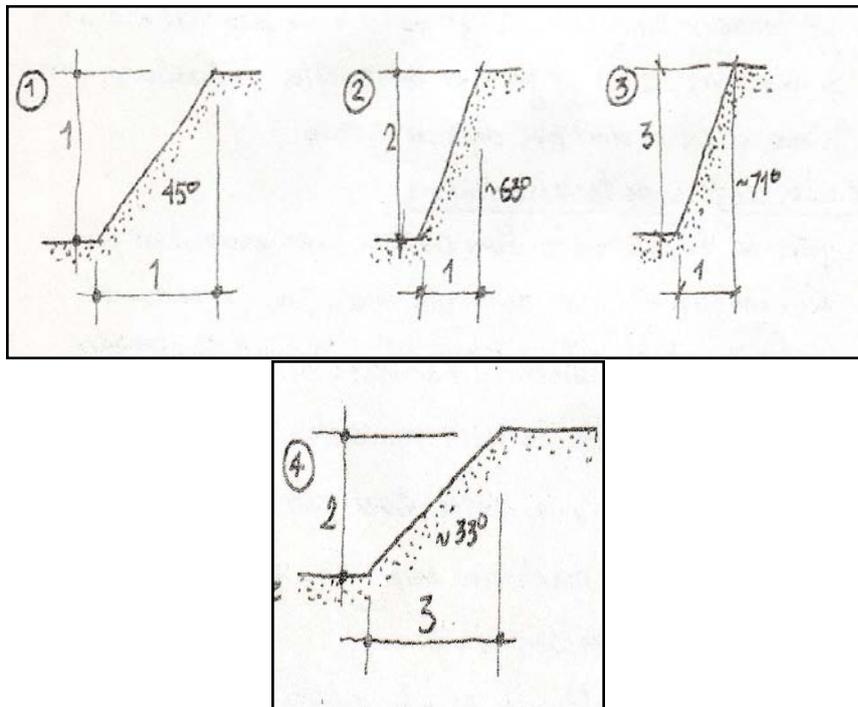


Figure 7 : Quelques exemples de pentes de talus

Pentes maximales de talus

Figure 7 (1) : terrain ébouléux 1 : 1

Figure 7 (2) : terrain tendre résistant 2 : 1

Figure 7 (3) : terrain très compact 3 : 1

CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

Figure 7 (4) : talus autoroute

2 :3



Figure 8 : Talutage en déblais

I-8-La fouille verticale

Cette possibilité est retenue dans le cas où la surface du terrain est très exigüe, elle limite le volume des déblais mais oblige le blindage des parois afin d'éviter qu'elles ne s'effondrent et d'éviter de porter atteintes à la stabilité des constructions mitoyennes (travaux fréquents en tissu urbain).

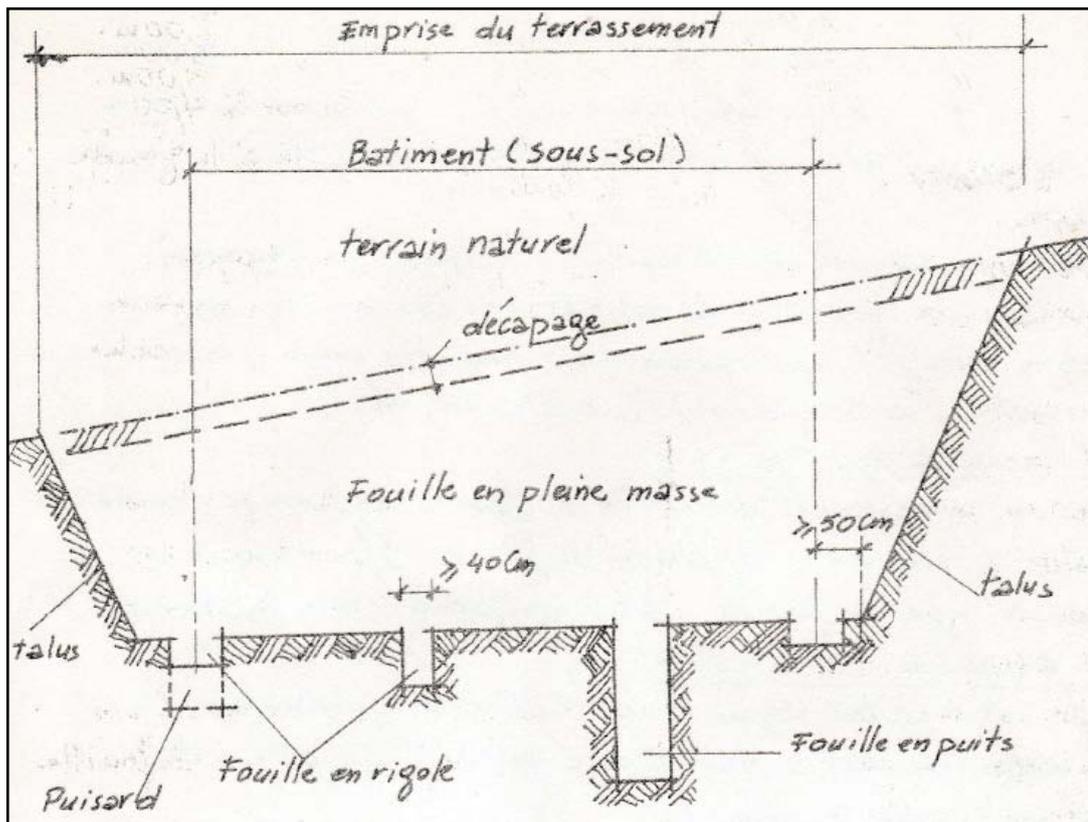


Figure 9 : Schéma de principe des fouilles

II-BLINDAGE DES PAROIS DE FOUILLES

Dans le cas des fouilles larges ou pleine masse il faut assurer la stabilité soit par l'intérieur à l'aide de batterie d'étais, soit par l'extérieur pour éviter l'encombrement à l'intérieur de la fouille en réalisant des palplanches fichées en tête des parois moulées ancrées.

Les voiles pour éviter les éboulements des parois sont réalisés à partir de la surface du sol avant même l'ouverture de la fouille pour assurer une grande sécurité.

On peut aussi procéder à l'ouverture et blinder au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

II-1-EXCAVATION PAR BLINDAGE EN COURS DE TERRASSEMENT

La réalisation d'une fouille blindée peut être mise en œuvre en cours d'exécution. Le blindage doit avoir les qualités suivantes :

- pouvoir être mis en place et déposé sans exposer les exécutants au risque d'éboulement. Le sol doit assurer une cohésion pendant la durée du terrassement sous le blindage et pendant la phase de pose du blindage. Dès lors, la pose en milieu saturé n'est pas recommandée ;
- être suffisamment résistant à la poussée des terres et aux efforts obliques.

Plusieurs types de blindages peuvent être mis en place en cours de terrassement et sont présentés ci après.

II-1-1 Blindage par panneaux ou caissons

Le blindage par panneaux en bois/béton ou par caissons en bois ou métalliques est réalisé au fur à mesure du terrassement. Les blindages mettant en œuvre des panneaux en bois ou béton sont souvent utilisés lors de terrassements manuels étant donné la gêne qu'occasionnent les étauçons (vérins à vis). Dans certains cas, le blindage est de type « perdu ». Lorsque la technique fait appel à des caissons métalliques, le terrassement à l'aide d'excavatrice est possible. Les largeurs de fouilles peuvent alors être plus importantes. Pour le dé-blindage, les éléments inférieurs sont démontés ou remontés au fur et à mesure du remblayage.

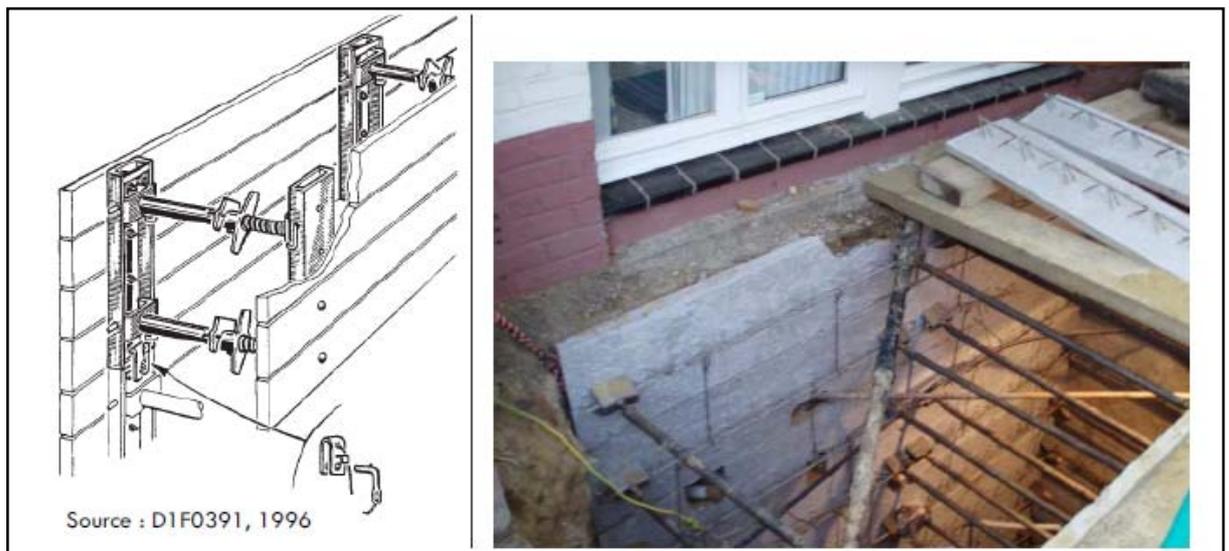


Figure 10 : Excavation en fouille blindée

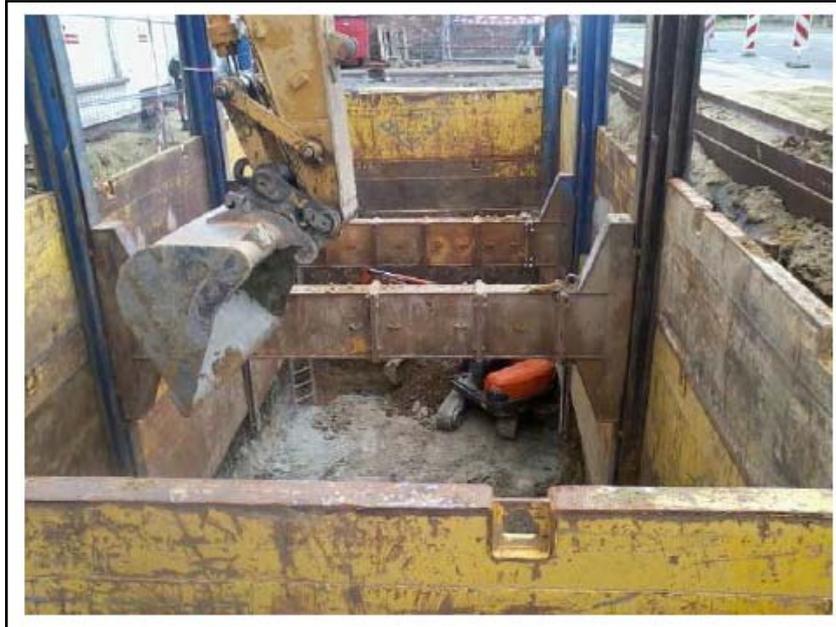


Figure 11 : Caisson métallique

II-1-2 Paroi cloutée

Le blindage à l'aide d'une paroi cloutée consiste à projeter du béton de ± 30 cm d'épaisseur sur la passe terrassée. La paroi est armée de treillis et est ancrée dans le terrain par des clous (barres d'acier scellées dans le sol par un coulis de ciment).

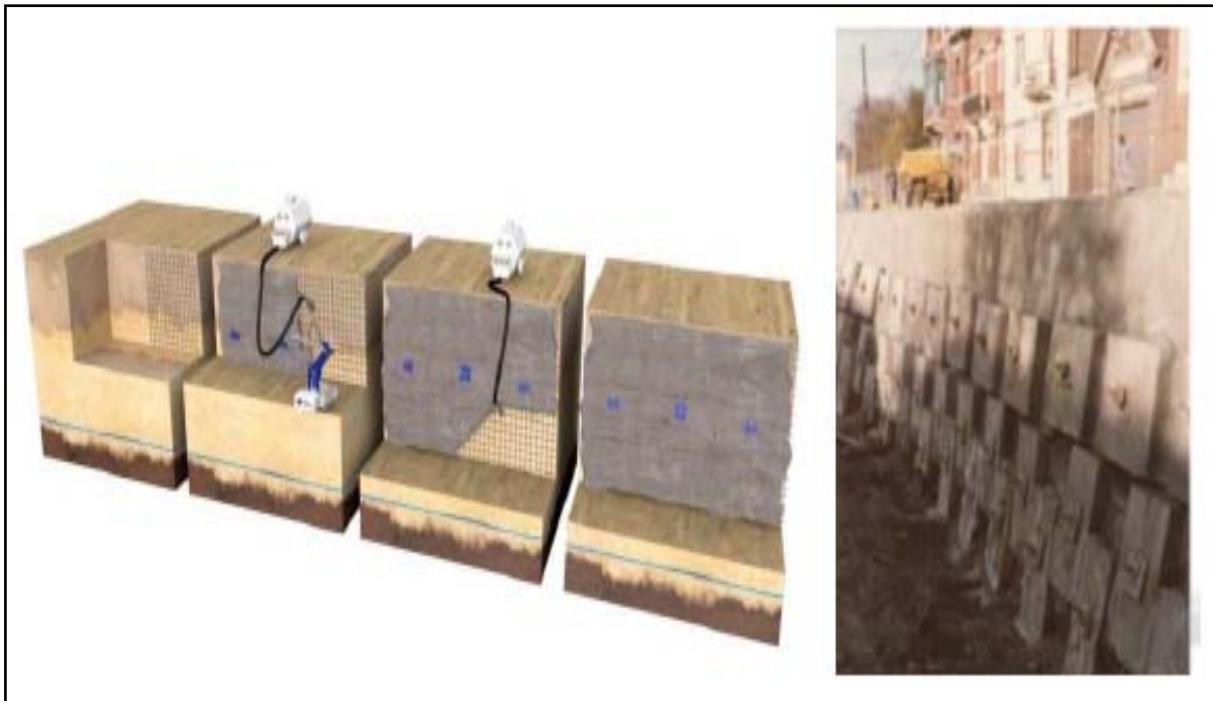


Figure 12 : Illustrations de parois cloutées

II-1-3 Paroi berlinoise

La technique de blindage à l'aide d'une paroi berlinoise consiste à poser le blindage des parois en cours de terrassement, mais elle nécessite l'implantation au préalable de profilés métalliques en H dans des trous de forages distants d'environ 2,5 m et scellés en pied.

CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

Au fur et à mesure du terrassement, des madriers horizontaux entre les ailes des H et des planches verticales contre la terre à soutenir sont placés. Les H peuvent également être tirantés ou butonnés en fonction des caractéristiques de la fouille. Des variantes à la paroi berlinoise sont, par exemple :

- la paroi Lutécienne où les madriers en bois sont remplacés par du béton projeté dans une armature métallique ;
- la paroi Parisienne où les poteaux sont en béton armé. Après terrassement de la passe, un béton est coulé entre les poteaux.

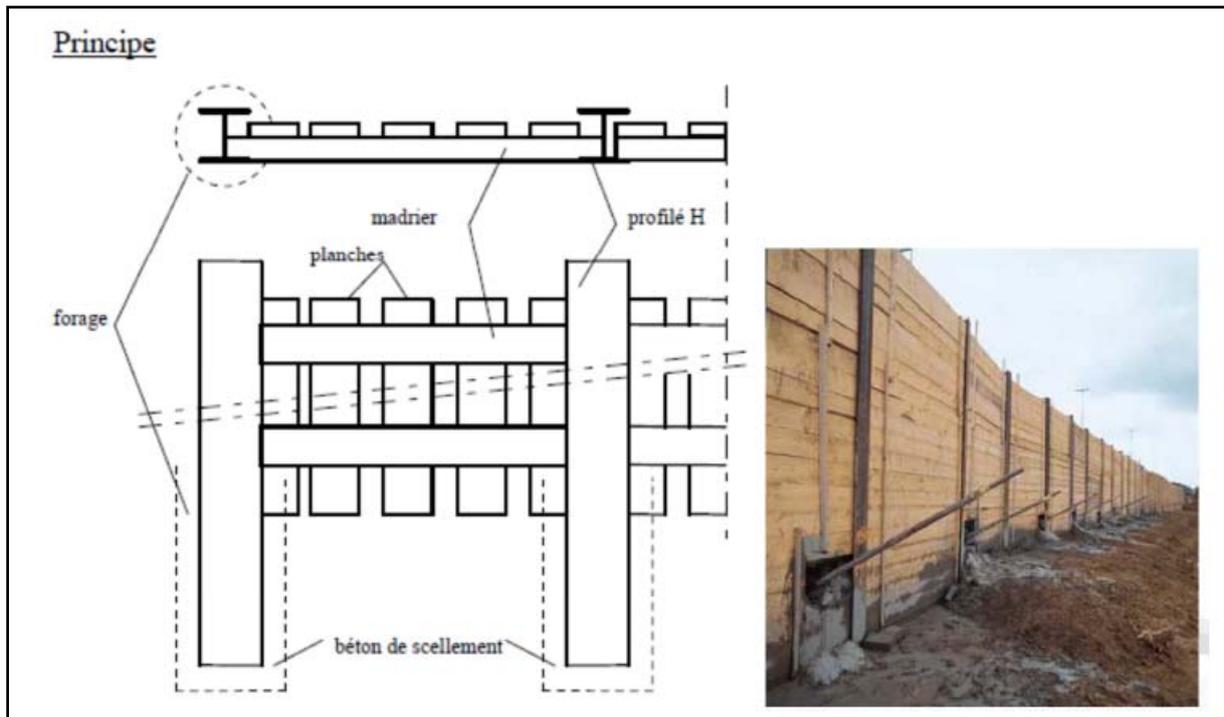


Figure 13 : Schéma de principe de la paroi berlinoise traditionnelle

II-2-EXCAVATION PAR BLINDAGE AVANT TERRASSEMENT

Dans le cas de fouilles de grande taille, profondes ou dans des sols de faibles cohésions, le système de blindage sera mis en œuvre avant la réalisation du terrassement. Plusieurs types de blindages pouvant être mis en œuvre avant de procéder au terrassement sont présentés ci-après.

L'étude d'une paroi de soutènement nécessite un dimensionnement de plusieurs paramètres en fonction de la profondeur du terrassement, de la nature du sol, de la présence d'une nappe, d'infrastructures environnantes... Les paramètres clés sont :

- calcul de la fiche (partie du blindage qui sera sous le niveau du terrassement);
- détermination des ancrages et dimensionnement des tirants ;
- détermination de la flexibilité maximale du blindage.

II-2-1 Rideau de palplanches

Une palplanche est un pieu profilé destiné à être battu ou vibrofoncé dans le sol meuble. Elle est solidaire des pieux voisins par l'intermédiaire de nervures latérales appelées « serrures ». Un rideau de palplanches permet la réalisation d'un mur imperméable lorsqu'un produit d'étanchéité est appliqué dans la serrure. En milieu urbain, on peut également enfoncer les palplanches en force avec un vérin hydraulique. Cette méthode, silencieuse et

CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

n'exerçant aucune vibration sur les ouvrages adjacents, entraîne cependant un remaniement du sol susceptible de tassements différentiels à long terme.

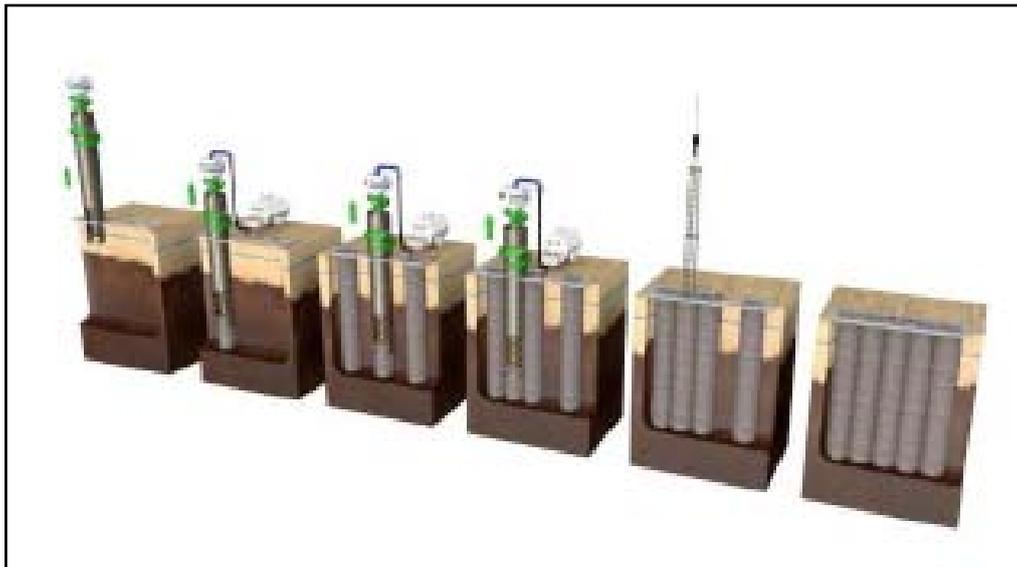


Figure 14 : Illustration de la serrure et d'un rideau de palplanches

II-2-2 Rideau de pieux

La paroi de pieux est constituée d'une série de pieux en béton tangents (ou jointifs) ou sécants (ou coupants). C'est une mesure de soutènement des terres en sol meuble ou induré en fonction de la technique de forages (tarière ou pieu foré). Cette technique est souple, flexible (par exemple, en forme arrondie) et permet de traverser des horizons de béton ou de roche.

Lorsque les pieux sont sécants, le rideau est étanche. En cas de pose en milieu saturé, la quantité en béton doit être supérieure à 375 kg/m^3 .



(A)



(B)

Figure 15 : Illustration de pose de pieux sécants
((A) procédé de réalisation, (B) ouvrage après réalisation)

En fonction des conditions de terrain, les pieux peuvent être :

- des pieux vissés ou battus avec un refoulement de terres ;
- des pieux vissés à la tarière ou forés avec extraction des terres. Dans ce cas, les terres en surface doivent être gérées.

Contrairement aux pieux battus, les pieux vissés ou forés n'occasionnent pas de vibrations. Ils seront donc privilégiés en milieu urbain.

II-2-3 Paroi moulée

Une paroi moulée (mur emboué de 0,5 à 1,5 m d'épaisseur) est un écran de soutènement formé dans le sol meuble, réalisé par la mise en place de béton et d'une armature en acier dans une tranchée creusée à l'aide d'une benne d'excavation sous fluide de support (par exemple de la bentonite). Cette technique n'occasionne pas de vibration mais nécessite beaucoup de place pour la centrale de préparation de la bentonite et la zone de stockage (minimum 300 m²). De plus, l'emprise de travail doit avoir une vingtaine de mètres de large. Les terres et la bentonite devront faire l'objet d'une évacuation.

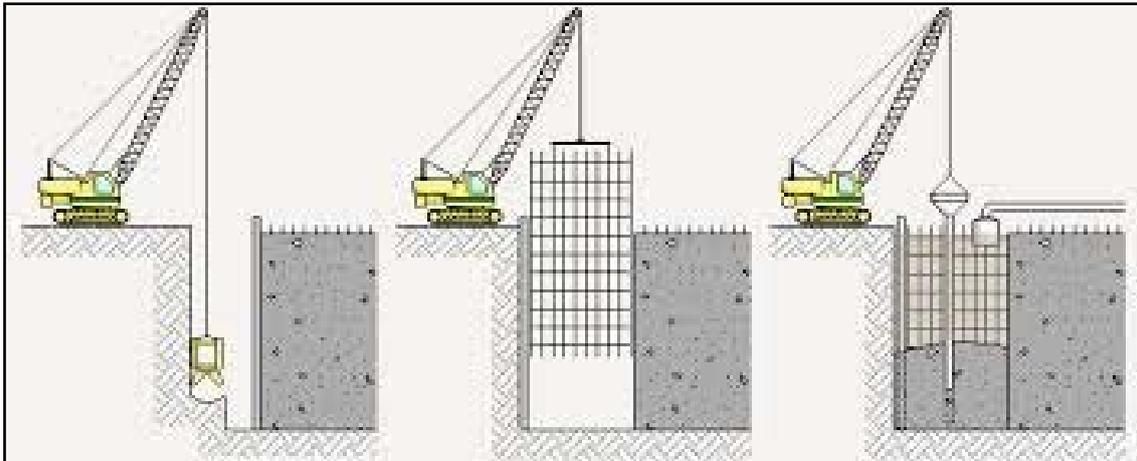
Cette technique ne peut être mise en œuvre que si la nappe se trouve à minimum 2 m de profondeur. Si la nappe est artésienne, une profondeur supérieure sera nécessaire en fonction de la pression de celle-ci.

La paroi moulée peut également être rendue étanche.

CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER



(A)



(B)



(C)

Figure 16 : Illustration des travaux de réalisation d'une paroi moulée
((A) benne d'excavation et paroi moulée finie, (B) étapes de réalisation d'une paroi moulée,
(C) photo de travaux de réalisation d'une paroi moulée)

CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

III-LES TERRASSEMENT DANS LES TERRAINS ROCHEUX

On peut classer les terrains rocheux en deux catégories :

- Les sols rippables,
- Les sols nécessitant l'utilisation d'explosifs.

III-1 Extraction sans explosifs

Dans les petits chantiers on utilisera le marteau piqueur, il peut être pneumatique, thermique ou électrique.

Dans les chantiers de travaux publics on utilisera pour les roches fragmentées le bouteur, le brise roche et l'engin à pince.



(A)



(B)



(C)

Figure 17 : Illustration des terrassements en terrain rocheux ((A) boteur ou bulldozer, (B) engin à pince (C) brise roche)

III-2 Extraction a l'aide d'explosifs

Dans le cas des roches compacts et dures on a recours à l'explosif.

L'explosif produit la dislocation des roches par l'énorme pression résultant de la formation subite et instantanée de gaz au moment de la détonation. On réalise des perforations, que l'on bourre et qu'on fait exploser.



Figure 18 : Dislocation par explosif

IV- GESTION ET VALORISATION DES DECHETS ISSUS DU BTPH

L'Algérie produit chaque année plusieurs millions de tonnes de déchets de chantiers. Souvent enfouis, ces déchets ne sont que peu valorisés, alors que ce secteur peut générer énormément d'emplois, et aura surtout un impact positif sur l'environnement en diminuant l'extraction des ressources naturelles (fossiles) d'une part et solutionnera le problème de leur mise en décharge.

CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

Ces déchets de construction, de démolition ou de rénovation ne sont ni inertes, ni dangereux, et demeurent tout à fait valorisables lorsqu'ils ne sont pas mélangés à des matières nocives. Parmi les grandes familles qui composent cette catégorie de déchets du BTP, on trouve :

- Du plâtre, une matière qui, lorsqu'elle est correctement traitée par les entreprises de valorisation des déchets de chantier- et donc débarrassée de ses éventuels polluants- possède l'immense qualité d'être recyclable à l'environnement. Traitée et asséchée après usage, elle retrouve les qualités naturelles de sa base minérale (le gypse) et peut alors entrer dans la composition d'un produit neuf. On la retrouve donc sur de nouveaux chantiers.
- Des métaux ferreux ou non-ferreux, ces déchets du BTP qui, une fois expédiés chez des métallurgistes ou des sidérurgistes industriels, peuvent être refondus et réutilisés pour fabriquer de nouveaux produits.
- Des plastiques, qui, là encore, peuvent être lavés, broyés ou régénérés sur des sites spécialisés, et vendus à des plasturgistes qui se chargeront d'utiliser ces ex-déchets de construction – devenus de nouvelles matières premières - pour fabriquer des emballages, des tuyaux en PVC, divers profilés, des fibres textiles, des flacons etc.



(A)



(B)



(C)



(D)

Figure 19 : Opérations de tri et de remise en valeur des matériaux issus du BTPH
((A) Aire de stockage des matériaux, (B) opérations de tris, (C) broyage et concassage, (D)
granulat recyclé).

V-LES ENGINES DE TERRASSEMENT

Pour les terrassements d'une certaine importance, il est plus économique d'utiliser des engins mécaniques. Le rendement de ces machines est variable, car il dépend de plusieurs facteurs : puissance et capacité de la machine, type de fouille, terrain rencontré,...Ainsi le débit varie entre 20et 400m³ à l'heure d'excavation.

Les principales machines employées pour ces travaux sont :

V-1-La pelle mécanique ou hydraulique

Cette machine offre une grande variété d'emploi et peut être équipée de 4 manières différentes, chacune correspondant à un type de travail particulier.

V-1-1 En rétrocaveuse

Pour sols tendres à durs, utilisé pour les travaux où le niveau de la fouille se trouve en contre-bas de l'assise de la machine, particulièrement intéressant pour la réalisation de fouilles en rigoles destinées à la pose de canalisations, utilisé également pour le remblaiement de ces fouilles et pour la manutention et pose des conduites de gros diamètre.



Figure 20 : Pelle hydraulique en rétrocaveuse

V-1-2 En butée

Pour sols tendres à semi-compacts, utilisé pour les travaux où le front d'attaque est situé au dessus de l'assise de la machine.

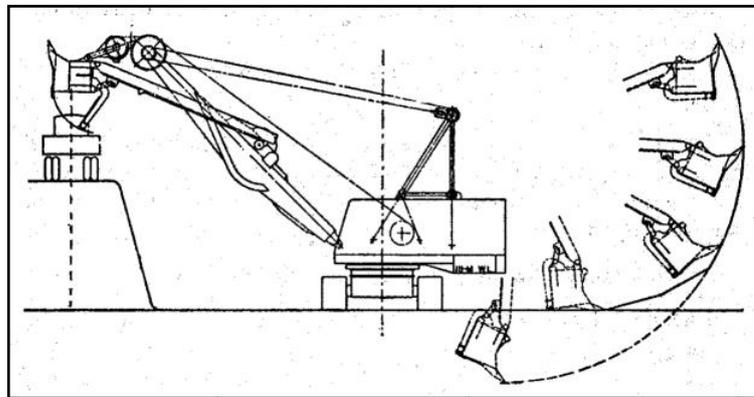


Figure21 : Pelle mécanique en butée

V-1-3 En dragueline

Pour sols tendres à semi-compacts, utilisé pour les travaux où le niveau de la fouille se trouve en contre-bas de l'assise de la machine et que les terres sont déposées sur les berges de l'excavation.

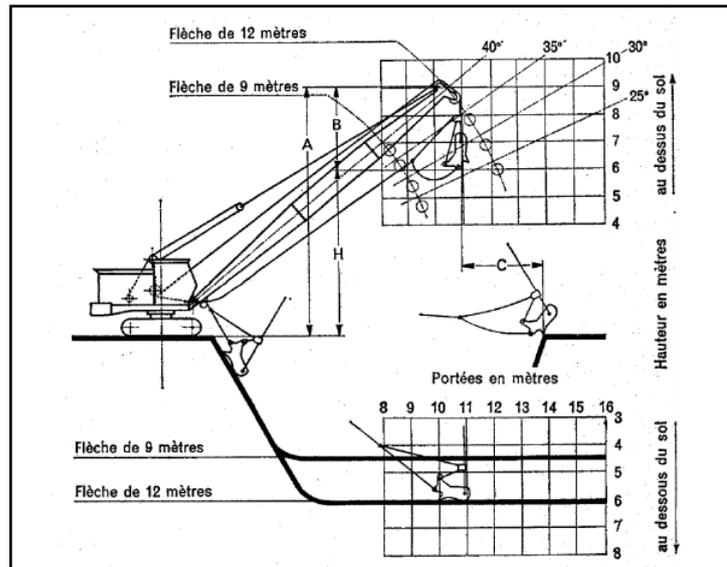


Figure 22 : Pelle mécanique en dragueline

V-1-4 En benne preneuse

Pour sols tendres ou défoncés.

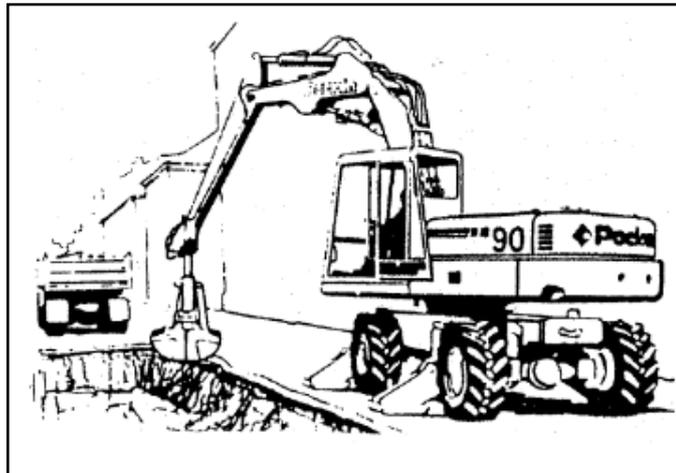


Figure 23 : Pelle hydraulique en benne preneuse

V-2-La pelleteuse-chargeuse

Machine utilisée dans les terrains tendres à semi-compacts ou défoncés, pour les fouilles en pleine masse et les remblaiements, effectue le terrassement et le chargement, peu transporter les terres dans un rayon de 60m.



Figure 24 : Pelleteuse sur Pneumatique

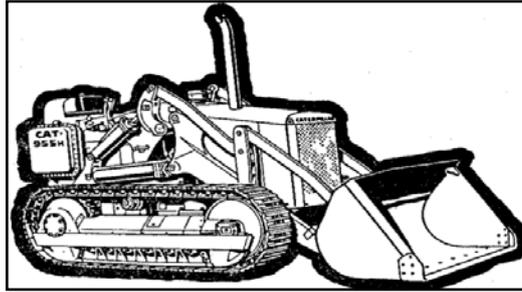


Figure 25 : Pelleteuse sur chenille

V-3-Le bulldozer

Machine conçue pour pousser les terres, sert aussi bien à déplacer par refoulement la terre, la roche désagrégée, les troncs d'arbres, les buissons qu'à la mise en tas des matériaux excavés et l'établissement des remblais. Elle n'a pas de fonction de chargement.

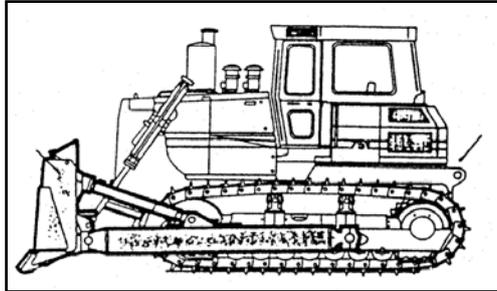


Figure 26 : Bulldozer

V-4-Les rippers ou les scarificateurs

Machine utilisée pour défoncer les terres dures par couches successives grâce aux « dents » de fortes dimensions (interchangeable) dont elle est munie. Cet équipement est souvent monté en complément sur les pelleteuses ou les bulldozers.

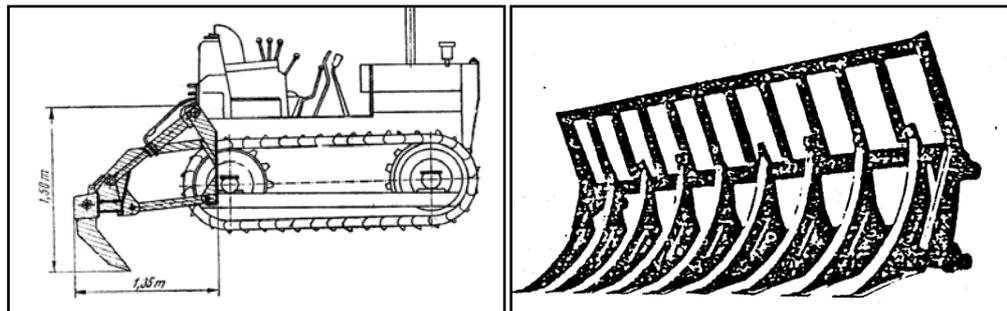


Figure 27 : Rippers

V-5-Les scrapers

Les scrapers sont les seuls engins qui peuvent à la fois : fouiller, charger, transporter et répartir la terre sur des distances de 300 à 1.000 m.

CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

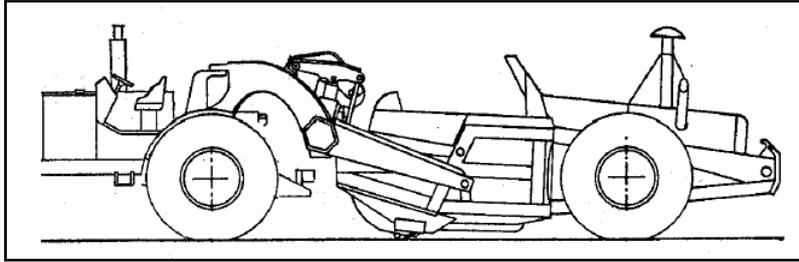


Figure 28 : Scrapers

V-6-Les niveleuses

La niveleuse est un engin qui comporte un châssis sur quatre ou six roues à pneus, au centre duquel une lame peut :

- être descendue et relevée, être déplacée latéralement,
- pivoter de 180° dans le plan horizontal de chaque côté de l'axe longitudinal du châssis (orientation),
- pivoter de 0 à 90° dans le plan vertical de chaque côté de l'axe longitudinal du châssis (pente),

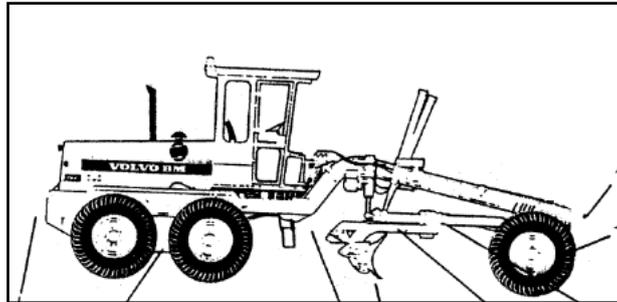


Figure 29 : Niveleuse

V-7-Les tractopelles (ou chargeuses pelleuses)

Un tractopelle est un engin équipé d'un godet à l'avant et d'une pelle en retro à l'arrière.

Les tractopelles sont très utiles pour les petites entreprises, sur les chantiers de petites tailles, remplacent à la fois un chargeur et un excavateur.

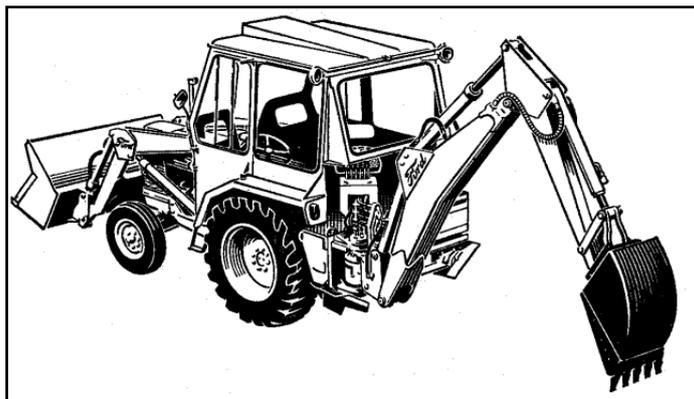


Figure 30 : Tractopelle

I-FONDATIONS ET LEURS TECHNIQUES D'EXECUTIONS

I-1 Rôles des fondations

I-1-1 Définition

Un ouvrage quelle que soient sa forme et sa destination, prend toujours appui sur un sol d'assise. Les éléments qui jouent le rôle d'interface entre l'ouvrage et le sol s'appellent fondations. Ainsi, quelque soit le matériau utilisé, sous chaque porteur vertical, mur, voile ou poteau, il existe une fondation.

I-1-2 Rôle principal

La structure porteuse d'un ouvrage supporte différentes charges telles que :

- des charges verticales :
 - comme les charges permanentes telles que le poids des éléments porteurs, le poids des éléments non porteurs,
 - comme les charges variables telles que le poids des meubles, le poids des personnes..., le poids de la neige,
- des charges horizontales (ou obliques) :
 - comme des charges permanentes telles que la poussée des terres,
 - comme les charges variables telles que la poussée de l'eau ou du vent.

Il ne s'agit pas de calculer la charge globale que reprend l'ouvrage mais la charge reprise par chaque fondation. En effet chaque fondation ne reçoit pas la même charge. Cela dépend des éléments porteurs repris. La charge reprise par une fondation se calcule au moyen d'une descente de charges.

Le rôle principal d'une fondation est donc d'assurer la transmission des charges appliquées sur l'ouvrage au sol.

Les critères influant le choix d'une fondation sont donc :

- La qualité du sol.
- Les charges amenées par la construction.
- Le coût d'exécution.

I-1-3 Rôle secondaire

- La fondation doit résister elle-même aux charges et doit être calculée en conséquence.
- L'ensemble ouvrage – fondation - sol doit être en équilibre stable. Il ne doit pas y avoir possibilité de mouvement.
 - pas de glissement horizontal : L'adhérence sol – fondation doit empêcher les forces horizontales (poussées du vent, des terres...) de pousser l'ouvrage horizontalement.
 - pas de basculement : Les charges horizontales ont tendance à faire basculer l'ouvrage car elles créent un moment. Les forces verticales (poids) doivent les contrebalancer.
 - pas de déplacement vertical : Le sol doit être suffisamment résistant pour éviter l'enfoncement du bâtiment de manière uniforme ou dissymétrique (tassements)

différentiels entre deux parties solidaires de l'ouvrage) et le bâtiment doit être suffisamment lourd pour éviter les soulèvements dus à l'action de l'eau contenue dans le sol (poussée d'Archimède).

- Une fondation doit être durable. Toutes les précautions devront être prises dans les dispositions constructives, le choix et l'emplacement des matériaux, ainsi que dans la mise en œuvre.
- Une fondation doit être économique. Le type de fondation, les matériaux employés et la mise en œuvre doivent être le moins coûteux possible.

I-2 Fonctionnement des fondations

Un mur ou un poteau supporte une partie des charges de l'ouvrage et compte-tenu de ses faibles dimensions, risquent de poinçonner le sol. C'est pour cela que sous un mur et un poteau, on place une fondation qui permet de répartir la même charge mais sur une surface horizontale plus importante et donc de diminuer la pression exercée sur le sol, c'est à dire de diminuer la force exercée sur le sol par unité de surface.

Il faudra toujours s'assurer que la pression exercée par la fondation sur le sol est inférieure à la pression que peut supporter le sol. La pression que peut supporter le sol a été déterminée grâce aux essais de reconnaissance de sol.

La **fonction** d'une **fondation** est de **transmettre** au **sol** les **charges** qui résultent des **actions** appliquées sur la **structure** qu'elle supporte.

Cela suppose donc que le concepteur connaisse:

- la capacité portante de la semelle de fondation. Le sol ne doit pas rompre, ni tasser de façon inconsidérée sous la semelle.
- les actions amenées par la structure au niveau du sol de fondation. La semelle doit résister aux actions auxquelles elle est soumise.

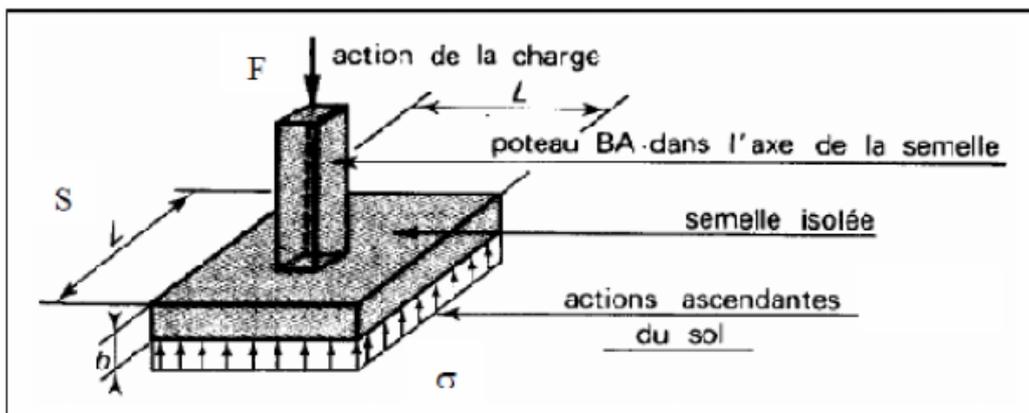


Figure 1 : Efforts exercés sur une semelle isolée

Cette pression s'appelle contrainte et est notée σ .

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

La pression exercée à la surface du sol entraîne des pressions dans les couches de sol situées en dessous jusqu'à une certaine profondeur qui varie suivant le type de fondations et la charge appliquée.

I-3 Types de fondations

Les deux types de fondations sont :

- les fondations superficielles,
- les fondations profondes et spéciales.

Les fondations sont dites superficielles si une des deux conditions suivantes est respectée :

$$H/B < 6 \text{ ou } H < 3 \text{ m}$$

Avec H : profondeur de la fondation et B : largeur de la fondation.

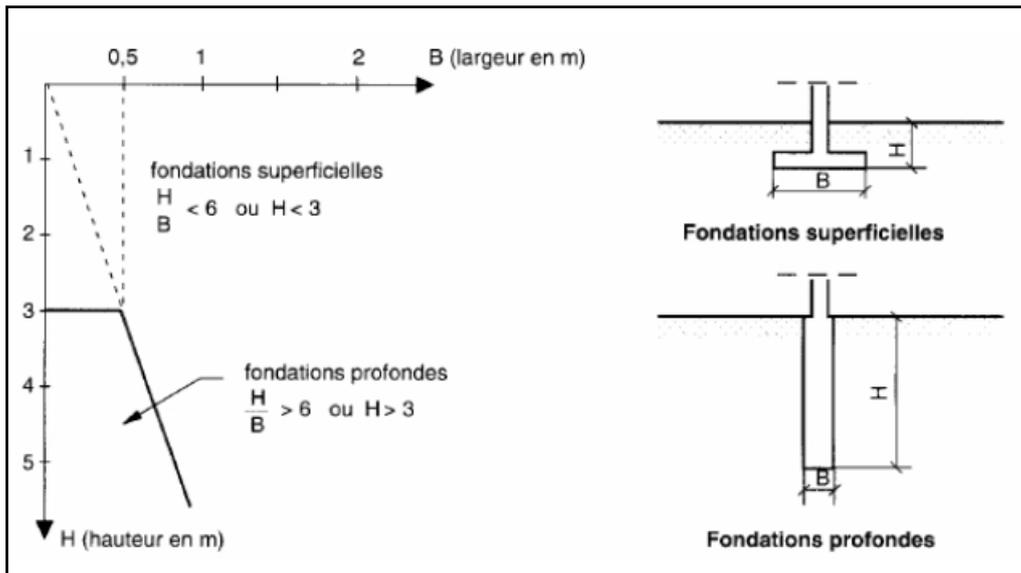


Figure 2 : Caractéristiques géométriques des différents types de fondations

I-4 Les fondations superficielles

Les fondations superficielles sont mises en œuvre lorsque la construction peut prendre appui sur une couche de résistance acceptable à faible profondeur par rapport au niveau le plus bas de la construction et non du terrain naturel.

Les fondations *superficielles* sont de trois types :

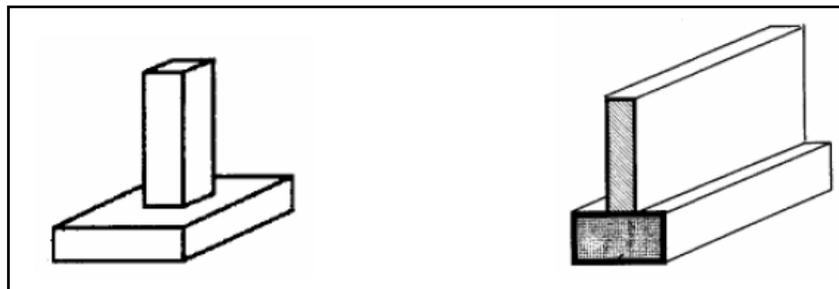


Figure 3 : Semelle isolée, et semelle filante sous mur

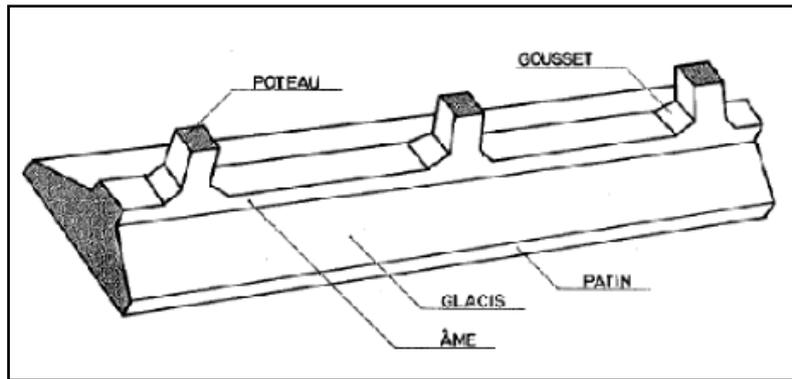


Figure 4 : Semelle filante sous poteaux

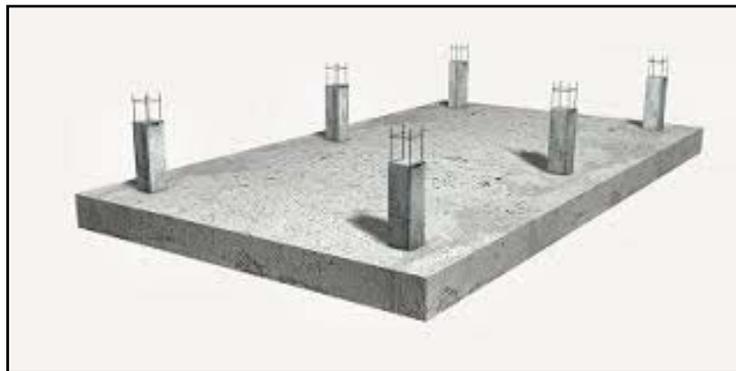


Figure 5 : Radier général

I-4-1 Les semelles isolées

I-4-1-1 Définitions - terminologie

Une fondation superficielle est définie par des caractéristiques géométriques.

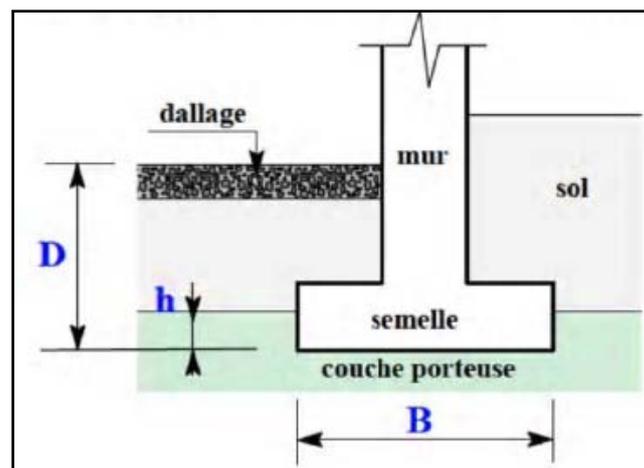


Figure 6 : Coupe verticale sur semelle superficielle

- L: longueur de la semelle ou plus grand côté d'une semelle.
- B : largeur de la semelle ou plus petit côté de la semelle.
- semelle circulaire $B = 2 R$
- semelle carrée $B = L$
- semelle rectangulaire $B < L < 5R$

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE REALISATION DES OUVRAGES EN BETON ARME

- semelle continue ou filante :... $L > 5B$

- D : hauteur d'encastrement de la semelle. Hauteur minimum au dessus du niveau de la fondation. Si un dallage ou une chaussée surmonte la fondation ceux-ci sont pris en considération dans la hauteur d'encastrement.

- h : ancrage de la semelle. Il correspond à la hauteur de pénétration de la semelle dans la couche porteuse

Elle est aussi définie par le rapport B/D . Au delà d'un rapport de $1/6$, nous sommes dans le domaine des fondations profondes.

I-4-1-2 Dimensions des semelles isolées

Les semelles isolées sont les fondations des poteaux. Leurs dimensions de surface sont homothétiques à celles du poteau que la fondation supporte :

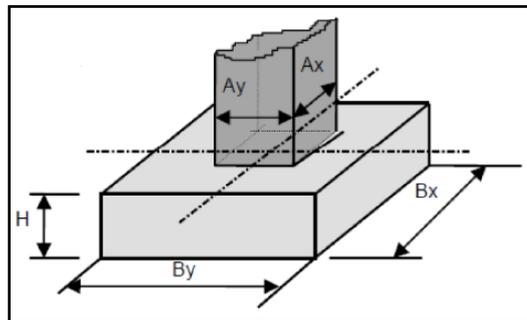


Figure 7 : caractéristiques géométriques d'une semelle isolées

Semelles rectangulaires :

- Homothétie

$$\frac{B_x}{B_y} = \frac{A_x}{A_y}$$

- Hauteur H

$$\frac{B_x - A_x}{4} \leq H$$

I-4-1-3 Profondeur hors gel des semelles de fondation.

Pour éviter que le sol d'assise des semelles ne soit déstructuré par les cycles de gel et de dégel du sol, le niveau d'assise des fondations doit être descendu à un niveau suffisant : profondeur hors gel. Cette profondeur varie selon la zone climatique et l'altitude :

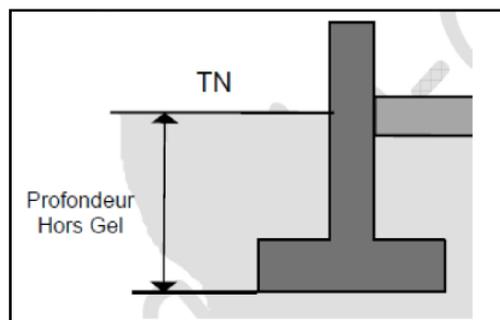


Figure 8 : Profondeur hors gel

I-4-1-4 Formes de semelles isolées

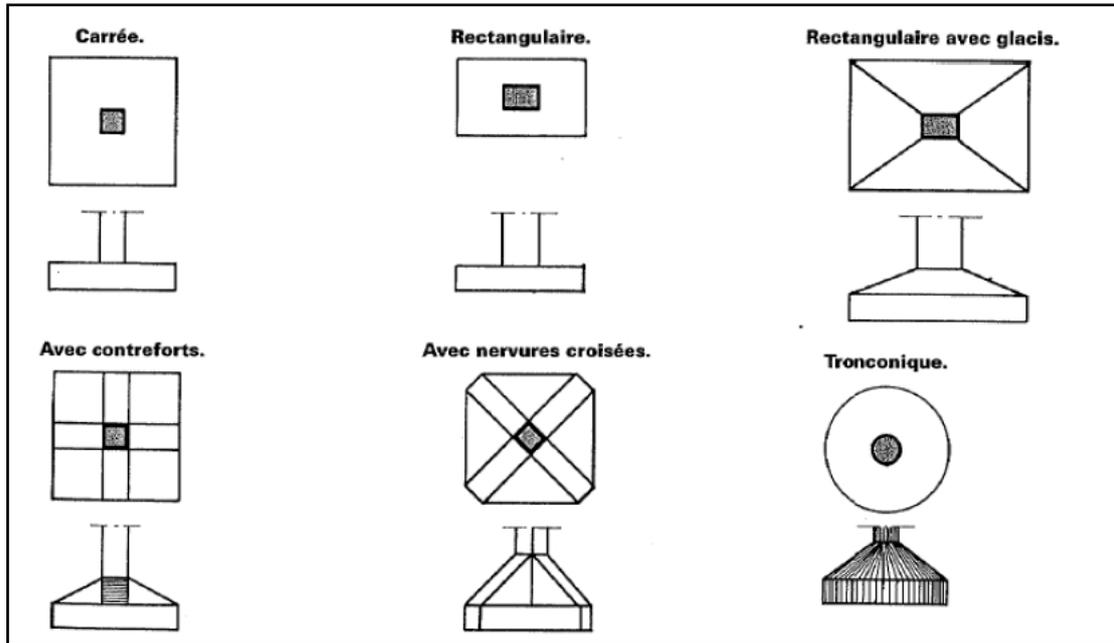
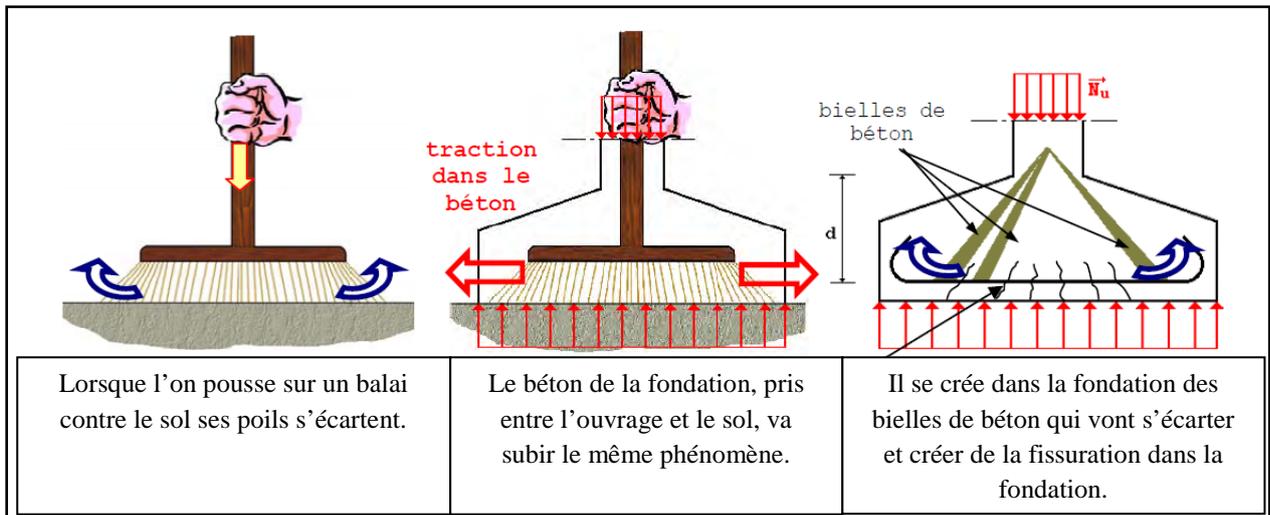


Figure 9 : Différentes configurations géométriques des semelles isolées

I-4-1-5 Ferrailage des semelles isolées

Figure 10 : Actions sur les semelles isolées



Il est donc nécessaire de placer des aciers afin que les bielles de béton ne s'écartent pas et, ainsi, éviter la fissuration du béton de la fondation.

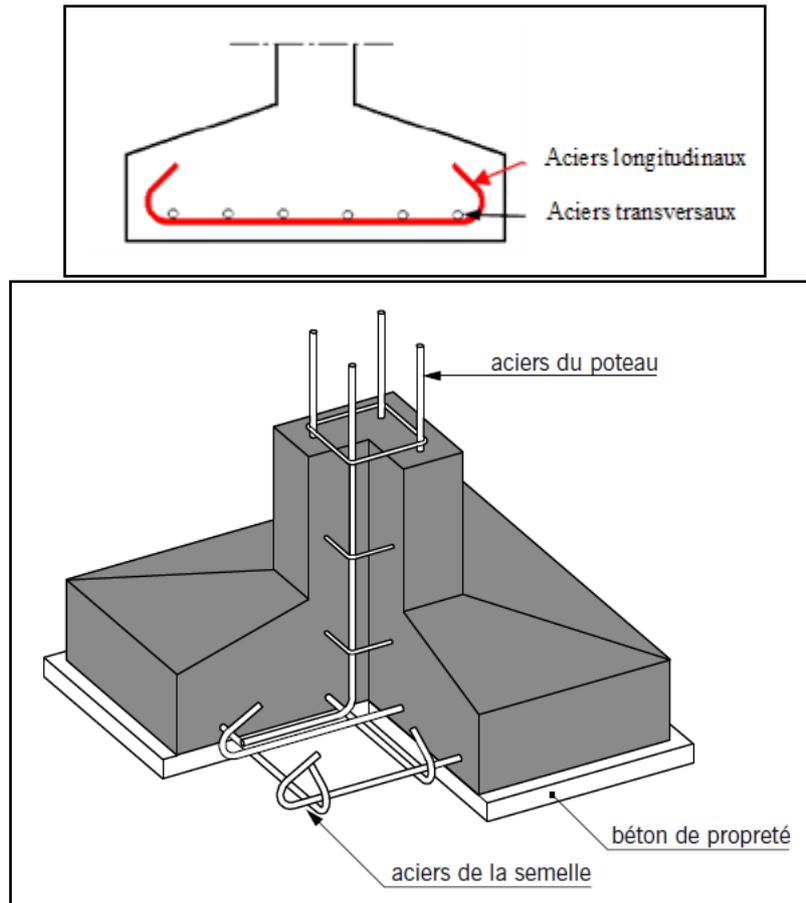


Figure 11 : Disposition des aciers dans une semelle isolée

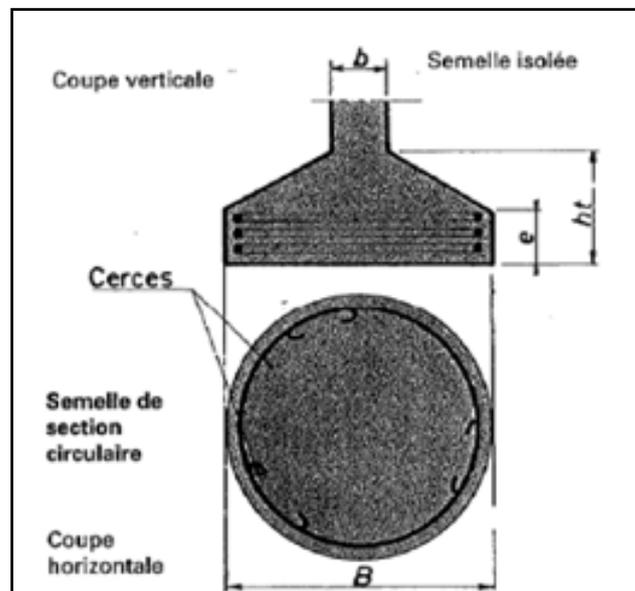


Figure 12 : Disposition des aciers dans une semelle isolée circulaire

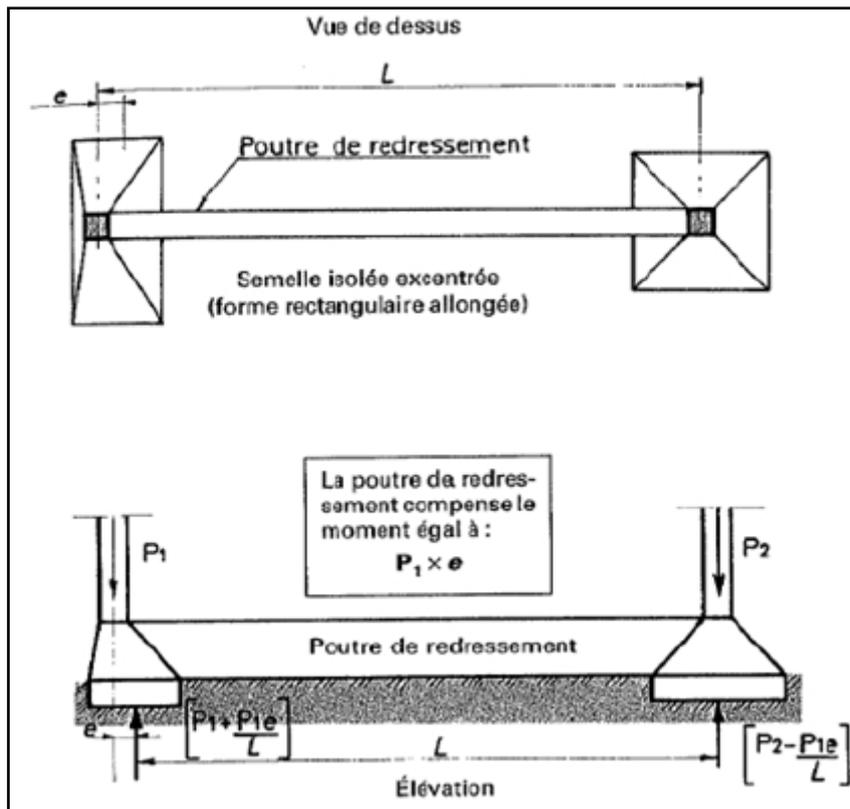
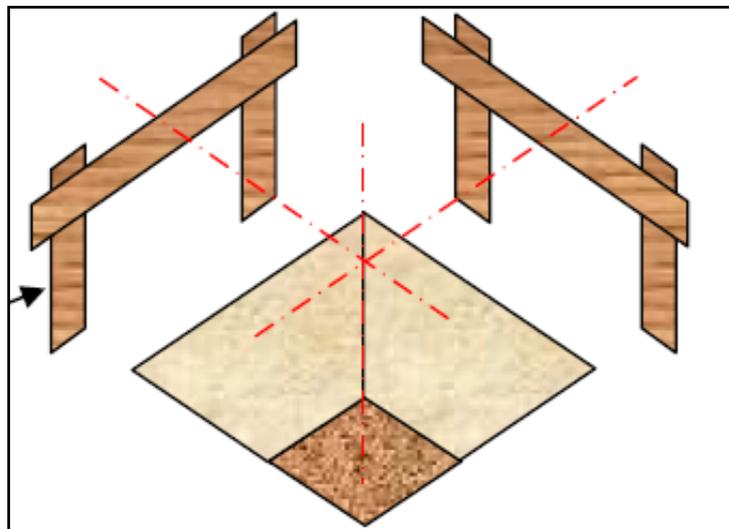


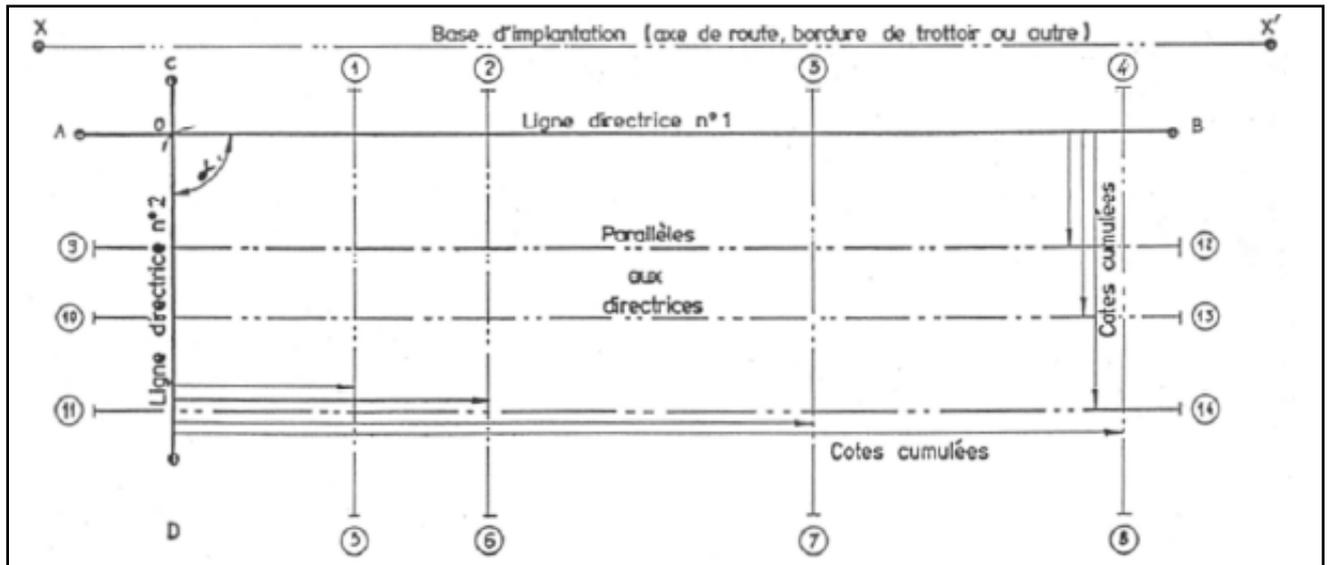
Figure 13 : Disposition pratique pour les semelles isolées excentrées

I-4-1-6 Mode d'exécution des semelles isolées

• Implantation



(A)



(B)

Figure 14 : Implantation et mise en place des chaises de construction ((A) chaises de construction, (B) axes de l'ouvrage)

L'ouvrage est implanté à l'aide de 2 lignes directrices à partir d'une base xx' . A, B et C, D constituent des repères principaux, leur intersection en O donne l'origine des mesures à reporter aux axes des fondations et des voiles.

La matérialisation de cette implantation se fait à l'aide de « chaises » sur le terrain.

• Terrassement

Si le terrain ne présente pas de risques d'éboulements la fondation peut être coulée directement dans la fouille, dans ce cas la largeur de l'excavation sera celle du godet de la pelle, soit au minimum 0,40 m.

- Si le sol est éboulé ou si la fondation doit être coffrée, la fouille présentera un talus dont l'angle est égal à l'angle de talus naturel du sol ϕ . Cet angle dépend de la nature du sol, de sa cohésion, de sa granulométrie et de la présence ou non d'eau.

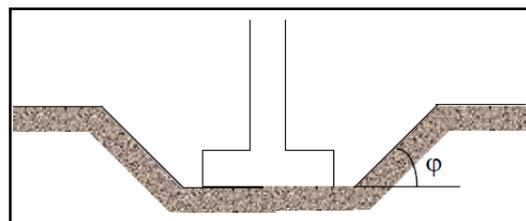


Figure 15 : Fouille en puits talutée

• Béton de propreté

C'est un béton maigre (dosage minimum de 150 kg/m^3 de ciment. Son épaisseur est $> 4 \text{ cm}$ et sa largeur supérieure, en général, à celle de la semelle. Il n'est jamais coffré. Il peut être remplacé par un film plastique (polyane) en fond de fouille.

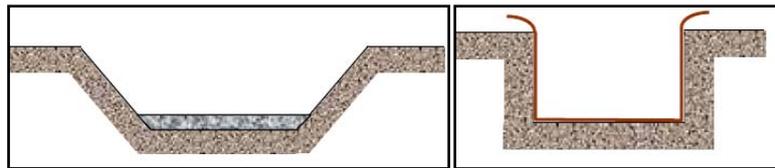


Figure 16 : Béton de propreté (gauche) et film en polyane (droite)

• Mise en place du ferrailage

Afin de respecter l'enrobage, les armatures sont positionnées sur le béton de propreté par l'intermédiaire de cales pour armatures ou de distanciers ou écarteurs.

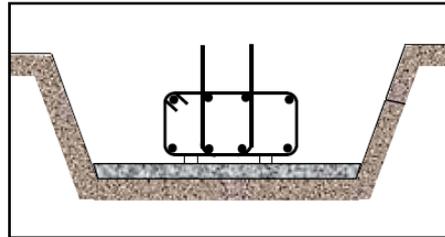


Figure 17 : Pose du ferrailage

• Coffrage et bétonnage

La semelle peut être coffrée latéralement ou bien coulée directement dans la fouille, selon ses dimensions et la tenue des terres. Le bétonnage est effectué en 1 seule fois sans reprise de bétonnage.

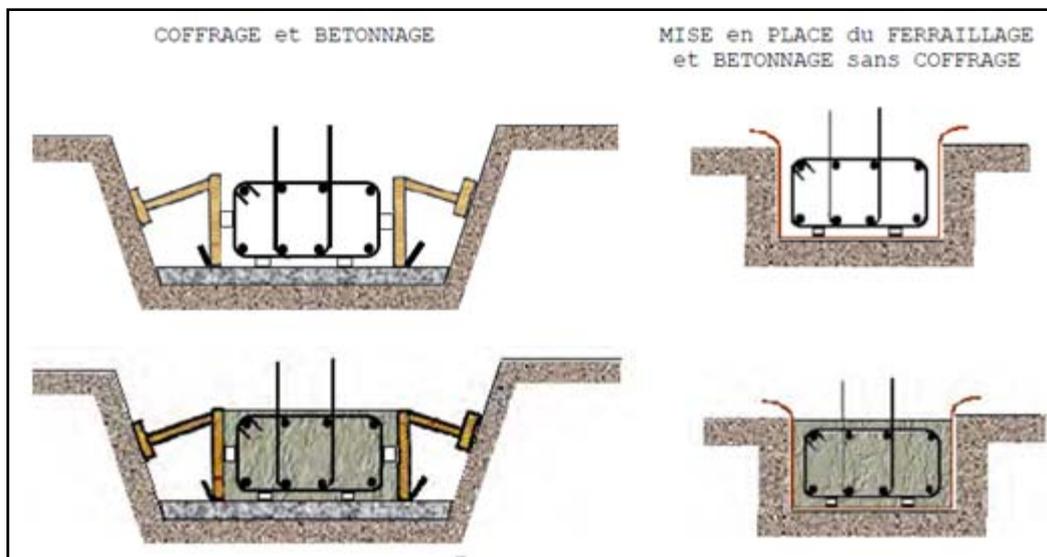


Figure 18 : Bétonnage avec coffrage et bétonnage en pleine fouille

I-4-2 Semelles filantes

La semelle filante est une semelle continue rectiligne portant un mur ou une rangée de piliers. Son rôle est de répartir les charges qui lui sont appliquées sur une plus grande surface que ne le ferait le mur qu'elle soutient, afin de ne pas s'enfoncer dans le sol.

I-4-2-1 Paramètres à prendre en compte

Le comportement et le dimensionnement des semelles filantes supportant des colonnes sont difficiles à déterminer car la force portante dépend de plusieurs paramètres :

- La compressibilité du sol et sa composition le long de la semelle
- De la rigidité de la semelle
- Des charges dans les différentes colonnes

Il est prudent de faire une analyse détaillée de l'interaction entre le sol et la semelle, cependant il n'est pas toujours nécessaire de faire cette analyse longue et complexe.

En pratique, on utilisera une méthode simplifiée qui permettra un dimensionnement crédible de la semelle filante selon le type de la semelle et du sol.

I-4-2-2 Réactions d'appuis de la semelle

I-4-2-2-a Uniformité du sol

- **Semelle rigide** → dans ce cas, on peut dire que la force portante en tout point de la semelle est substantiellement la même.

Cependant, cette réaction ne sera uniforme que si le centre de la semelle coïncide avec le centre des charges des colonnes.

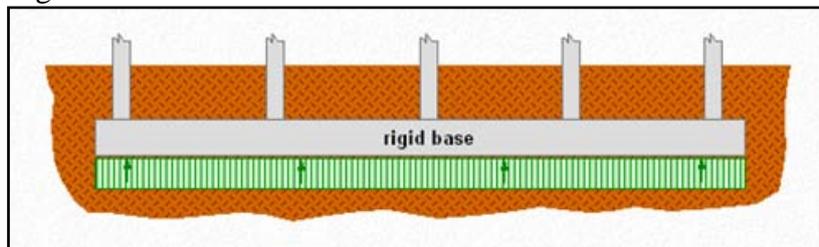


Figure 19 : Semelle à base rigide

- **Semelle souple** → dans ce cas, la force portante sera plus grande en dessous des colonnes qu'entre deux colonnes successives. La pression n'est donc ni uniforme ni linéaire.

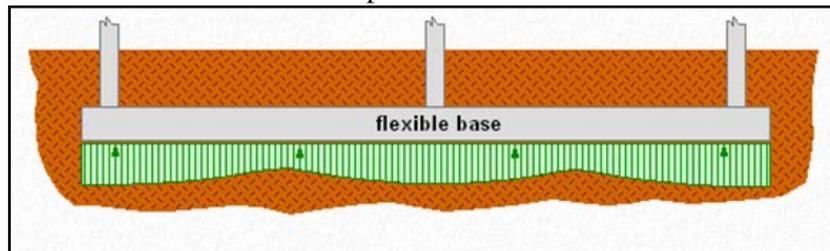


Figure 20 : Semelle à base souple

I-4-2-2-b Variabilité du sol

Si le sol est variable sous la semelle filante, la force portante aura alors un comportement différent du précédent.

Deux cas qui se présentent de nouveau à nous :

- **Semelle rigide** → dans ce cas, la semelle tendra à régler uniformément la force portante mais, à l'endroit où le sol est plus souple, la force sera moindre.

Pour garder l'équilibre vertical des forces, la force portante va donc augmenter de chaque côté de la section moins porteuse du sol.

En résumé, la semelle tend à décharger la partie du sol moins rigide et à transférer les charges sur les sections plus rigides.

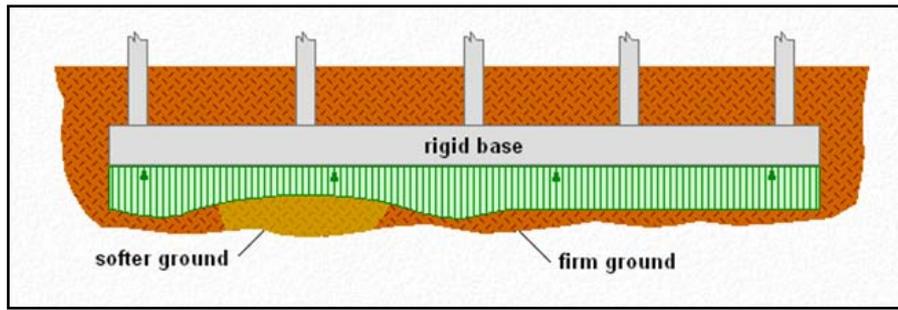


Figure 21 : Base rigide avec sol variable

• **Semelle souple** → dans ce cas, il y a à nouveau deux cas :

Soit la partie plus souple se trouve entre deux colonnes. La semelle subit alors à cet endroit une légère déformation vers le haut, qui réduira la force portante et l'augmentera aux extrémités de cette zone moins porteuse ;

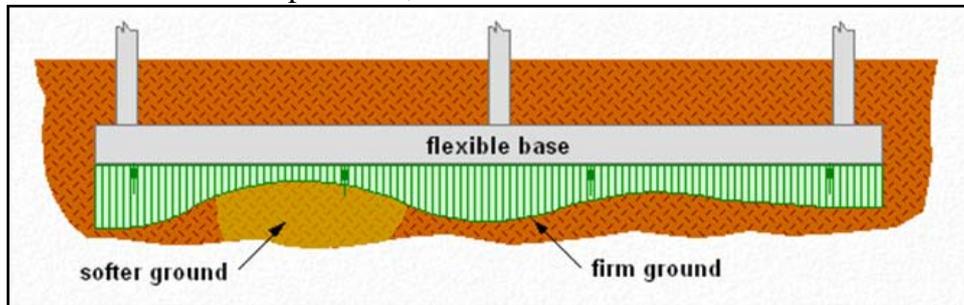


Figure 22 : Base souple avec sol variable entre les colonnes

Soit la section plus souple se trouve sous une colonne. Alors la force portante la plus importante, qui devrait avoir lieu sous cette colonne si le sol avait été uniforme, se voit réduites par le sol mou, ce qui conduit à une meilleure homogénéité des réactions d'appuis de la semelle.

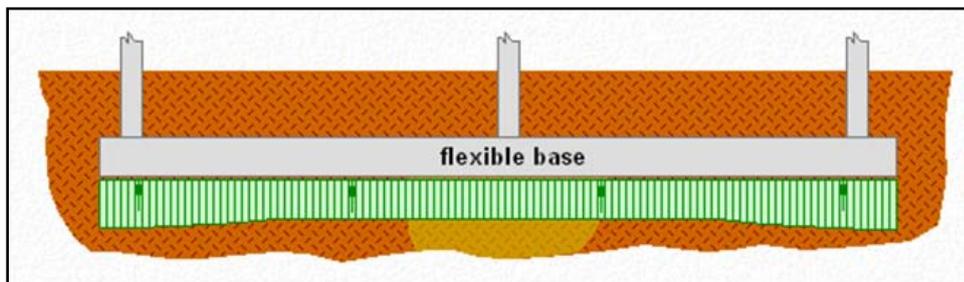


Figure 23 : Base souple avec sol variable sous la colonne

I-4-2-3 Dispositions des aciers

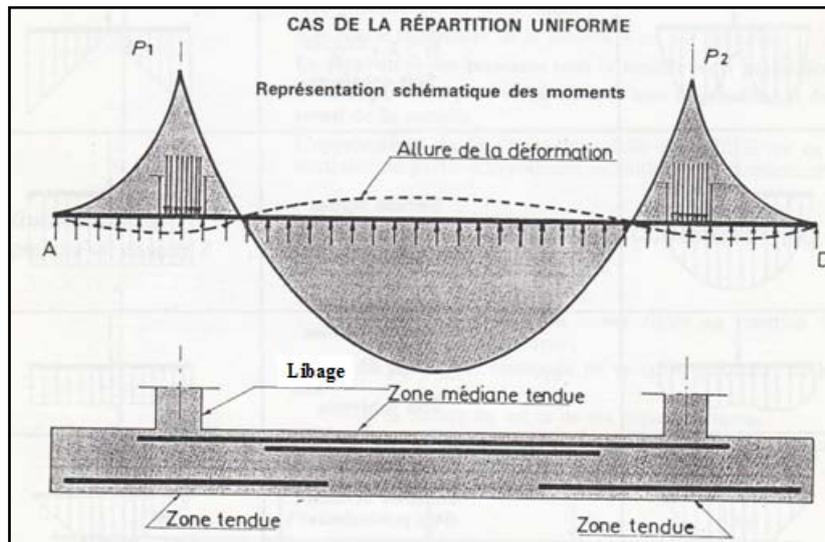


Figure 24 : Schéma de principe du fonctionnement d'une semelle filante et disposition des aciers



Figure 25 : Coffrage et ferrailage d'une semelle filante

I-4-3 Les radiers

I-4-3-1 Définition

Un radier est une dalle plane, éventuellement nervurée, constituant l'ensemble des fondations d'un bâtiment. Il s'étend sur toute la surface de l'ouvrage. Elle comporte parfois des débords (consoles extérieures).

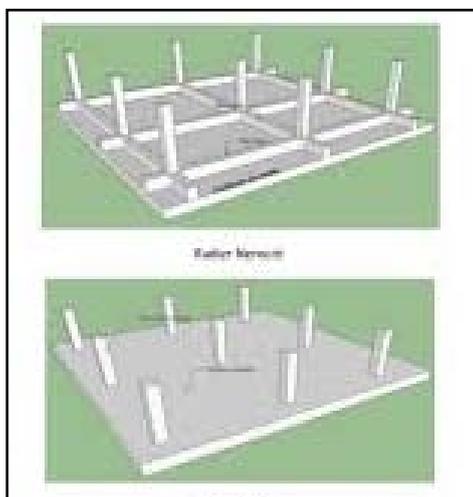


Figure 26 : Radiers souple et rigide



Figure 27 : Ferrailage et bétonnage de Radiers

I-4-3-2 Avantages de la semelle unique (radier)

- diminution des risques de tassement
- très bonne liaison donc rigidité de la base du bâtiment

Ce mode de fondation est utilisé dans deux cas :

- lorsque la capacité portante du sol est faible : le radier est alors conçu pour jouer un rôle répartisseur de charges. Son étude doit toujours s'accompagner d'une vérification du tassement général de la construction ;
- lorsque le sous-sol d'un bâtiment est inondable : le radier joue alors le rôle d'un cuvelage étanche pouvant résister aux sous-pressions.

Ce type d'ouvrage ne doit pas être soumis à des charges pouvant provoquer des tassements différentiels trop élevés entre les différentes zones du radier.

Dans le cas de couches sous-jacentes très compressibles, le concepteur doit vérifier que le point de passage de la résultante générale coïncide sensiblement avec le centre de gravité du radier.

Lorsque la compressibilité du sol varie de manière importante ou lorsque la structure présente des différences marquées de rigidité, il y a lieu de prévoir des joints de rupture.

I-4-3-3 Principe de construction des radiers

On ne peut envisager la réalisation du radier qu'à certaines conditions :

- les charges apportées par le bâtiment doivent être régulièrement réparties : pas de bâtiment avec une partie haute et une partie moins haute pour ne pas engendrer des tassements incompatibles.
- La répartition des contraintes sous le radier est uniforme
- Le terrain sous le radier n'est soumis qu'à des contraintes de compression en tout point.
- Le sol d'assise a une résistance régulière (pas de tassements différentiels, pas de points durs).
- La poussée d'Archimède due à une présence d'eau n'est pas trop forte (soulèvement de l'ensemble du bâtiment).

I-5 Fondations profondes

I-5-1 Introduction

Lorsque les charges apportées par un ouvrage sont élevée et que les couches superficielles sont très compressibles (vases, tourbes, argiles moles..) on envisage des fondations profondes (pieux) ou semi profondes (puits) afin d’atteindre des couches résistante en profondeur.

Un pieu est une fondation élancée qui reporte les charges de la structure sur des couches de terrain de caractéristiques mécaniques suffisantes pour éviter la rupture du sol et limiter les déplacements à des valeurs très faibles. Le mot pieu désigne aussi bien les pieux, les puits et les barrettes.

On désigne par pieu, une fondation profonde réalisée mécaniquement et par puits une fondation profonde creusée à la main sous la protection d’un blindage. Une barrette est un pieu foré de section allongée ou composite (en T ou en croix par exemple).

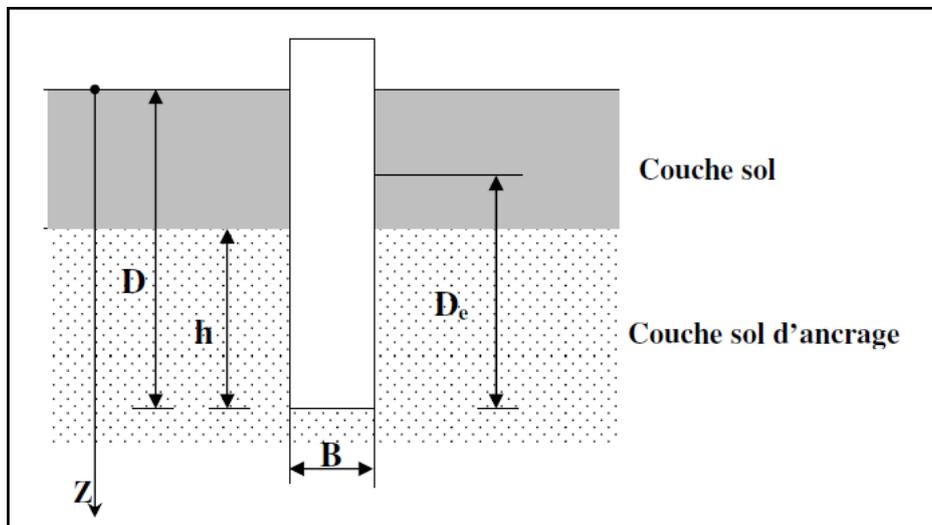


Figure 28 : Caractéristique géométrique d'un pieu

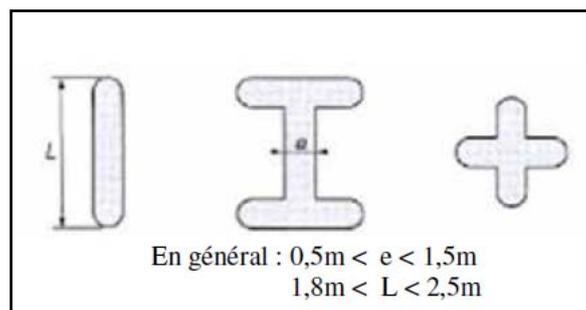


Figure 29 : Différentes barrettes

I-5-2 Classification Suivant Le Mode D'exécution

I-5-2-1 Pieux refoulant le sol à la mise en place

Une large panoplie de pieux est mise en place par **fonçage, battage et/ou vibrofonçage** et éventuellement par lançage :

I-5-2-1-a Pieux en bois

Ce sont des pieux préfabriqués mis en place par battage (associé quelquefois au lançage). Ils travaillent généralement par effort de pointe et frottement latéral, moins souvent à l'arrachement, à la flexion ou comme pieux de resserrement. Ils sont à l'heure actuelle très peu utilisés en France, plus au Canada ou aux Etats-Unis d'Amérique, relativement souvent en Hollande. Ils sont très présents dans les monuments historiques.

I-5-2-1-b Pieux battus préfabriqués

Ces pieux, préfabriqués en béton armé ou précontraint, sont fichés dans le sol par battage ou vibro-fonçage.

I-5-2-1-c Pieux métalliques battus

Ces pieux, entièrement métalliques, constitués d'acier avec addition éventuelle de cuivre (0,2 à 0,5%), sont fichés dans le sol par battage. Leurs sections sont:

- en forme de H,
- en forme d'anneau (tube),
- en forme quelconque, obtenue par soudage de palplanche par exemple.

Ils ne sont classés dans cette catégorie que si leur base est obturée, sinon ils font partie des pieux particuliers.

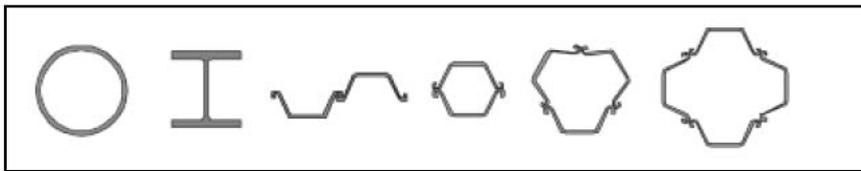


Figure 30 : Différentes géométries de pieux métalliques

I-5-2-1-d Pieux en béton foncés

Ces pieux sont constitués d'éléments cylindriques en béton armé, préfabriqués ou coffrés à l'avancement, de 0,50 m à 2,50 m de longueur et de 30 à 60 cm de diamètre. Les éléments sont foncés dans le sol à l'aide d'un vérin qui prend appui sous un massif de réaction.

I-5-2-1-e Pieux métalliques foncés

Ces pieux, entièrement métalliques, sont constitués d'acier E 24.2 ou similaire avec addition éventuelle de cuivre (0,2 à 0,5%). Ils sont foncés dans le sol à l'aide d'un vérin qui prend appui sous un massif de réaction.

I-5-2-1-f Pieux battus pilonnés

Un tube, muni à sa base d'un bouchon de béton ferme, est enfoncé par battage sur le bouchon.

En phase finale, le béton ferme est introduit dans le tube par petites quantités, successivement pilonnées à l'aide du mouton de battage au fur et mesure de l'extraction du tube. Suivant les cas, les pieux peuvent être armés.

I-5-2-1-g Pieux battus moulés

Un tube, muni à sa base d'une pointe métallique ou en béton armé, ou d'une plaque métallique raidie ou d'un bouchon de béton, est enfoncé par battage sur un casque placé en tête du tube ou par battage sur le bouchon de béton. Le tube est ensuite rempli totalement de béton d'ouvrabilité moyenne, avant son extraction. Le cas échéant, ces pieux peuvent être armés.

I-5-2-1-h Pieux battus enrobés

Ce pieu, à âme métallique (acier E 24.2 ou similaire), est constitué :

- de tubes d'acier de 150 à 500 mm de diamètre extérieur
- de profilés H
- de caissons formés de profilés ou de palplanches à 2, 3 ou 4 éléments.

La pointe du pieu comporte un sabot débordant qui assure un enrobage du métal du fût du pieu de 4 cm au minimum. Au fur et à mesure du battage, un mortier est envoyé par un ou plusieurs tubes débouchant au voisinage du sabot, afin de constituer l'enrobage en remplissant le vide annulaire laissé par le débord de celui-ci.

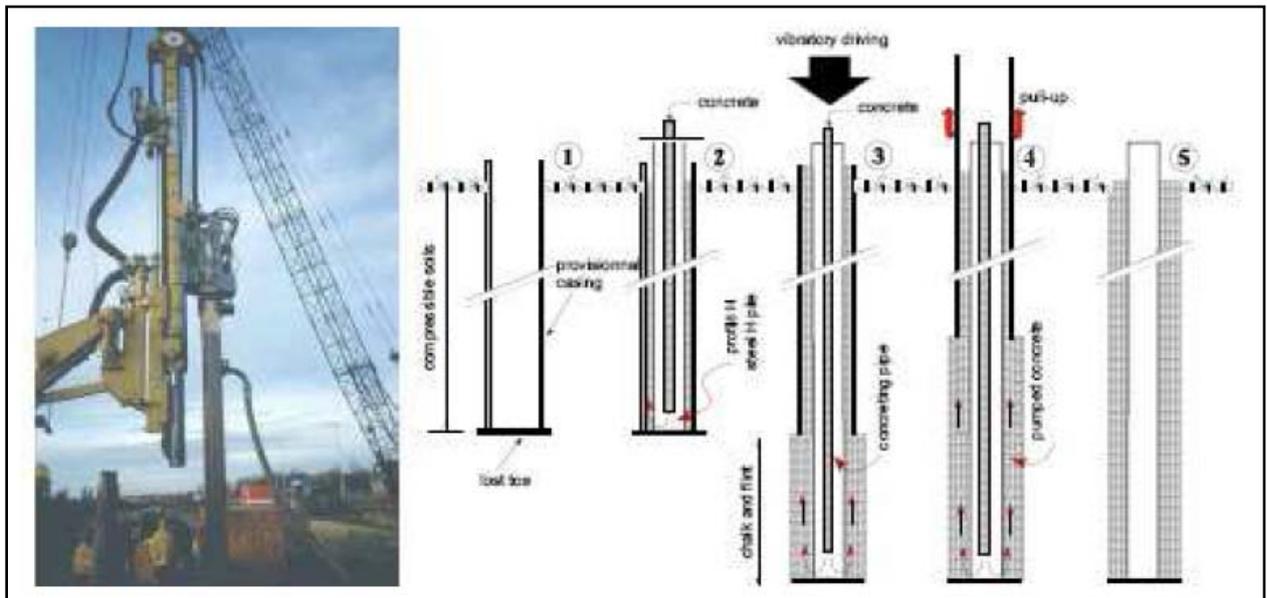


Figure 31 : Mise en place de pieu tubé par vibrofonçage

I-5-2-1-i Pieux vissés moulés

Ce procédé, qui ne s'applique pas aux sols sableux sans cohésion situés sous la nappe, en raison des éboulements importants qu'il risquerait de provoquer, consiste à faire pénétrer dans le sol, par rotation et fonçage, un outil en forme de double vis surmonté d'une colonne cannelée. Cet outil est percé dans l'axe de la colonne cannelée et muni d'un bouchon. Au sommet de la colonne est disposé un récipient rempli de béton.

L'extraction de l'outil est obtenue en tournant dans le sens inverse de celui de la pénétration.

Le béton prend en continu, sous l'effet de la gravité, la place laissée par l'outil



Figure 32 : Mise en place de pieu vissé moulé

I-5-2-2 Pieux ne refoulant pas le sol à la mise en place

I-5-2-2-a Pieux forés simples (barrette exécutée dans les mêmes conditions)

Mis en œuvre à partir d'un forage exécuté dans le sol par des moyens mécaniques tels que tarière, benne, etc. Ce procédé, qui n'utilise pas de soutènement de parois, ne s'applique que dans des sols suffisamment cohérents et situés au-dessus des nappes phréatiques.

I-5-2-2-b Pieux forés avec boue

Mis en œuvre à partir d'un forage exécuté dans le sol par des moyens mécaniques tels que tarière, benne, etc., sous protection d'une boue de forage bentonitique ou avec polymères. Le forage est rempli de béton de grande ouvrabilité sous la boue, en utilisant une colonne de bétonnage.

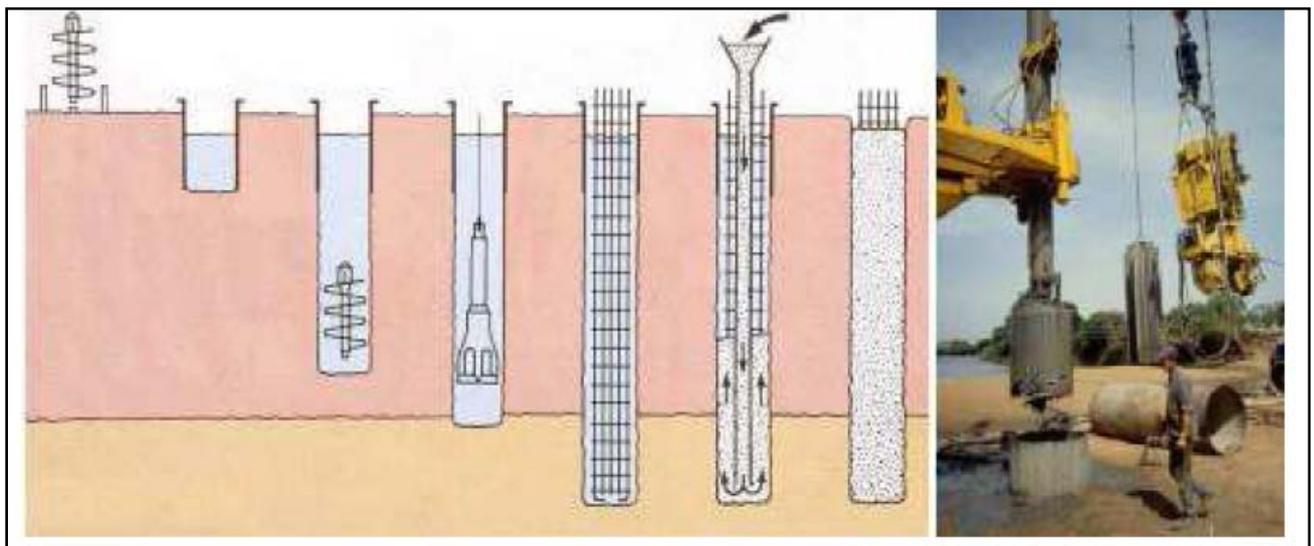


Figure 33 : Méthode de réalisation des pieux forés sous boue, vue d'un trépan et d'une tarière à Godets

I-5-2-2-c Pieux forés tubés

Mis en œuvre à partir d'un forage exécuté dans le sol par des moyens mécaniques tels que tarière, benne, etc., sous protection d'un tubage dont la base est toujours située au-dessous du fond de forage. Le tubage peut être enfoncé jusqu'à la profondeur finale par vibration ou foncé avec louvoisement au fur et à mesure de l'avancement du forage. Le forage est rempli partiellement ou totalement d'un béton de grande ouvrabilité, puis le tubage est extrait sans que le pied du tubage puisse se trouver à moins de 1 m sous le niveau du béton, sauf au niveau de la cote d'arase.

I-5-2-2-d Pieux tarières creuses

Mis en œuvre avec une tarière à axe creux, d'une longueur totale au moins égale à la profondeur des pieux à exécuter, vissée dans le sol sans extraction notable de terrain. La tarière est extraite du sol sans tourner pendant que, simultanément, du béton est injecté dans l'axe creux de la tarière, prenant la place du sol extrait

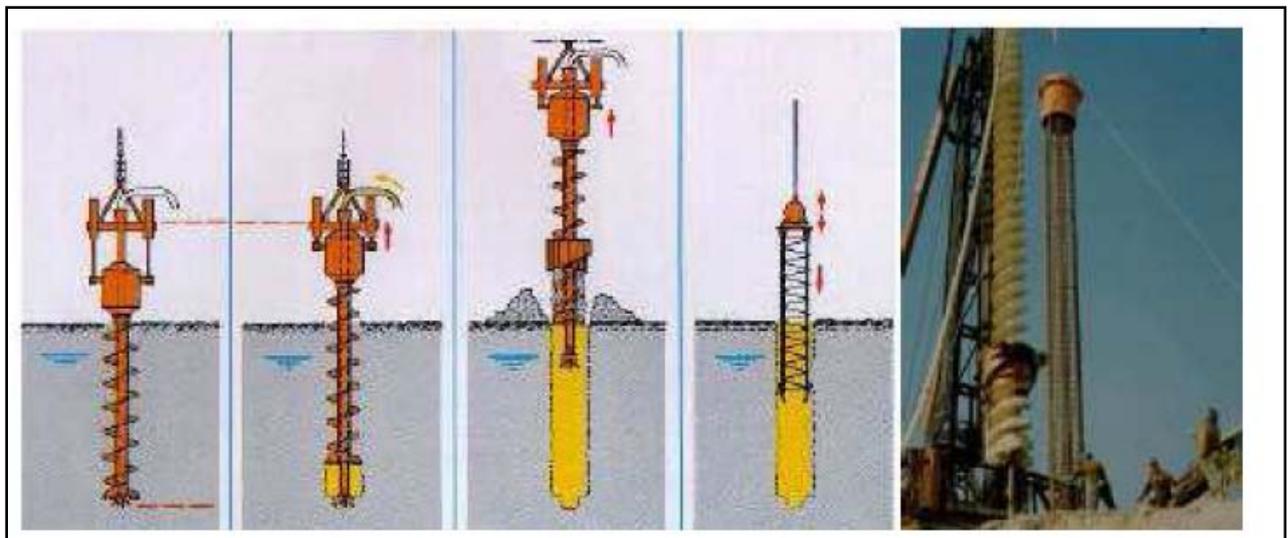


Figure 34 : Pieux formés par forage à la tarière continue

Le ferrailage est alors mis en place. Une combinaison de tarière creuse et du foré tubé, les deux éléments tournant en sens inverse, permet de réaliser un pieu dans les terrains où le sol ne se tient pas (technique appelée pieu à la tarière double).

I-5-3 Classification suivant le mode de fonctionnement

Les pieux agissent sur le sol soit par :

- **Effet de pointe** : reposant sur une couche très dure.
- **Effet de frottement latéral (Pieux flottants)** : transmettent essentiellement leurs charges par frottement latéral et ne reposent pas sur une couche résistante.
- **Effet de pointe et frottement latéral (Pieux frottant à la base)** : frottement latéral à la partie inférieure du fut qui doit s'ajouter à la résistance de pointe.

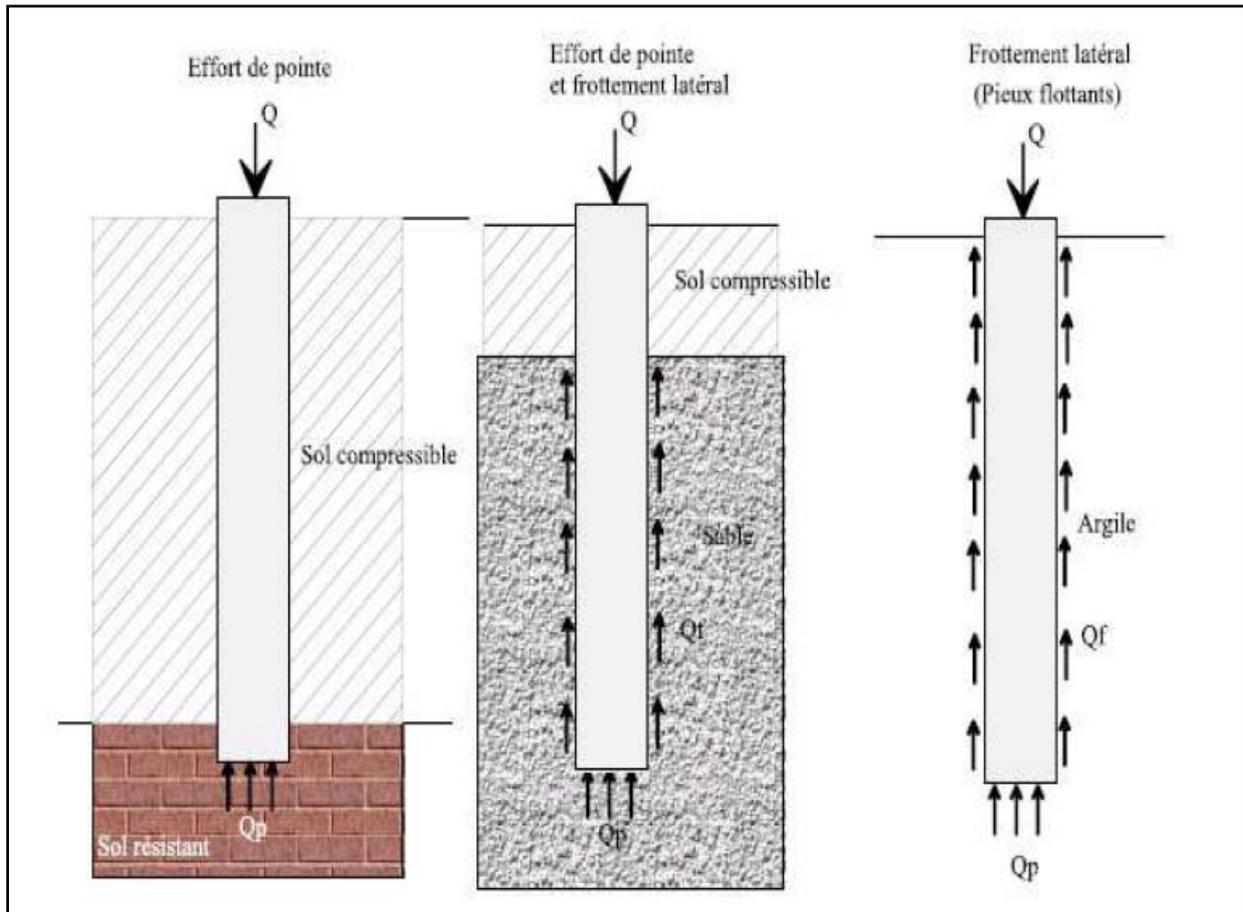


Figure 35 : Classification suivant le mode de fonctionnement

II- LES COFFRAGES DANS LE BATIMENT

II-1 Définition

Le coffrage est une structure provisoire qui permet de donner à un ouvrage en béton armé sa forme définitive.

II-2 Rôle et fonction d'un coffrage

Un coffrage quel qu'il soit, doit tenir compte de certaines dispositions constructives et doit répondre à des exigences sur le plan de la qualité, et de la sécurité.

II-2-1 Rôle

Un coffrage doit :

- mouler le béton pour lui donner sa forme définitive,
- Donner des parements propres, lisses et/ou architecturés.

II-2-2 Fonction

Ses fonctions principales sont :

- **La Rigidité**: Sa structure doit pouvoir résister à la poussée du béton frais sans se déformer afin de respecter la forme à réaliser.
- **La Stabilité** : Le coffrage doit rester en position sans risquer de se renverser.
- **La Sécurité** : Le poste de travail doit être accessible et protégé (garde corps...)
- **L'étanchéité** : La jonction entre les différents panneaux doit être soignée pour éviter les pertes de laitance.
- **La Simplicité** : Il est conçu de sorte que sa fabrication, sa mise en place, son assemblage et même le décoffrage, soient le plus simple et le plus rapide possible afin d'en réduire les coûts de mise en œuvre.
- **La Durabilité** : En fonction du nombre de réemplois, il sera de conception plus ou moins robuste.

II-3 Analyse fonctionnelle du coffrage au travers de sa conception

Le coffrage repose toujours sur les mêmes principes, une peau de coffrage, une ossature, un étaielement, un système de serrage et une sécurité adaptée.

II-3-1 La peau de coffrage

C'est la surface provisoire qui est en contact avec le béton. Elle détermine son aspect définitif (parement ordinaire, soigné ou architecturé).

Elle est constituée par :

- Des planches de 27mm,
- Du contreplaqué,
- Tôle en acier ($2 < \text{épaisseur} < 5\text{mm}$).

Son rôle :

- Assurer un **aspect de surface** conforme aux exigences,
- Assurer l'**étanchéité** aux jonctions des panneaux.

II-3-2 L'ossature du coffrage

On distingue dans sa composition :

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE REALISATION DES OUVRAGES EN BETON ARME

- **Des raidisseurs primaires** directement contact de la peau de coffrage. Leur espacement vari de 0.20m à 0.50m suivant les efforts du béton à reprendre.
- **Des raidisseurs secondaires** posés perpendiculairement aux raidisseurs primaires. Leurs espacements vari de 0.40 à 1.00m et plus suivant les efforts du béton à reprendre.

Son rôle :

Rigidifier la peau de coffrage pour résister à la poussée du béton. Assure une durabilité en fonction du nombre de réemploi.

II-3-3 Etalement de coffrage

Il est constitué de :

- Etais tire pousse (pour coffrage de hauteur > à 1.00m) espacé environ de 1.50m à 2.50m
- Basting ou chevron (pour coffrage de petite hauteur ~ 1.00m) espacé tous les 1m environ

Son rôle :

Permet d'assurer la stabilité de l'ensemble du coffrage, sa position et son réglage (verticalité, alignement) pendant le bétonnage.

II-3-4 Serrage

Le serrage est constitué de :

- Tiges filetées, écrou et plaques acier,
- Serres joints.

Son rôle :

Le serrage permet de contenir les efforts du béton transmis sur l'ensemble des raidisseurs secondaires et assure une bonne fermeture du coffrage.

II-4 Les grandes familles de coffrages

Il existe 3 grandes familles de coffrage à savoir :

- les coffrages Bois
- les coffrages Métal
- Les coffrages Mixtes (Bois + Métal)

CHAPITRE III : TECHNIQUES DE REALISATION DES OUVRAGES EN BETON ARME

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différents coffrages

MATERIAUX	AVANTAGES	INCONVENIENTS
EN BOIS (Coffrage traditionnel) 	<ul style="list-style-type: none"> - Facile à travailler et à modifier sur chantier, - Moins coûteux - coffrage souvent manu portable 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place plus longue - Le nombre de réemplois est limité : De 10 à 20 réemplois maxi
EN METAL 	<ul style="list-style-type: none"> - Très robuste, réemploi important : > à 20 réemplois. - Rapidité de mise en place - Aspect de la pièce décoffrée de bonne qualité 	<ul style="list-style-type: none"> - Cher à fabriquer - Poids plus important
MIXTE (BOIS + METAL) 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistant et robuste - s'adapte aux formes de coffrage à réaliser sur chantier 	<ul style="list-style-type: none"> - La peau de coffrage doit être renouvelée régulièrement.

II-5 Le matériel de coffrage des murs

II-5-1 les banches colisables

C'est un coffrage-outil métallique particulièrement adapté au coffrage des murs en bâtiment, car tout l'équipement est solidaire du panneau coffrant (stabilisateurs, échelle d'accès, passerelle, garde-corps, ...).

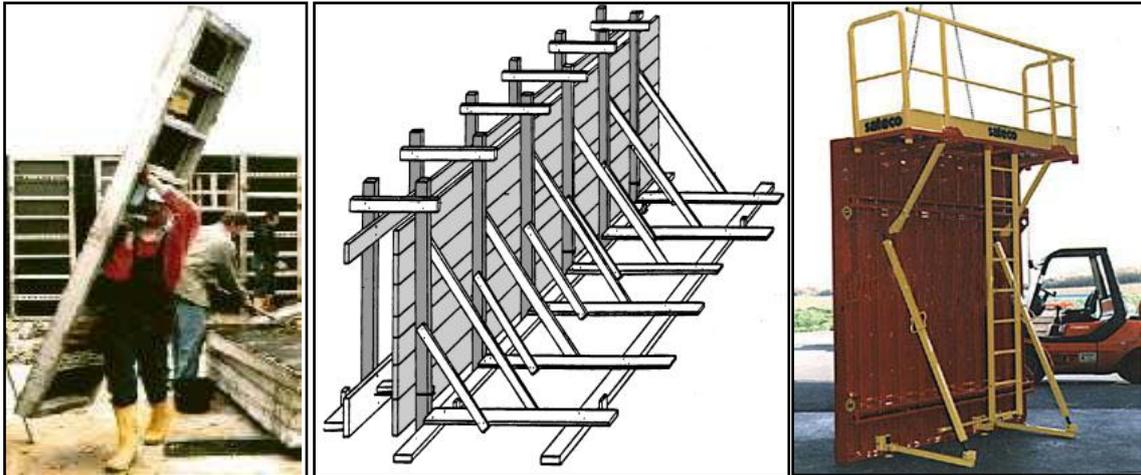


Figure 36 : Banches colisables et manuable

II-5-2 les banches manuable

Pour des surfaces de faible hauteur, et ne nécessitent pas de moyen de levage.
On pourra utiliser également des coffrages de parois traditionnels (plus contraignant dans sa mise en place)

II-5-3 les banches travaux publics

De dimensions plus variées, ces coffrages-outils sont plutôt utilisés pour les ouvrages d'art, car ils sont modulables et plus robustes.



Figure 37 : Banches travaux publics

II-6 Le matériel de coffrage des poteaux

II-6-1 les coffrages-outils métalliques

Pour les sections carrées ou rectangulaires, ils peuvent être constitués de panneaux assemblés en aile de moulin ou en deux demi coquille.
Pour les sections circulaires, il s'agit de deux demi-coquilles. Chaque moule correspond à un seul diamètre.



Figure 38 : Coffrages pour poteau circulaire et carré

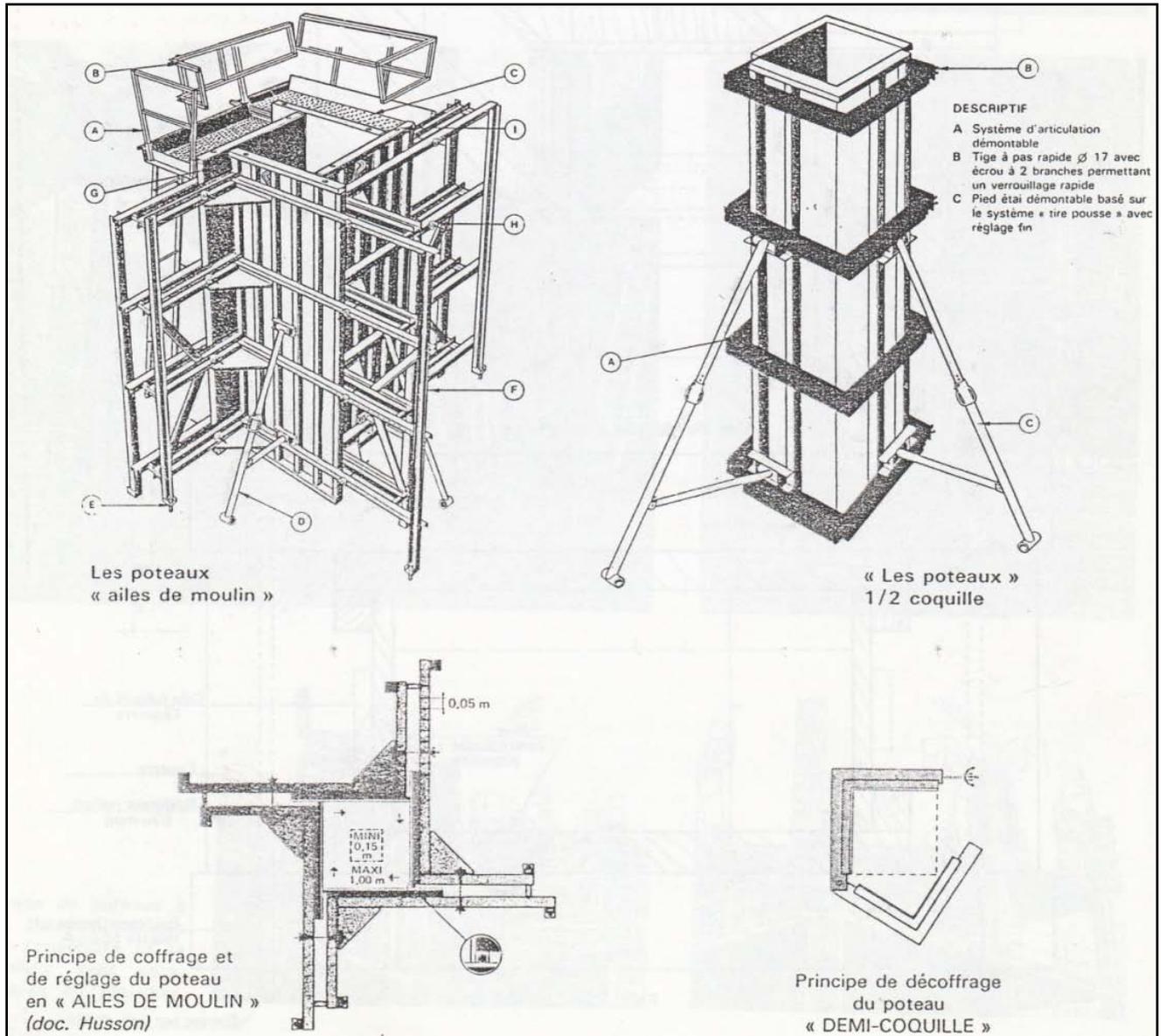


Figure 39 : coffrage en demi-coquille et en aile de moulin d'un poteau carré

II-6-2 les coffrages traditionnels

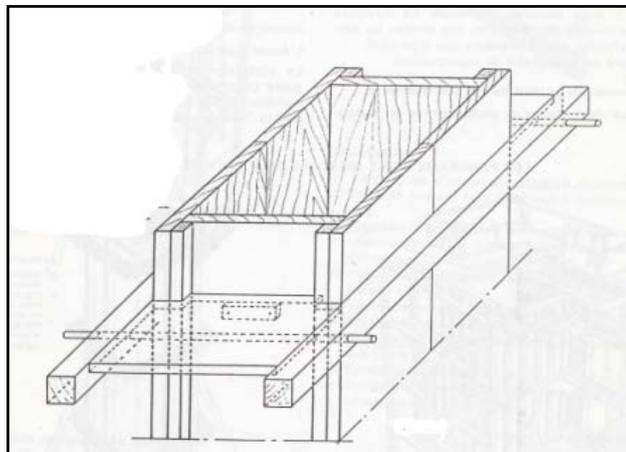


Figure 40 : Coffrage en bois pour un poteau de moyenne section

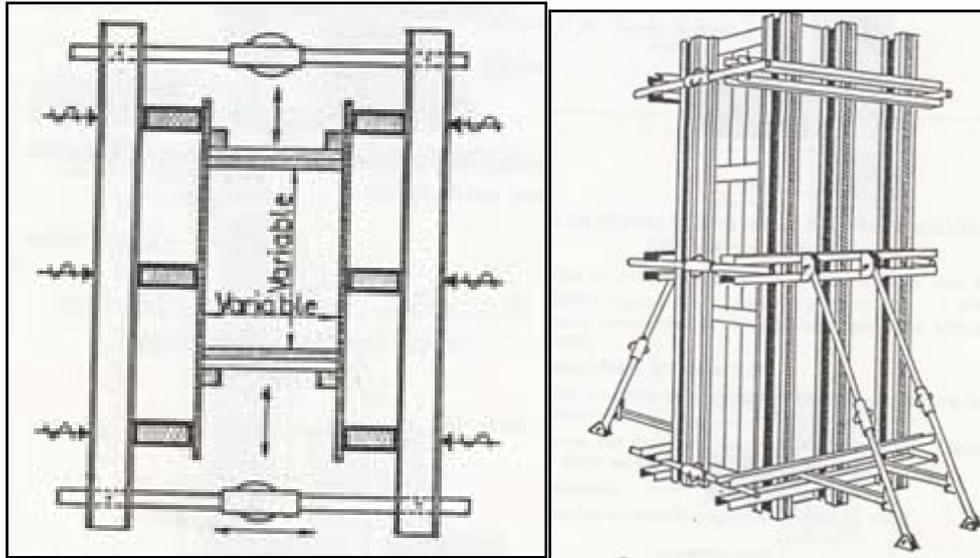


Figure 41 : Coffrage en bois pour un poteau de grande section

II-6-3 les coffrages perdus en carton

Principalement pour les sections circulaires, ils sont composés d'une bande de carton spiralée. Chaque moule correspond à un seul diamètre.

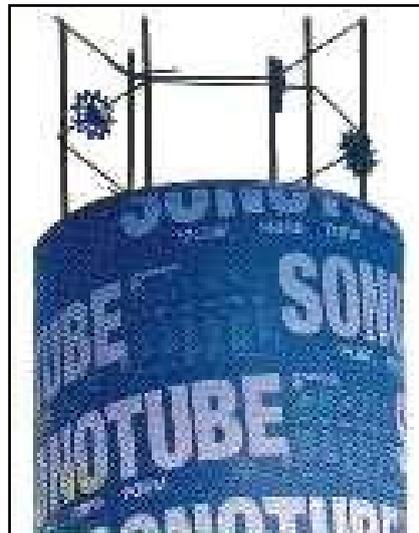




Figure 42 : Coffrage perdu en carton pour poteaux circulaires

II-7 Ferrailage des poteaux

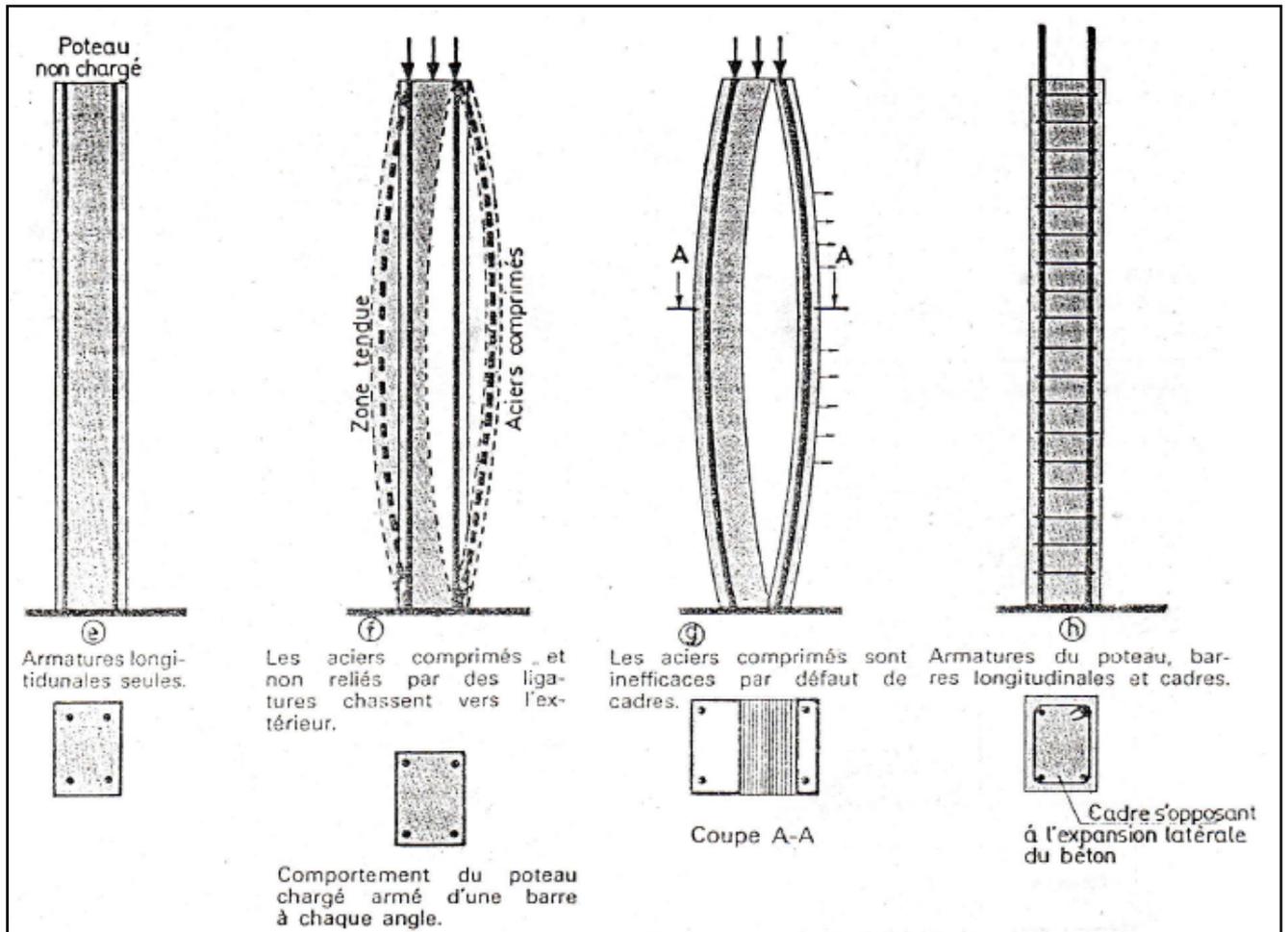


Figure 43 : position des armatures longitudinales et importance des cadres

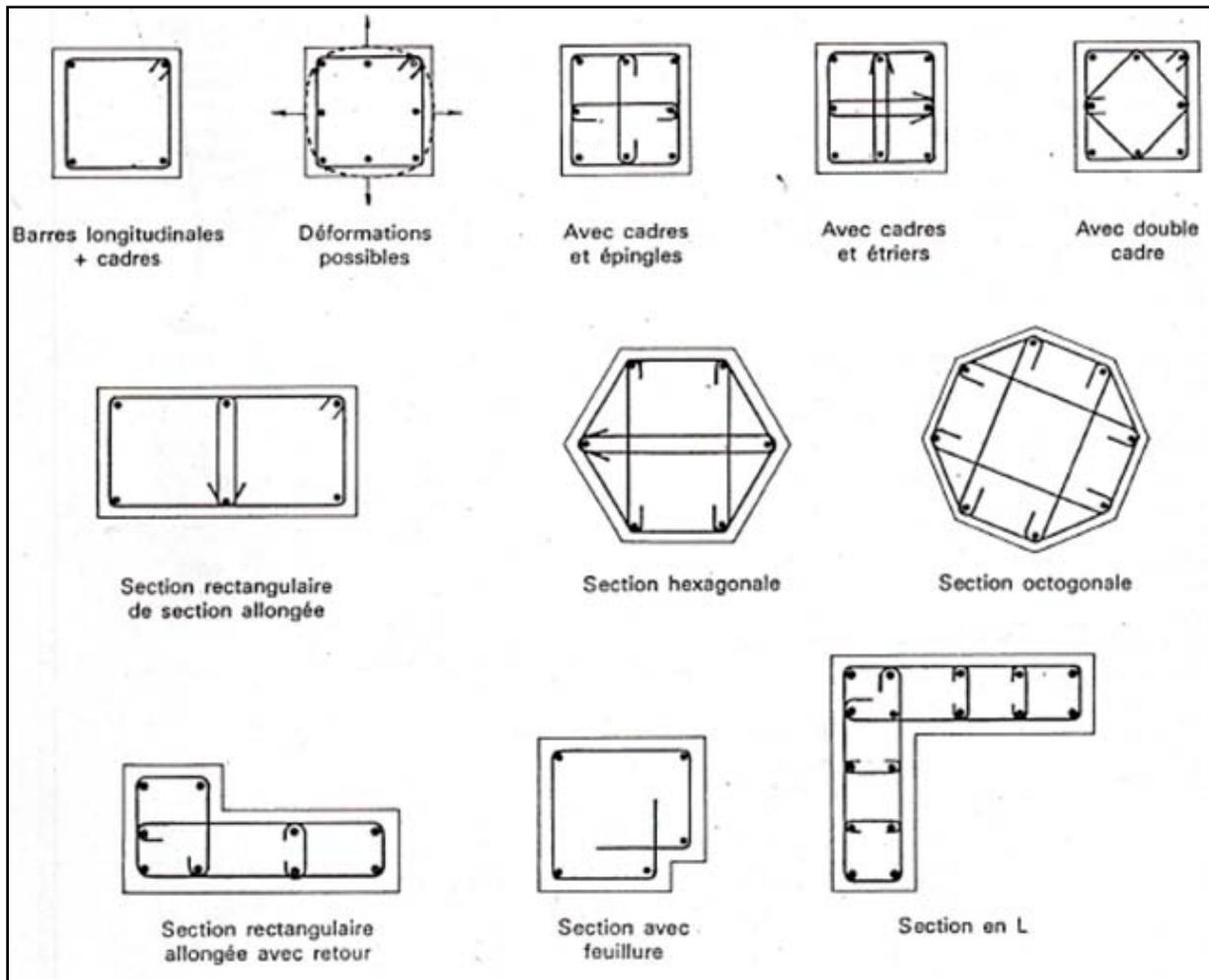


Figure 44 : Exemple de dispositions des aciers transversaux dans les poteaux (coupes transversales)

II-8 Le matériel de coffrage des poutres

II-8-1 les coffrages-outils métalliques

Ils sont essentiellement utilisés en usine pour les poutres préfabriquées.



Figure 45 : Coffrage métallique pour poutres

II-8-2 les coffrages mixtes

On les utilise principalement sur chantier pour des sections importantes.

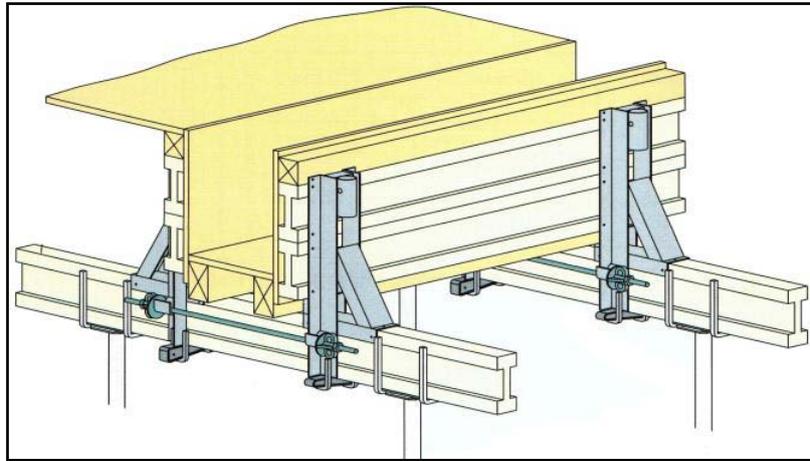


Figure 46 : Coffrage mixte pour poutres

II-8-3 les coffrages traditionnels

Sur chantier, leur utilisation est réservée aux sections courantes (linteaux, soffite 20x20).

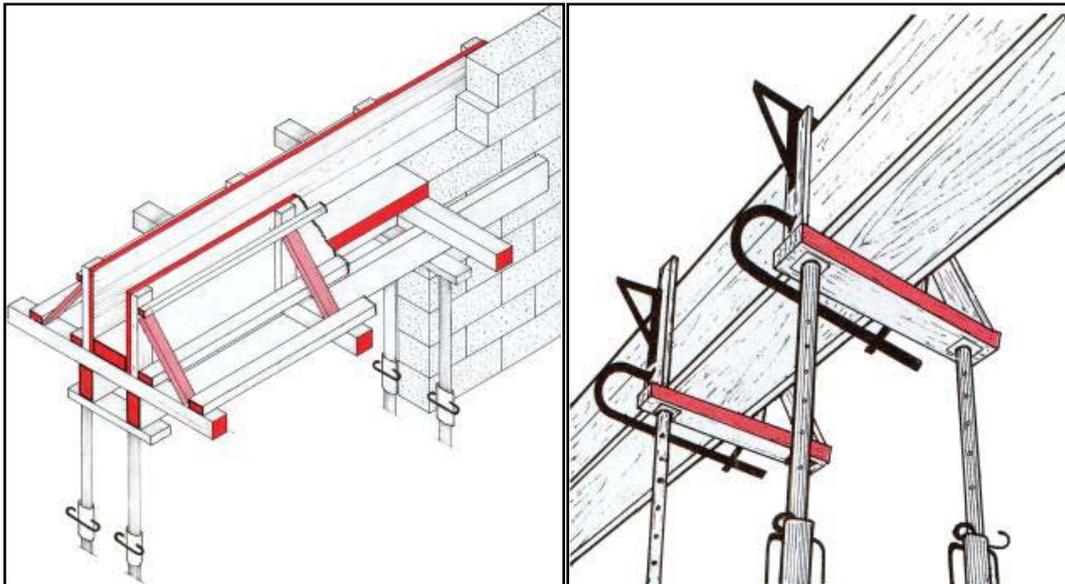


Figure 47 : Coffrage en bois pour poutres

II-9 Disposition des aciers dans les poutres

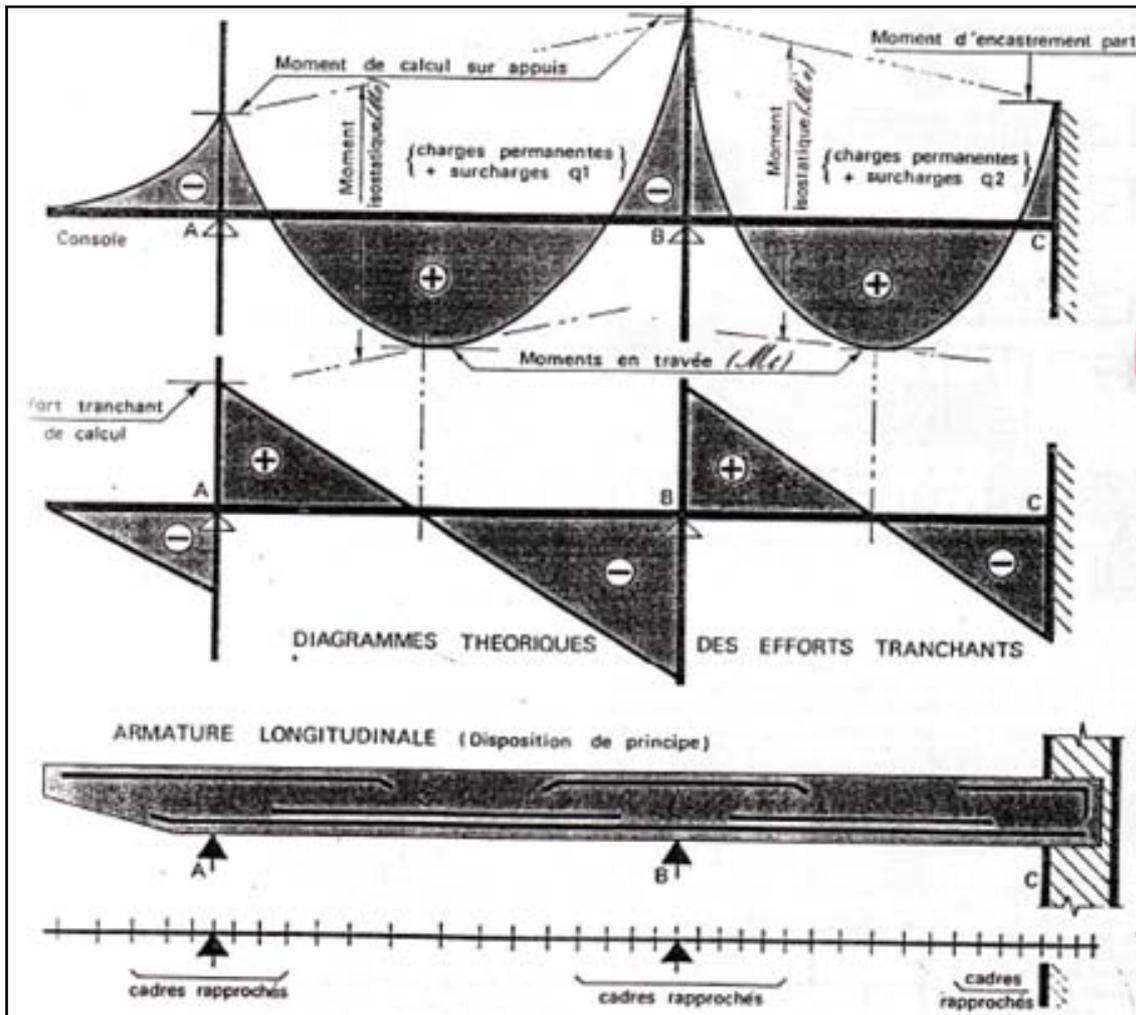


Figure 48 : Diagrammes des moments et efforts tranchants et dispositions des aciers

II-10 Plancher (corps creux)

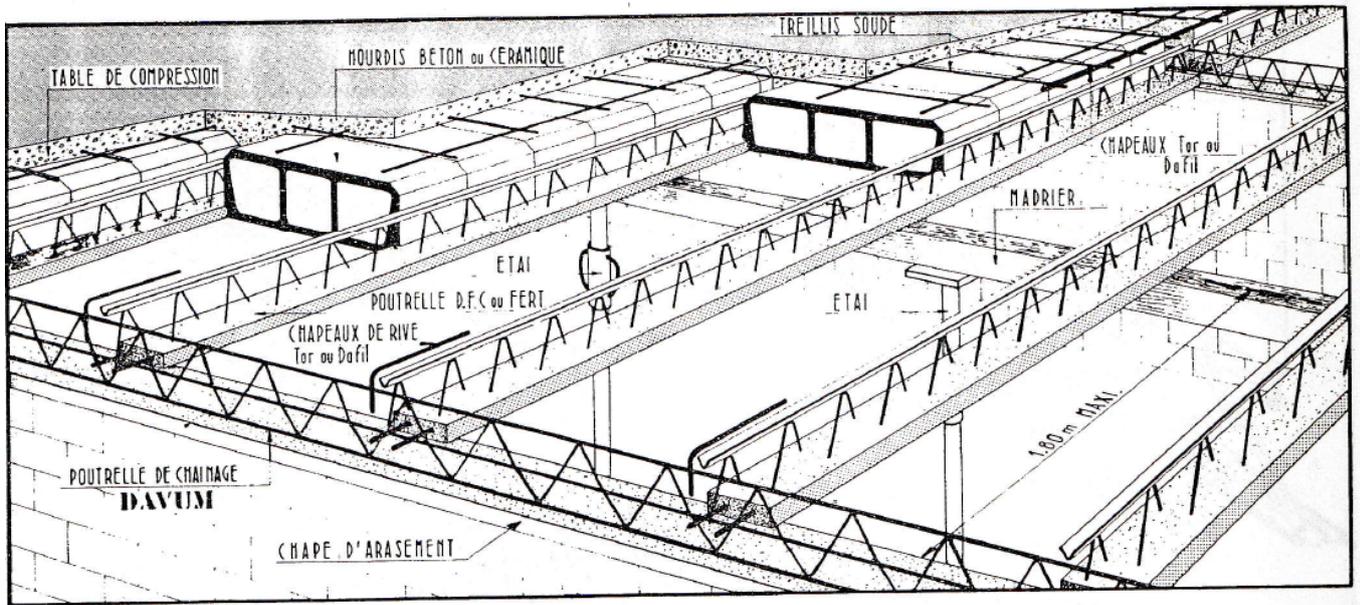


Figure 49 : Coffrage traditionnel pour plancher à corps creux

II-11 Autres types de coffrage

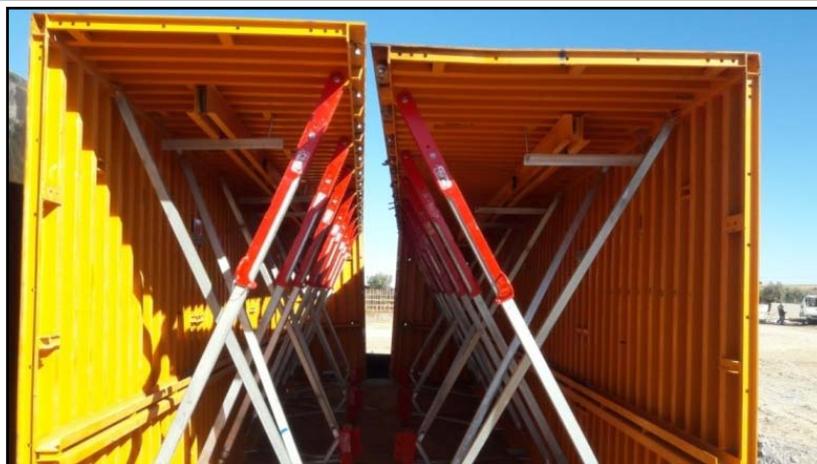
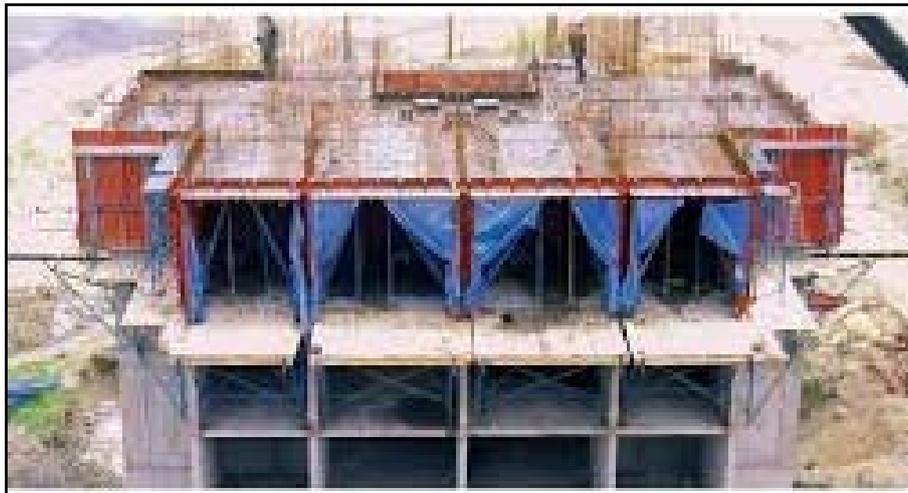


Figure 50 : Eléments métalliques pour coffrage tunnel



Figure 51 : Eléments de coffrage en bois (Coffrage tunnel)

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

I-CHOIX DE LA SOLUTION METALLIQUE

Deux traditions coexistent dans la construction :

- la solution **ossature** (ossatures bois, puis fer et acier, puis béton armé) ;
- la solution **murs** (maçonnerie, puis béton banché et panneaux porteurs).

La solution métallique présente les caractéristiques liées à la première : libération du plan et concentration des charges.

Ce premier choix fondamental, une fois arrêté, ne doit pas être oublié dans la suite de l'étude, afin de ne pas en perdre les avantages, tout en réduisant ses inconvénients.

L'**ossature** assure le contreventement sans utiliser le poids (les remplissages pouvant ne pas être permanents) ; les charges transmises ponctuellement doivent être réparties plus ou moins largement suivant la résistance du sol. Les partitions (façades, cloisons, couvertures, planchers) doivent être assurées par le second œuvre.

Ces caractères étant communs à toutes les solutions *ossatures*, passons en revue les avantages et inconvénients de la solution métallique.

II-AVANTAGES DE LA CONSTRUCTION METALLIQUE

II-1 Préfabrication

La préfabrication en usine (générale en construction métallique) conduit à un gain de temps important sur le chantier. Toutefois, ce gain ne revêt la même importance dans le planning général que si les autres parties d'ouvrage suivent un rythme analogue, ce qui implique :

- des études importantes en amont, en évitant les improvisations sur le chantier ;
- une coordination des choix et des mises au point des éléments de second œuvre et d'équipement, en relation avec l'ossature.

Il faut aussi tenir compte des délais d'approvisionnement des semi-produits sidérurgiques et de préparation du travail d'usines de préfabrication. Les conditions de transport impliquent également des choix dans les solutions tant d'ensemble que de détails (étude de la position la plus favorable des **joints de chantier**). Dans certains cas, des études de colisage (par exemple colisage maritime) devront intervenir dès le stade des études d'exécution. Ceci étant, les éléments d'ossature en acier, relativement légers et peu encombrants, se prêtent bien aux voyages à longue distance et même à l'exportation.

II-2 Légèreté

Le poids propre des ossatures métalliques intervient peu dans les calculs de résistance, mais cet avantage n'est significatif que dans la mesure où les autres parties d'ouvrage sont elles-mêmes assez économes en poids. Des solutions traditionnelles de maçonnerie lourdes et de béton pour des remplissages ne sont pas toujours très adaptées à la solution métallique. La légèreté donne un avantage certain dans les cas de sols difficiles (en évitant ou réduisant les fondations profondes), ou lorsque l'infrastructure (souvent en béton) doit subir des flexions locales, ou enfin dans le cas de grandes portées, où le poids devient l'ennemi principal.

Remarque : il ne faut pas en déduire, comme on le fait souvent trop hâtivement, que la solution métallique conduit aux grandes portées. Il faut dire seulement que, lorsque de grandes portées sont utiles, la solution métallique est généralement plus favorable.

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

II-3 Architecture

L'expression structurale est favorisée par les structures à ossature et particulièrement par celles en acier, dont la grande variété de solutions et de formes (d'ensemble et de détails) est un outil de choix pour l'architecte. Parmi les ossatures, celles en acier se caractérisent par la grande légèreté d'aspect (au point qu'il peut devenir parfois nécessaire de grossir certaines sections qui pourraient inquiéter, sans pour cela augmenter nécessairement la quantité d'acier).

II-4 Grande variété de solutions

De nombreuses solutions, tant dans les partis constructifs généraux que dans les détails sont toujours disponibles en construction métallique, certaines d'ailleurs mettant à profit l'association de l'acier avec d'autres matériaux (le béton surtout). Cette variété, qui permet une adaptation étroite aux données d'espèce du programme fonctionnel et de l'économie, se traduit immédiatement sur le plan architectural dans la mesure où la structure reste apparente ou tout au moins est signifiée dans le bâtiment terminé.

II-5 Facilités de transformations

Les ossatures métalliques se prêtent bien aux transformations :

- par la banalisation des espaces permise par la solution ossature ;
- par les possibilités de transformation de l'ossature elle-même, qui se découpe, se soude en position, non sans précautions toutefois.

Cet avantage est bien connu des industriels, dont les bâtiments constituent la grande majorité des fabrications de la construction métallique, surtout en France. Ainsi, des bâtiments entiers ont pu être récupérés, démontés, transportés à des distances importantes et remontés, puis transformés à de multiples reprises pour des usages différents.

La transformation, la réhabilitation ou la reconversion de bâtiments existants (surtout quand ils sont déjà à ossature métallique) trouvent le plus souvent la meilleure solution par l'emploi d'ossatures métalliques de **reprise en sous-œuvre** ou de réaménagements intérieur ou extérieur.

On peut noter que le coût de démolition d'un bâtiment à ossature métallique est souvent entièrement compensé par la valeur résiduelle des matériaux récupérés, ce qui est assez exceptionnel.

II-6 Faibles encombrements

Les faibles sections des ossatures en acier (dus aux caractéristiques élevées de résistance de ce matériau) présentent plusieurs intérêts :

- ouvertures maximales à la lumière du jour et aux vues, en façades et en toitures ;
- encombrement minimal à l'intérieur des locaux (on est allé jusqu'à calculer le gain en surface libre qui conduit, dans certaines situations, à un nombre appréciable de francs lourds);
- passages faciles d'un local à l'autre, jusqu'à proximité immédiate des éléments porteurs et au travers même de palées triangulées ou en cadres rigides ;

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

- passages de gaines et canalisations dans les plénums des planchers, à l'intérieur de doubles cloisons ou même de poteaux-gaines accessibles, tout en utilisant entièrement les hauteurs et épaisseurs de ces constructions pour l'économie maximale de matière et la plus grande rigidité.

III-INCONVENIENTS DE LA CONSTRUCTION METALLIQUE

Comme il est de règle, on trouve les inconvénients correspondant aux avantages de toute solution.

III-1 Préfabrication

Cette méthode implique une grande rigueur d'organisation, des études en amont (avant les fabrications, avec un certain délai avant l'arrivée sur le chantier de tout élément) importantes et soigneusement organisées, en coordination entre tous les corps d'état. Les remords du maître d'œuvre, lors des rendez-vous de chantier, sont ici à proscrire ou tout au moins doivent être mûrement pesés (il s'agit alors de transformations après construction et non plus de mises au point). Ces préoccupations, assez étrangères aux errements des chantiers traditionnels, sont communes à tous les procédés de préfabrication, mais particulièrement sensibles en charpente métallique, où l'organisation est très poussée. On trouvera naturellement plus de souplesse avec de petites entreprises locales voisines du chantier, mais aussi les inconvénients correspondants. C'est affaire de taille du chantier et de cas d'espèce.

III-2 Légèreté

Dans le cas de bâtiments élevés, les efforts de renversement dus au vent peuvent entraîner, à la base de certains poteaux, des soulèvements de valeur absolue supérieure à celle des charges pondérales minimales en raison de la légèreté des structures et des ouvrages qui les accompagnent. Pour éviter ou réduire cet inconvénient, qui peut conduire à des ouvrages coûteux, on s'efforcera de placer les têtes de palées au droit des porteurs les plus chargés. Il y aura aussi intérêt à donner à ces palées les empattements le plus larges possible ; c'est ce que préconisent par exemple les ingénieurs américains pour leurs gratte-ciel, dans la formule des structures-tubes, où les contreventements sont reportés en façade et non plus confinés dans des noyaux centraux exigus.

Il est évident que, souvent, des compromis devront être trouvés entre ces deux recommandations, qui peuvent être contradictoires.

III-3 Grande variété de solutions

Il est souvent difficile de connaître a priori, entre plusieurs solutions à un même problème, quelle sera la plus économique. Cela dépend en effet des conditions de travail particulières propres à chaque fabricant : équipement, machines, méthodes, tours de main, etc.

Il arrivera ainsi fréquemment que les offres des entreprises consultées proposent des variantes, qui risquent d'entraîner des modifications en chaîne de l'ensemble du projet, remettant en cause les études préalables et rendant difficile l'appréciation de l'intérêt réel de ces variantes.

Il sera bon, chaque fois que ce sera possible, de prévoir la possibilité de ces variantes, afin d'en tenir compte dans l'étude préalable aux appels d'offre et d'obtenir les chiffrages correspondants de la part de tous les corps d'état concernés.

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

III-4 Transformabilité

Des transformations locales, surtout celles atteignant les structures, risquent d'entraîner des changements dans le système architectural. Par exemple, la suppression de diagonales de contreventement vertical ne peut se faire sans précautions. Les changements de destination de locaux peuvent aussi changer les conditions ayant déterminé les ossatures (cas des charges d'exploitation par exemple) et leurs protections (degré de stabilité au feu requis, par exemple).

Il serait utile que l'exploitation de tout bâtiment soit soumise à un cahier des charges d'exploitation précisant les dispositions constructives et de protection, accompagnées d'un dossier de plans détaillés des structures avec leurs notes de calculs. On constate malheureusement, dans la pratique, que cela est trop peu souvent le cas.

III-5 Isolations

Les isolations phoniques et thermiques peuvent être assurées dans un bâtiment à ossature métallique, en dépit des handicaps tels que la légèreté (loi de masse) et la conductivité thermique (ossatures en façades), pourvu que des solutions particulières soient recherchées et que l'on ne s'en tienne pas systématiquement à des procédés traditionnels relativement mieux adaptés à d'autres modes de construction. Ainsi, en isolation phonique, l'absence de masse suffisante peut être compensée par des liaisons souples (rupture des ponts phoniques), pourvu que les conceptions prévues le permettent. De même, les ponts thermiques peuvent souvent être évités ; mais cela n'exclut pas inévitablement des conceptions à ossature apparente en façade, si l'importance relative de leurs conséquences en est connue et si l'on sait les pallier. Les ponts thermiques ponctuels isolés (pénétrations de barres de sections modestes) sont généralement de faible gravité du point de vue des déperditions, mais les condensations doivent être récupérées ou évitées. Des conceptions à isolation intérieure (sans inertie thermique) sont plus favorables à ce parti de structures extérieures.

Ces analyses des avantages et inconvénients doivent permettre d'orienter le choix préalable d'une ossature métallique, de manière à utiliser au maximum les avantages tout en réduisant ou palliant les inconvénients. Ce choix fait, il convient d'adapter, dès le début, l'étude de la construction tout entière à ce parti et non de chercher à comparer, sur un même projet déjà étudié, deux solutions aussi dissemblables qu'une ossature métallique et une structure en béton armé.

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

IV-PRODUITS SIDERURGIQUES

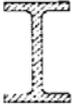
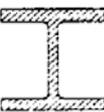
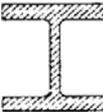
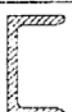
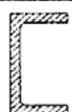
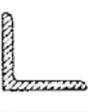
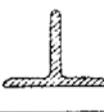
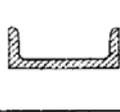
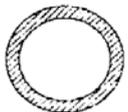
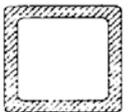
POUTRELLES CLASSIQUES	IPN		IPE	
				
	HEA		HEB	
				
	UPN		UAP	
				
LAMINÉS MARCHANDS USUELS	Cornière égale	Cornière inégale	Té égal à congé	Petit fer U
				
	Plat	Rond	Carré	
				
PRODUITS PLATS	Tôle laminée à chaud en feuille ou bobine : bande refendue à chaud ; tôle forte et plaque (tôle provenant d'un train réversible) ; tôle laminée à froid en feuille ou en bobine.			
TUBES	Tube rond	Tube carré	Tube rectangulaire	
				

Tableau 1 : Produits fournis par l'industrie sidérurgique.

IV-1 Poutrelles classiques

La section de ces poutrelles aussi appelée profilé en double T est constituée de deux ailes ou semelles dont les faces extérieures qui sont parallèles se raccordent au milieu à une âme perpendiculaire par l'intermédiaire de deux congés (de raccordement). Ces profilés sont de plusieurs types : IPN, IPE et HEA. La hauteur des profilés commerciaux est généralement comprise entre 80mm et 600mm. Ces profilés se désignent par leur appellation suivie d'un chiffre entier égal ou proche de leur hauteur en mm, ex. IPE 300 (h=290mm).

Les longueurs de livraison pour les profils de moins de 300mm sont de 8m à 18m. Pour les profils de 300mm et plus, elles varient de 8m à 22m.

IV-1-1 Profilés IPN

La face intérieure des semelles est inclinée de 14% par rapport à la face extérieure. Leurs hauteurs varient de 160 à 600mm. Ces profilés ne sont plus fabriqués.

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

IV-1-2 Profilés IP

Les faces intérieures des semelles de ces profilés sont parallèles aux faces extérieures. On distingue les profilés IPE les plus couramment utilisés, les profilés IPE-A (allégés) et les profilés IPE-O 'renforcés).

IV-1-3 Profilés HE (poutrelles européennes à larges ailes)

Ces profilés ont de très larges ailes parallèles par rapport aux IP. Ils comportent plusieurs catégories suivant l'épaisseur croissante des ailes : HEA, HEB et Hem. On fabrique maintenant des profilés HHD qui ont des épaisseurs d'âme et des semelles très grandes.

	Ailes étroites		Larges ailes			
	INP 300	IPE 300	HEA 300	HEB 300	HEM 300	HHD 320 x 451
m [kg/m]	54.2	42.2	88.3	117	238	451
A [mm ²]	6900	5380	11 300	14 900	30 300	57 400
I_y [10 ⁶ mm ⁴]	98.0	83.6	182.6	251.7	592.0	1492
I_z [10 ⁶ mm ⁴]	4.51	6.04	63.1	85.6	194.0	406.1

Figure 1 : Exemple de profilés en double T.

Utilisation

Les profilés IPN et IPE sont utilisés principalement comme éléments fléchis (poutres de plancher, pannes de toitures) car leur moment d'inertie I_y est grand par rapport au moment d'inertie I_z .

Les profilés en H sont surtout utilisés comme éléments comprimés et fléchis à la fois (poteaux) car le rapport entre les moments d'inertie est moins défavorable qu'avec les IP. Ils peuvent être aussi utilisés comme éléments fléchis.

IV-1-4 Les Profilés en U

Ils sont composés d'une âme et de deux ailes raccordées à l'âme à une extrémité. Ils sont de deux types : les UPN qui ne sont plus fabriqués et les UAP. Leur hauteur est comprise entre 80mm et 300mm. Ils se désignent par leur appellation suivie d'un chiffre entier donnant la hauteur de leur section : UAP 300, UPN 100.

Les faces intérieures des ailes des UPN sont inclinées de 8% par rapport aux faces extérieures tandis que les ailes des UAP ont des faces parallèles.

Les profilés UAP sont utilisés comme pannes de toiture, lisse de bardage, barres de contreventement, éléments de poutres et poteaux à treillis.

	UNP 300	UAP 300
m [kg/m]	46.2	42.2
A [mm ²]	5880	5860
I_y [10 ⁶ mm ⁴]	80.03	81.7
I_z [10 ⁶ mm ⁴]	4.95	5.62

Figure 2 : Exemples de profilés U.

IV-2 Les laminés marchands

IV-2-1 Les cornières

Se sont des laminés à deux branches perpendiculaires. Elles se désignent par la largeur des deux ailes et leur épaisseur. Les cornières sont de deux types :

- A branches ou à ailes égales
- A branches ou à ailes inégales

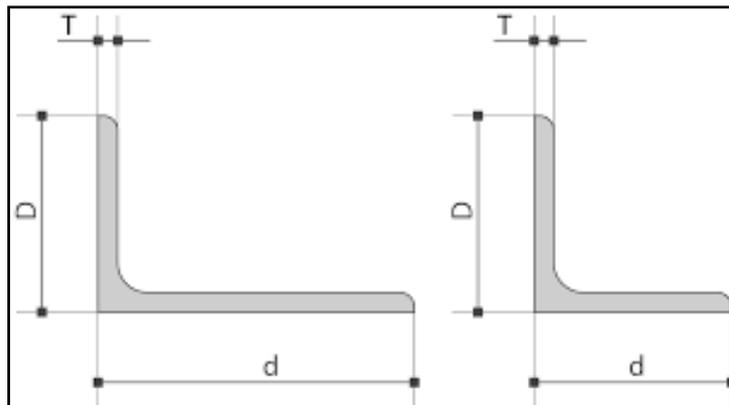


Figure 3 : Exemples de cornières.

Les cornières sont utilisées généralement comme :

- Barres de poutres ou fermes à treillis, poteaux à treillis,
- Eléments constructifs comme les supports d'assemblage,
- Eléments de liaison dans les anciennes constructions rivées.

IV-2-1 Autres produits

IV-2-1-1 Demi-poutrelles

Ce sont des profils IP ou HE coupés dans l'âme au milieu de celle-ci ($h/2$). Ces demi-profilés sont parfois utilisés comme membrures de poutres à treillis ou éléments de poteaux composés.

IV-2-1-2 Profilés spéciaux

Ils comportent un très grand nombre de formes et de dimensions et sont utilisés dans des domaines très divers. Ils sont le plus souvent de faible section et comprennent :

- Les équerres à ailes égales ou à ailes inégales.
- Les Tés à angles vifs à ailes égales ou à ailes inégales.

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

IV-2-1-3 Les ronds

Ils ont une section circulaire et se désignent par le diamètre de cette section. Ils peuvent être utilisés comme barres de treillis, de contreventement, tirants.

IV-3 Les tubes

Ceux-ci comprennent les profils creux ronds dont les diamètres varient de 21.3mm à 406.4mm, les profils creux carrés dont la dimension C extérieure varie de 22mm à 300mm et les profils creux rectangulaires dont les dimensions varient de 50x25 à 400x250mm.

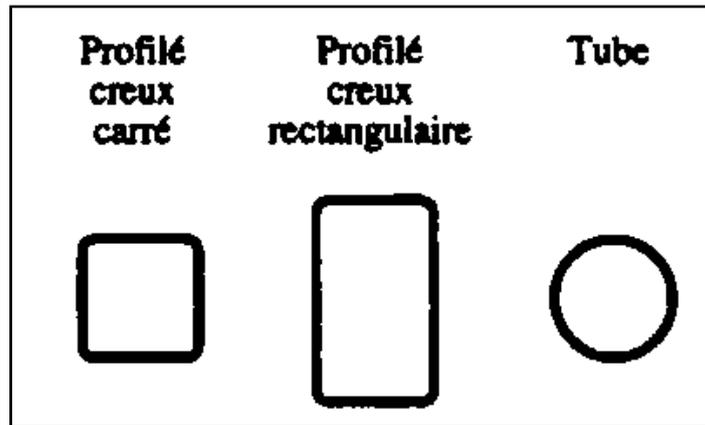


Figure 4 : Exemples de profilés tubulaires.

V-CONSTRUCTION MIXTE

La combinaison la plus importante et la plus fréquente de matériaux de construction que l'on rencontre est celle qui concerne l'acier et le béton avec des applications dans les bâtiments commerciaux à étages multiples, les usines et les ponts. Dans les systèmes structuraux, l'acier et le béton peuvent être utilisés de manière composée, par exemple des noyaux de béton entourés par des profils creux en acier, aussi bien que comme structures mixtes, dans lesquelles les éléments en acier et en béton agissent en commun de manière mixte.

Ces deux matériaux, essentiellement différents, sont complètement compatibles et complémentaires vis à vis l'un de l'autre. Ils ont le même coefficient de dilatation thermique et sont une combinaison idéale pour la résistance, le béton résistant de manière efficace à la compression et l'acier à la traction. Le béton assure également une protection contre la corrosion et une isolation thermique de l'acier à température élevée, en plus il peut raidir les sections élancées en acier vis à vis du flambement et du déversement.

Dans les bâtiments à étages multiples, l'ossature en acier est couramment utilisée de manière conjointe avec du béton ; par exemple des poutres en acier avec des dalles de planchers en béton. Cette application est également utilisée pour les ponts routiers où l'on préfère normalement les dalles en béton. Le critère suivant lequel les éléments ou parties de structure de bâtiment devraient être réalisés entièrement en acier ou en béton armé ou mixte dépend des circonstances. Il est un fait néanmoins, que les ingénieurs conçoivent de plus en plus de systèmes de constructions mixtes et constructions combinées en acier et en béton armé de manière à produire des structures plus efficaces en comparaison des conceptions où l'on utilise les matériaux de manière isolée.

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

Les bâtiments constitués d'éléments en acier et d'éléments mixtes ont connu un regain d'intérêt pendant les années 80, avec en conséquence, une profusion de nouveaux concepts de constructions et de dispositions constructives.

Si l'on considère uniquement des éléments mixtes simples pris de manière isolée, tels que des poutres isolées, des poteaux ou des dalles, nous comprenons que, quoiqu'ils soient de grande qualité et soient très résistants, ils sont dans beaucoup de cas onéreux. En particulier dans les bâtiments où les poteaux sont faiblement espacés, les poutres de planchers ont des portées bien inférieures à 9 m et les chargements sont faibles. D'un autre côté, les systèmes de constructions avec des planchers mixtes sont largement compétitifs si les portées augmentent jusqu'à 12, 15 et même 20 m. Évidemment, il existe une demande pour des bâtiments où les poteaux sont plus espacés soit pour créer des volumes plus ouverts ou pour offrir une plus grande flexibilité dans l'aménagement des bureaux.

VI-Eléments mixtes

VI-1 Poutres mixtes

La figure 5 présente un exemple d'utilisation de différents profils (sections) et différents types de poutres (profilés laminés ou profilés reconstitués soudés) associées avec du béton coulé sur chantier.

A la place d'une dalle en béton coulée sur chantier, il est possible d'utiliser des dalles préfabriquées en béton ou des pièces de planchers telles que présentées sur la figure 6.

Cependant il convient de prévoir des dispositions constructives et des pratiques de montage parfaitement étudiées pour assurer un recouvrement adéquat des connecteurs. Un tel système structural est apparu sur le marché au début des années soixante. Uniquement en Allemagne plus de 100 parcs de stationnement pour voitures, Universités, écoles et bâtiments de bureaux ont été construits de cette manière. L'utilisation d'éléments préfabriqués de planchers réduit les opérations de montage sur le chantier et évite les manipulations. Les éléments sont eux-mêmes coulés en atelier sur des coffrages en acier qui permettent d'assurer une grande qualité et des tolérances très serrées (strictes).

La figure 7 montre une poutre mixte partiellement enrobée dont le volume situé entre les semelles est rempli de béton. Ce type de section mixte est souvent utilisé de nos jours dans certaines régions d'Europe de manière à rencontrer les impositions de résistance à l'incendie sans mesures de protection supplémentaires. La face inférieure de la semelle reste non protégée.

Néanmoins dans le cas des bâtiments commerciaux et industriels, la pratique courante est de réaliser les planchers en utilisant des tôles profilées en acier pourvues de bossages ou de formes spéciales nécessaires pour obtenir un comportement mixte. C'est un moyen très économique pour accélérer le montage et est une partie importante des systèmes de construction modernes. Les tôles profilées à nervures rentrantes de forme trapézoïdales sont utilisées de manière courante.

VI-2 Connexion

Des connecteurs fonctionnant de manière mécanique sont utilisés pour développer le comportement mixte entre la poutre en acier et le béton. Cette connexion est essentiellement

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

prévue pour résister au cisaillement horizontal et est appelée « connexion au cisaillement » (connexion en plus simple).

Les connecteurs doivent réaliser les conditions suivantes :

- transmettre le cisaillement directement par leur base,
- créer une liaison en traction dans le béton,
- être économiques à fabriquer et à fixer.

Des connecteurs cloués au pistolet tels que présentés sur la figure 10, sont employés de manière alternative lorsque des tôles profilées en acier sont utilisées et que la puissance électrique nécessaire n'est pas disponible sur le chantier. Ces connecteurs ont pour avantages d'utiliser des pistolets spécifiques à cartouches au lieu de l'équipement spécial nécessaire pour réaliser le soudage complexe aux travers des tôles.

Lors de l'utilisation d'éléments de dalles préfabriqués en béton, on a quelquefois utilisé des boulons à haute résistance agissant par frottement. On applique cela, par exemple, pour la réalisation des parcs de stationnement temporaires car la connexion pouvait être retirée ultérieurement. Toutefois tous ces parcs de stationnement temporaire sont utilisés de manière permanente à l'heure actuelle.

VI-3 Poteaux mixtes

L'on utilise principalement trois types de poteaux mixtes (voir figure 11) :

- les poteaux enrobés de béton (a)
- les tubes en acier remplis de béton (c et d) et
- les poteaux avec profilés laminés partiellement enrobés de béton (b).

L'interaction complète doit être assurée au moyen de liaisons mécaniques. Celles-ci doivent être prévues au minimum aux extrémités du poteau et aux endroits où agissent les charges ou les efforts. Il convient de les distribuer sur l'ensemble de la section droite. De telles liaisons peuvent être réalisées avec des goujons, des platines situées au sommet et à la base, des crochets adéquats, des goussets verticaux, des têtes de cisaillement ou d'autres moyens structuraux.

L'avantage des poteaux enrobés de béton est de réaliser les exigences de résistance au feu sans moyens supplémentaires de protection. En plus ils peuvent être aisément renforcés par des armatures placées dans l'épaisseur du béton d'enrobage. Par contre, ils ne permettent pas d'accéder facilement à la surface en acier de l'ossature afin de réaliser les assemblages ultérieurs et leur aspect de surface n'est pas très attractif. Dans le cas des poteaux enrobés préfabriqués, les sections en acier sont fabriquées en atelier et intègrent toutes les soudures, platines et tous autres éléments nécessaires à l'assemblage.

Des profils creux remplis de béton sont aussi utilisés. Ils sont remplis de béton, généralement à haute résistance, avec une résistance minimum sur cube de 45 à 55 MPa. Ces résistances sont néanmoins bien en deçà de celles qui ont été développées ces derniers temps en Amérique du nord.

VI-4 Profilés en acier partiellement enrobés

La technique des profilés en acier partiellement enrobés, aussi bien pour les poutres que pour les poteaux, se développent de manière intéressante depuis ces 10 dernières années. La

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

caractéristique la plus importante de ces profilés partiellement enrobés est leurs performances naturelles de résistance à l'incendie. Cela est dû au fait que la partie en béton protège les parties internes en acier, l'acier de construction aussi bien que les armatures, d'un échauffement trop rapide. La figure 12 montre deux poutres mixtes partiellement enrobées, comparées à une poutre avec protection conventionnelle faite de panneaux.

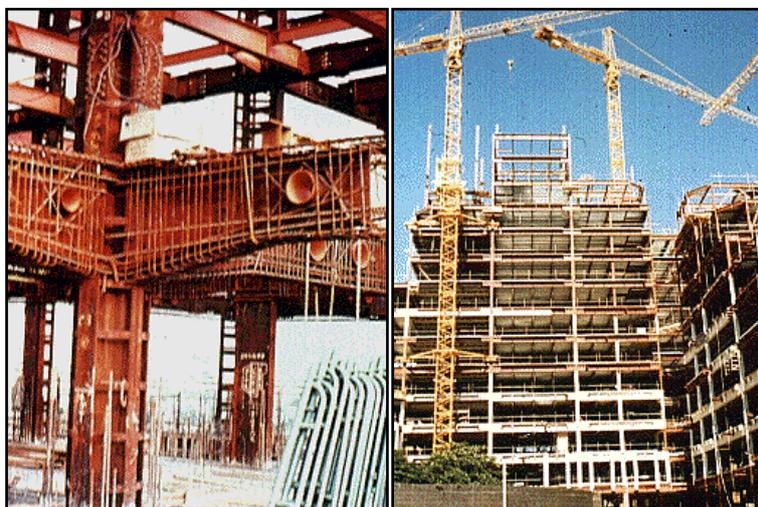
En plus d'une amélioration de la résistance à l'incendie, le fossettage et le voilement de l'âme en acier est évité et la résistance de la poutre en acier vis à vis du déversement est grandement améliorée. Ces poutres sont aussi plus rigides sous moment de flexion et sous le cisaillement vertical, il en résulte des flèches finales réduites.

VI-5 Planchers mixtes

Dans la réalisation des planchers, la dalle en béton armé est remplacée de plus en plus par une dalle mixte à base de tôles profilées en acier, telles que présentées sur la figure 13. Les tôles profilées en acier modernes ont des bossages et embossages supplémentaires et agissent à la fois comme coffrage permanent pendant la phase de bétonnage et comme armature de traction après que le béton ait durci. Au stade final, la dalle se comporte comme un élément mixte constitué de la tôle profilée en acier et d'une partie supérieure en béton liaisonnés de manière telle que les efforts de cisaillement horizontaux soient transmis à l'interface entre l'acier et le béton. Le glissement (déplacement relatif) à l'interface doit être totalement ou du moins partiellement évité. De même manière, la désolidarisation verticale entre la tôle profilée en acier et le béton de recouvrement doit être évitée.

Le comportement mixte nécessaire peut être réalisé de plusieurs manières par les méthodes suivantes :

- liaison mécanique assurée par des déformations du profil (bossages ou embossages) (figure 14) ;
- liaison par frottement pour des profils à nervures rentrantes (figure 15) ;
- par la fixation d'ancrages d'extrémités réalisés au moyen de goujons soudés ou de connecteurs cloués au pistolet (figure 16);
- ancrages d'extrémités par déformation des nervures aux extrémités de la tôle (figure 16).



CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

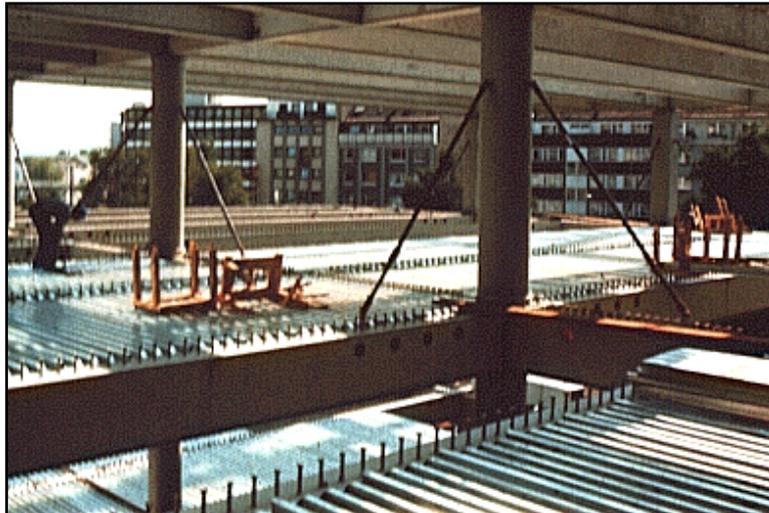


Figure 05 : exemple de constructions mixtes.

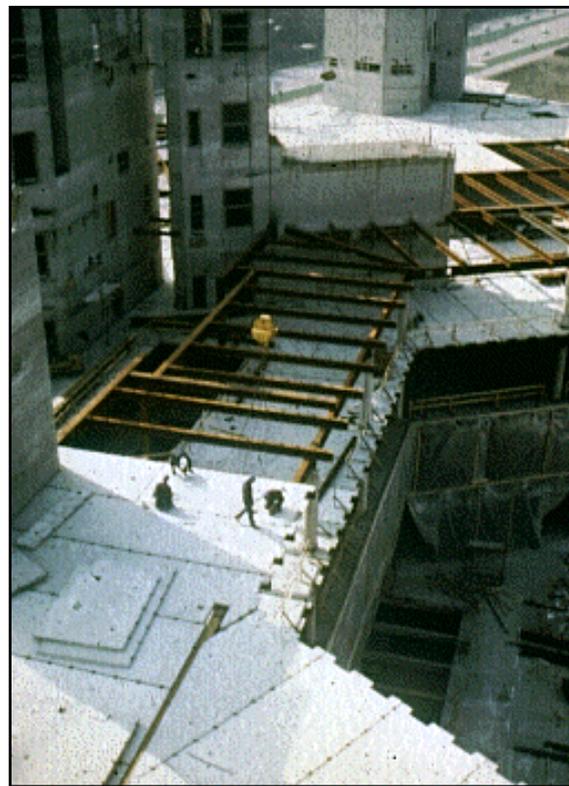


Figure 06 : exemple de plancher préfabriqué.

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

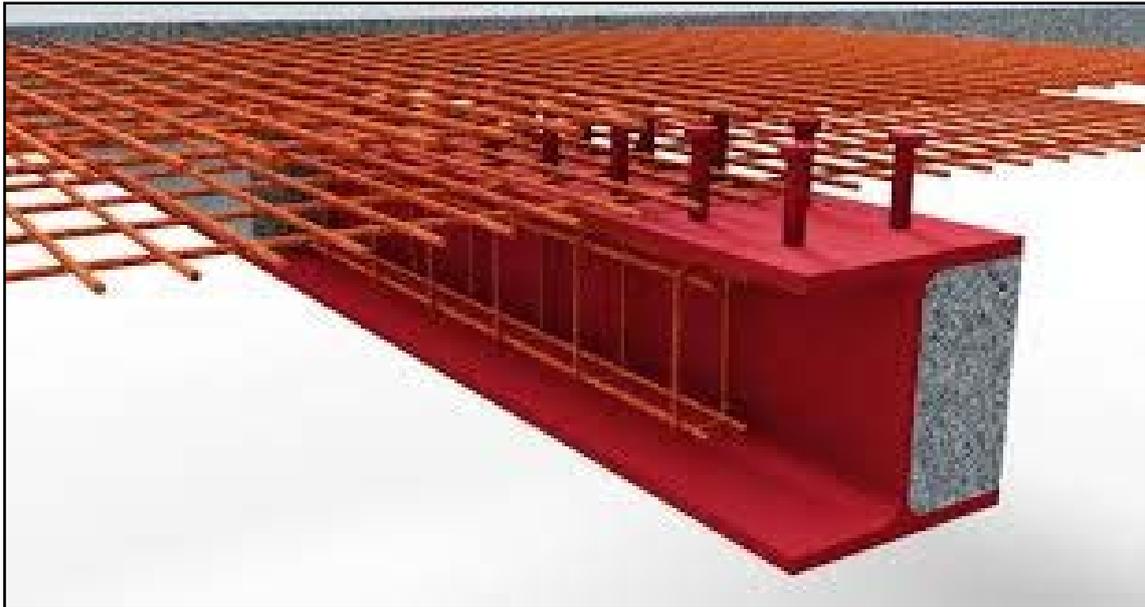


Figure 07 : exemple d'une poutre mixte partiellement enrobée.

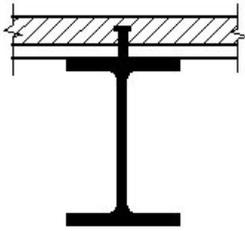
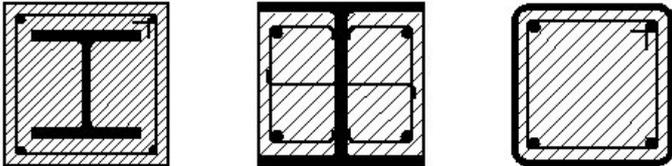
Composite girder		Steel-beam composite slab or RC-slab
Composite column		Steel profiles embedded in or filled with concrete
Composite slab		Holorib [®] sheeting + concrete

Figure 08 : éléments mixtes (poteaux, poutres, planchers).

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

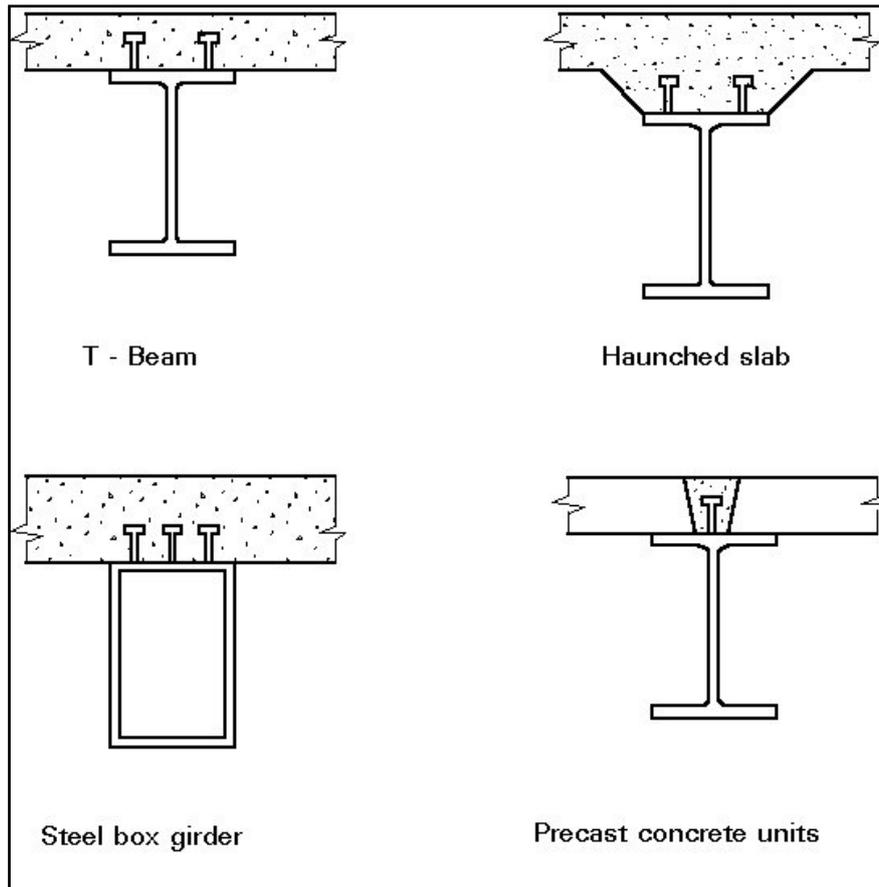


Figure 09 : différentes sections de poutres mixtes coulées in situ.

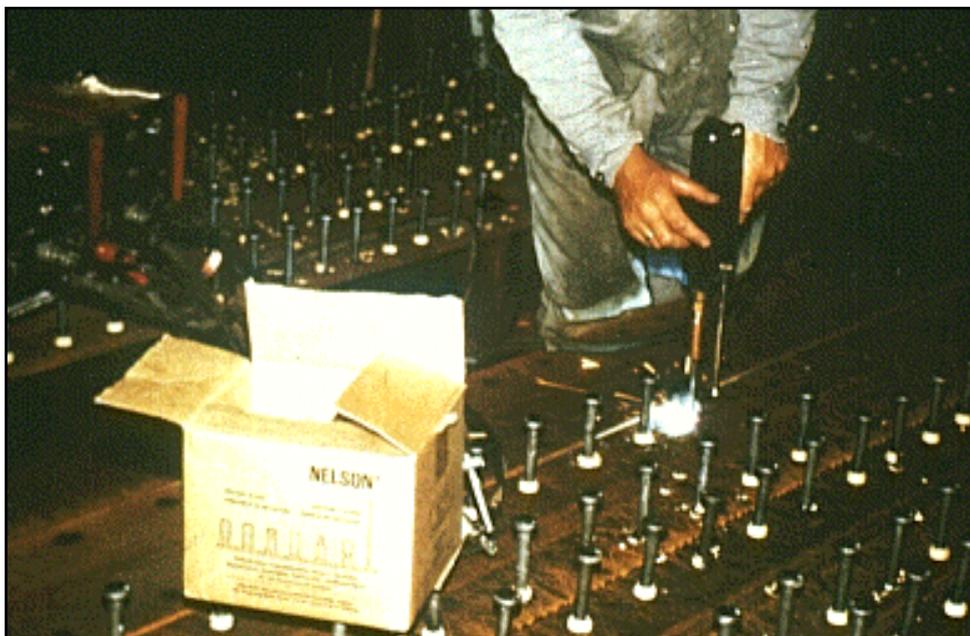


Figure 10 : exemple de mise en place de goujons sur des poutres en atelier.

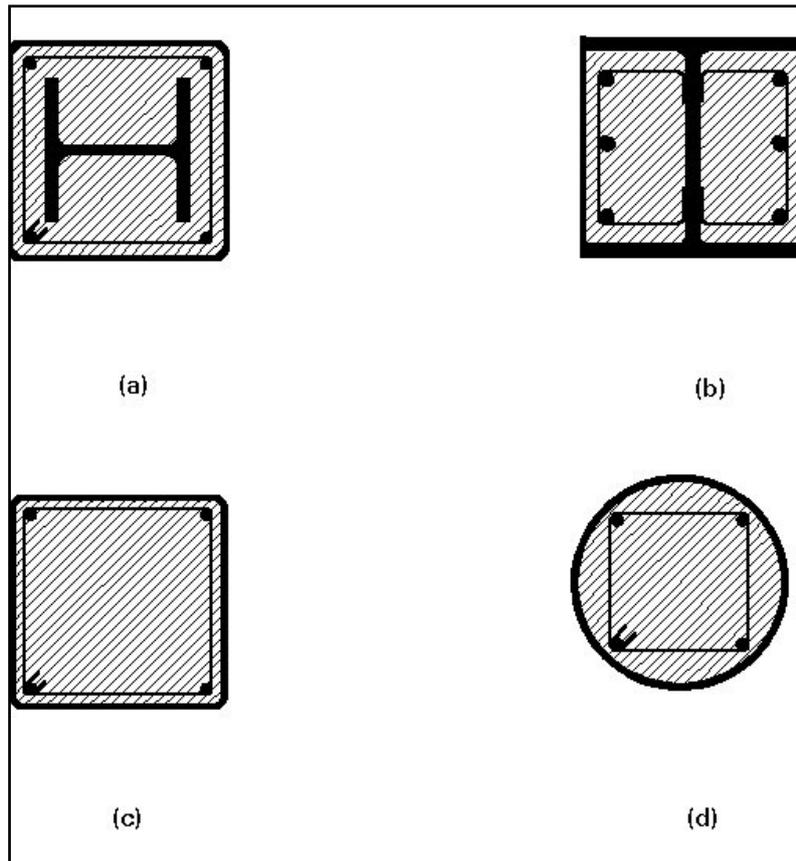


Figure 11 : différentes configurations des poteaux mixtes.

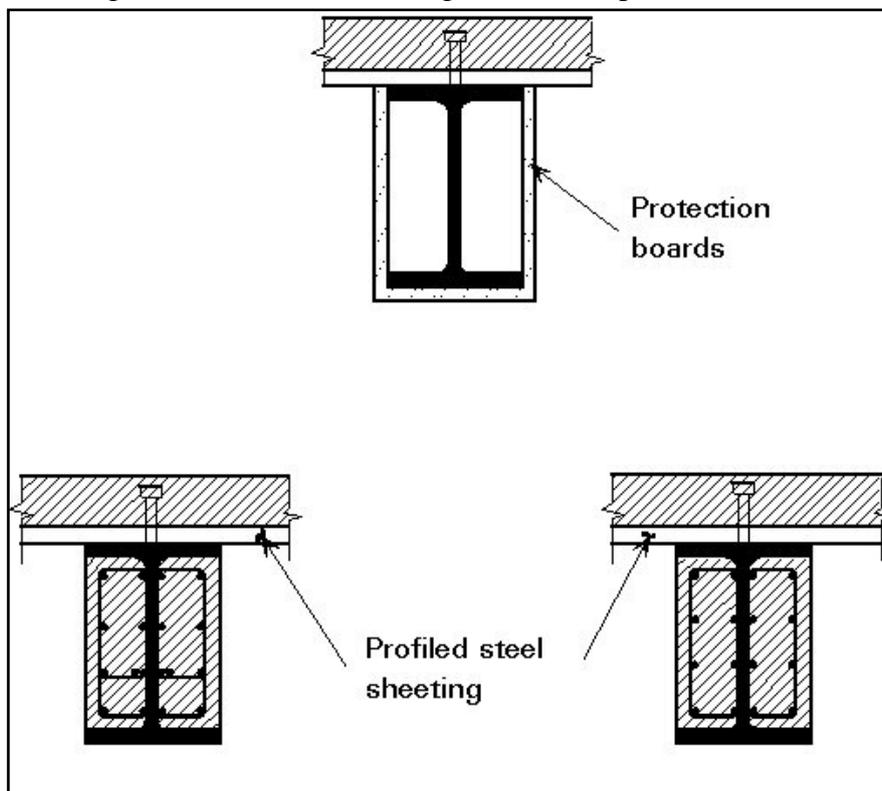


Figure 12 : poutres mixtes partiellement enrobées de béton (figures de bas) et poutres mixtes avec protection conventionnelle faite de panneaux (figure de haut).

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

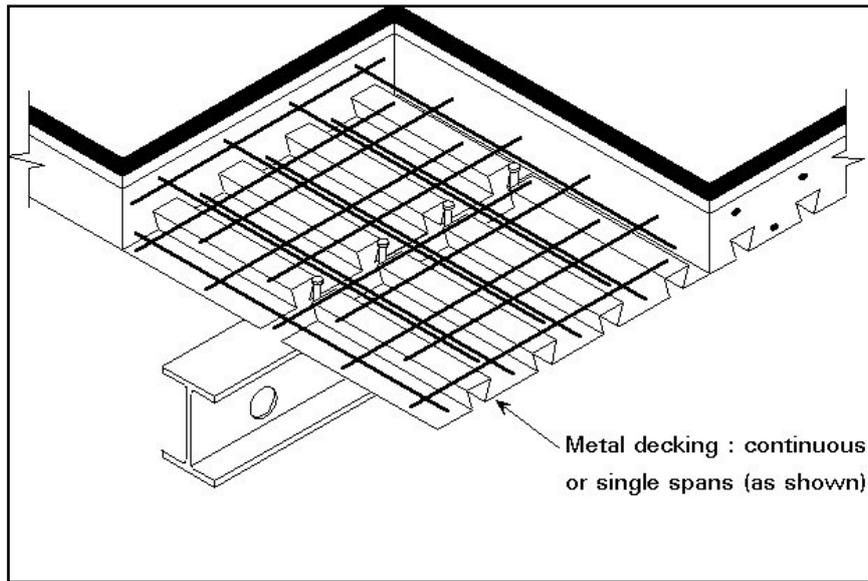


Figure 13 : dalle mixte à base de tôle profil en acier.

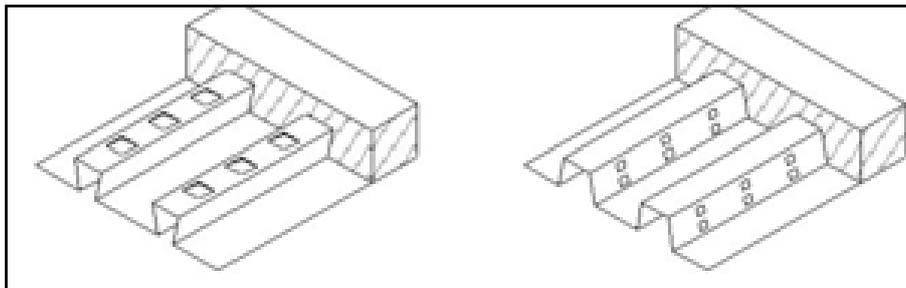


Figure 14 : liaison mécanique (tôle-béton) assurée par des déformations du profil (bossages ou embossages).

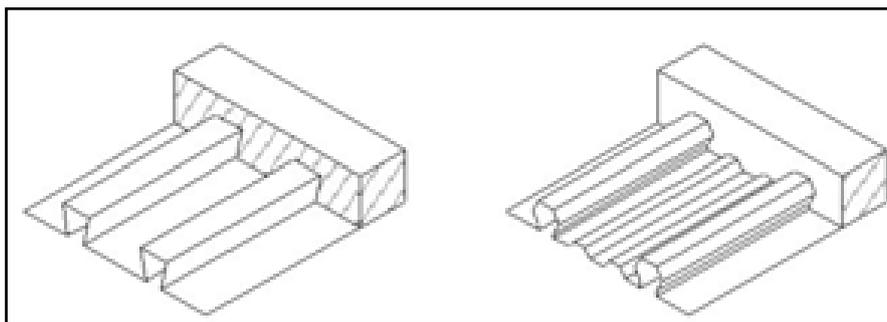


Figure 15 : liaison par frottement pour des profils à nervures rentrantes.

CHAPITRE IV : OUVRAGES METALLIQUES ET MIXTES

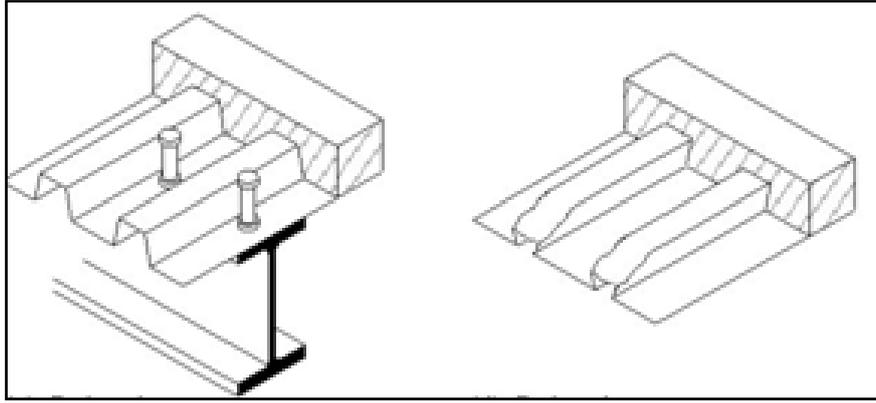


Figure 16 : liaison par la fixation d'ancrages réalisés au moyen de goujons soudés ou de connecteurs cloués au pistolet (illustration de gauche). Ancrages d'extrémités par déformation des nervures aux extrémités de la tôle (illustration de droite).

VI-ASSEMBLAGE

VI-1 Définition Et Rôle D'un Assemblage

La caractéristique essentielle des constructions métalliques est d'être composées d'un ensemble d'éléments barres (**poteaux- poutres**) constitués de profilés laminés ou soudés souvent en forme de (**I** ou de **H**) qu'il faut assembler entre eux pour constituer l'ossature.

Les liaisons entre ces différents éléments représentent ce qu'on appelle communément les **assemblages**. Ces derniers constituent des composants spécifiques à la construction métallique, ils jouent un rôle très important, on peut les définir comme organes de liaison qui permettent de réunir et de solidariser plusieurs éléments entre eux, on assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les éléments assemblés, sans générer d'efforts parasites.

Un assemblage mal conçu, mal calculé ou mal réalisé peut conduire à l'effondrement de la structure. De ce fait la conception et le calcul des assemblages est d'une importance capitale.

VI-2 Modes D'Assemblages

Les différentes formes d'assemblages ci-dessus mentionnés sont généralement réalisées par les principaux modes d'assemblages suivants :

VI-2-1 Le Rivetage

Les rivets ont été le premier moyen d'assemblage utilisé en construction métallique. Actuellement, l'emploi des rivets est limité et on leur préfère, dans la plupart des pays industrialisés, les boulons et la soudure. On les rencontre donc essentiellement dans des structures anciennes, datant du début de siècle dernier. leur diamètre varie généralement de 10 à 28mm.)

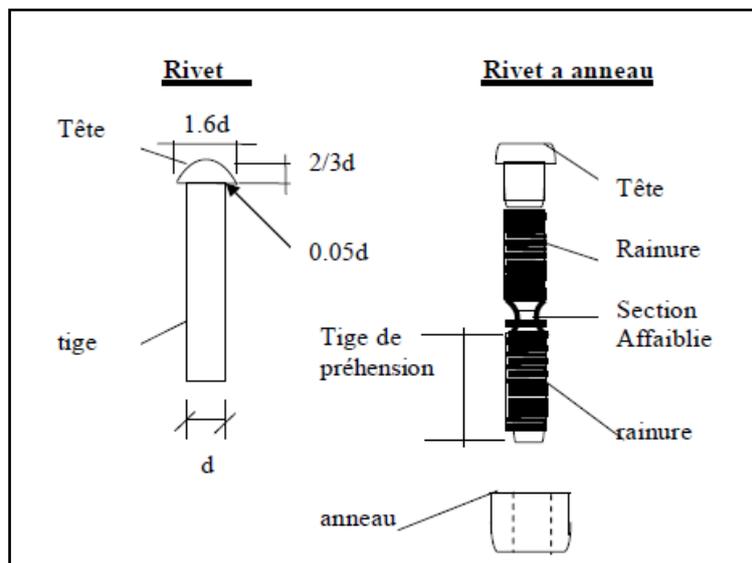


Figure 17 : Rivets

Rivets à anneau:

Les rivets à anneau (rivelons) sont des éléments de connexion mécanique qui tiennent à la fois du rivet (dans la mesure où il a une même forme de tête et qu'il introduit une force de précontrainte) et du boulon (car une partie de sa tige est rainurée).

Les principales caractéristiques: la tige se compose de deux parties rainurées (et non pas filetées), séparées par une portion de tige dont la section est affaiblie.

VI-2-2 Le Boulonnage

boulons	Classe De qualité	$f_{yB} (N/mm^2)$	$f_{uB} (N/mm^2)$
De charpente	4.6	240	400
	5.6	300	500
A haute résistance	8.8	640	800
	10.9	900	1000

Tableau 02 : Caractéristiques mécaniques des aciers pour boulons

Les boulons de charpente métallique

Les boulons à haute résistance

Les boulons de charpente métallique s'emploient couramment pour réaliser les assemblages faiblement sollicités des halles et des bâtiments. Les boulons a haute résistance s'utilisent en général pour les assemblages de ponts, ainsi que pour les assemblages fortement sollicités ou soumis a des effets dynamique. Seuls les boulons à haute résistance peuvent être précontraints,

La figure suivante montre les différentes parties composant un boulon de charpente et un boulon à haute résistance .ces derniers se distinguent des boulons de charpente métallique par l'inscription de la classe de qualité de l'acier du boulon sur leur tête et leurs rondelles,

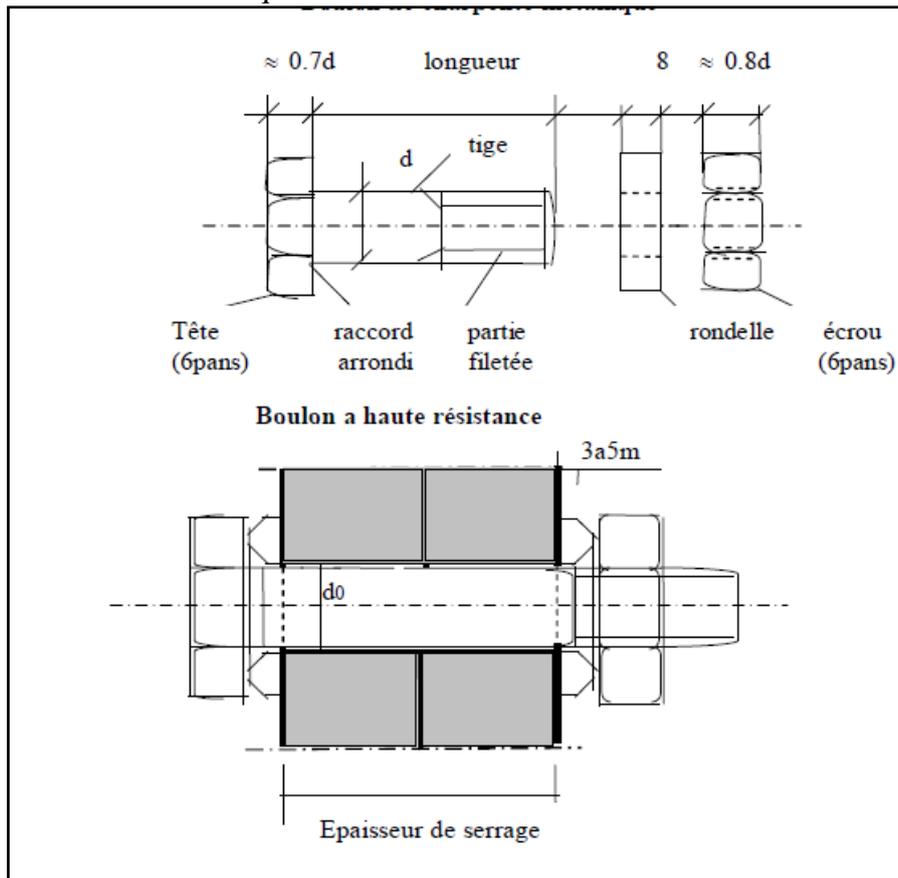


Figure 18 : Types de boulons

VI-2-3 Le Soudage

Le soudage présente, par rapport au boulonnage, plusieurs avantages:

- Il assure la continuité de matière, et de ce fait garantit une bonne transmission des sollicitations

CHAPITRE IV : CONSTRUCTIONS METALLIQUES ET MIXTES

- Il dispense de pièces secondaires (goussets, attaches,.....)
- Il est de moindre encombrement et plus esthétique que le boulonnage.

En revanche, il présente divers inconvénients:

- Le métal de base doit être soudable.
- Le contrôle des soudures est nécessaire et onéreux.
- Le soudage exige une main d'œuvre qualifiée et un matériel spécifique.



Figure 19 : Soudure de la base d'un poteau

V-3 Différentes Formes D'assemblage Rencontrés En C.M

Dans les ossatures des bâtiments métalliques, les éléments structuraux sont reliés par des assemblages. Suivant la nature des éléments assemblés, on distingue (Figure 20) entre autres :

- Les assemblages poutre- poutre (B)
- Les assemblages poutre- poteau (A)
- Les assemblages de continuité (C)
- Les assemblages dans un système en treillis « un nœud » (E)
- Les assemblages poteau- fondation « pied de poteau » (D)

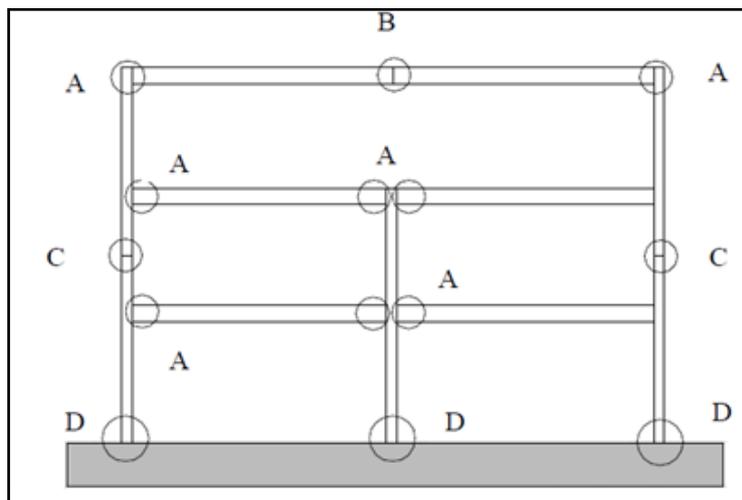


Figure 20 : Différents types d'assemblage dans un bâtiment

CHAPITRE IV : CONSTRUCTIONS METALLIQUES ET MIXTES

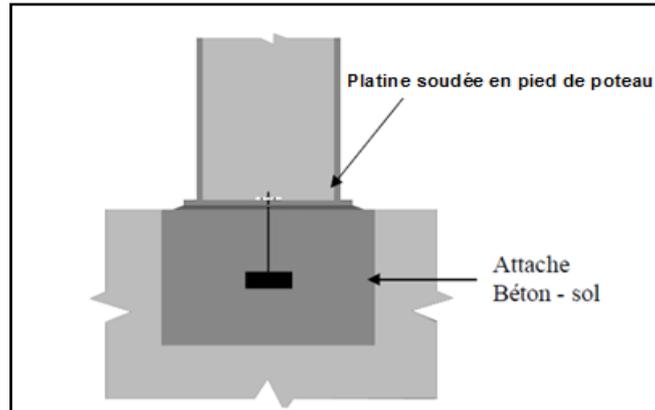


Figure 21 : Attache dans une base de poteau

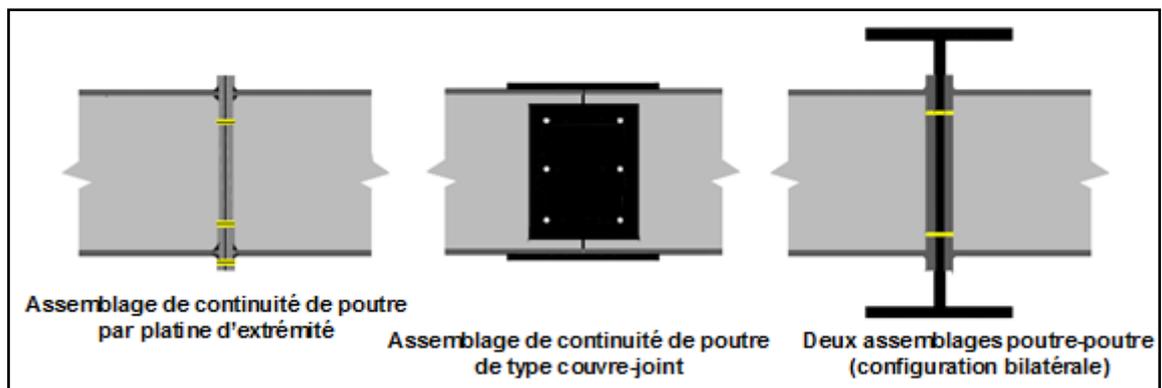


Figure 22 : Assemblages poutre-poutre

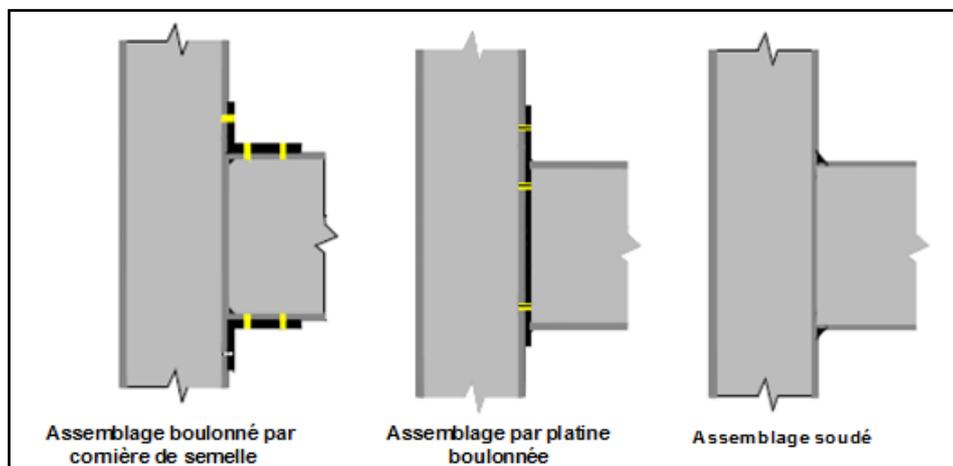


Figure 23 : Assemblage poteau-poutre (soudage et boulonnage)

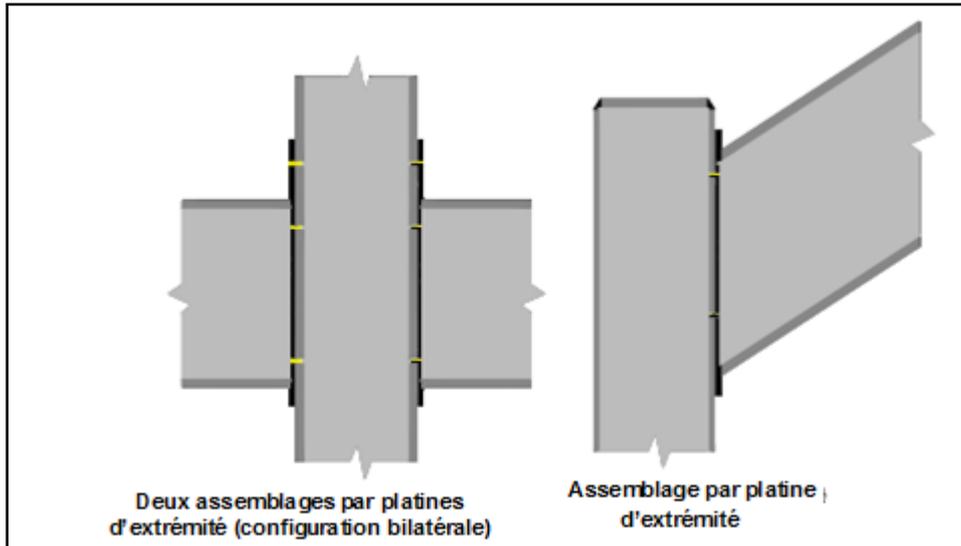


Figure 24 : Assemblage poteau-poutre

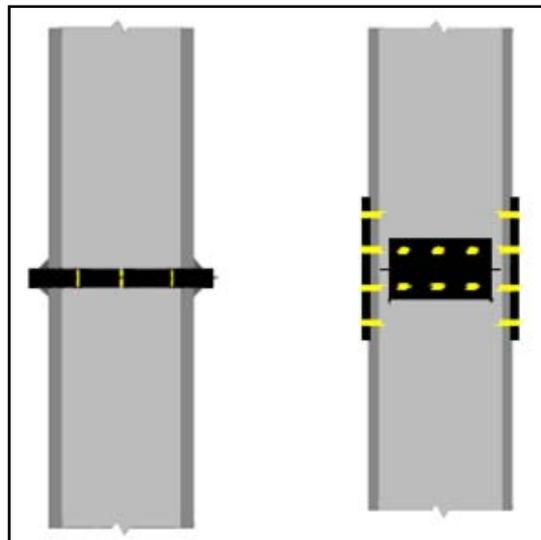


Figure 25 : Assemblage poteau-poteau

V-4 Exemple D'assemblage (Notion D'encastrement Et D'articulation)

V-4-1 Encastrement

Exemple 1

Liaison encastrement entre un poteau et une poutre.

Une platine est soudée en bout de poutre (L'âme et les ailes sont reliées à la platine par soudage), puis boulonnées sur le poteau (2 files de 4 boulons).

Il n'y a pas de jeu entre la poutre et le poteau.

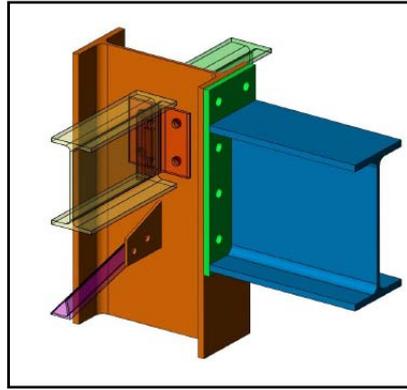


Figure 26 : Encastrement poteau-poutre

Exemple 2

Liaison encastrement entre un poteau et un arbalétrier

Une platine est soudée au bout de l'arbalétrier.

Un jarret est également soudé pour renforcer la liaison entre l'arbalétrier et le poteau.

L'ensemble est fixé par 2 files de 5 boulons.

On utilise un raidisseur soudé entre les ailes du poteau pour limiter les déformations.

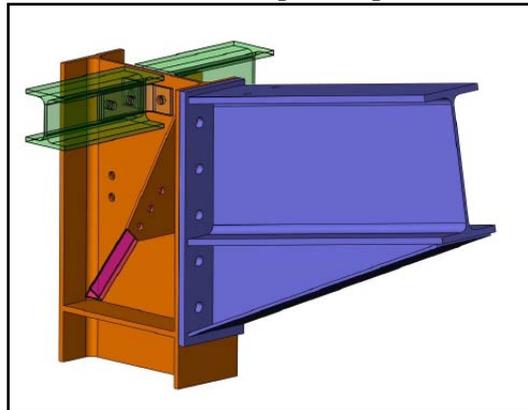


Figure 27 : Encastrement poteau-Arbalétrier

Exemple 3

Encastrement de pied de poteau

Une platine est soudée en pied de poteau.

L'ensemble est fixé au sol par 4 tiges d'ancrage.

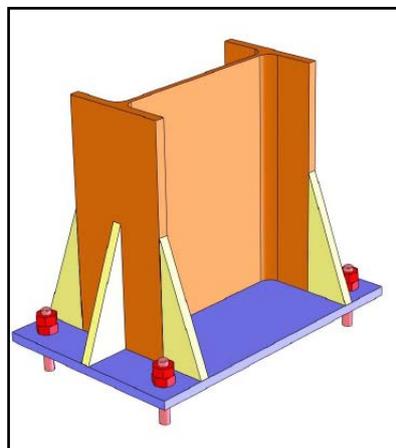


Figure 28 : Poteau encastré

V-4-2 Articulation

Exemple 1

Articulation entre le poteau et les poutres horizontales (IPE).

Les poutres sont liées au poteau par des cornières boulonnées.

- Les cornières relient les âmes des deux éléments.
- Les ailes sont libres
- Il y a un jeu entre les poutres et le poteau

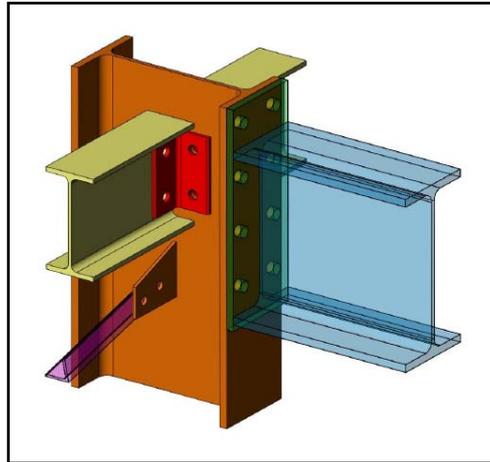


Figure 29 : Articulation poteau-poutre par cornière

Exemple 2

Articulation entre une poutre et une solive de plancher.

Les solives sont fixées sur la poutre par des cornières boulonnées (les âmes sont reliées, les ailes sont libres).

Il y a un jeu entre les solives et la poutre.

Pour assurer la continuité de la solive de plancher, on réalise un **grugeage** pour assurer le passage de l'aile de la poutre

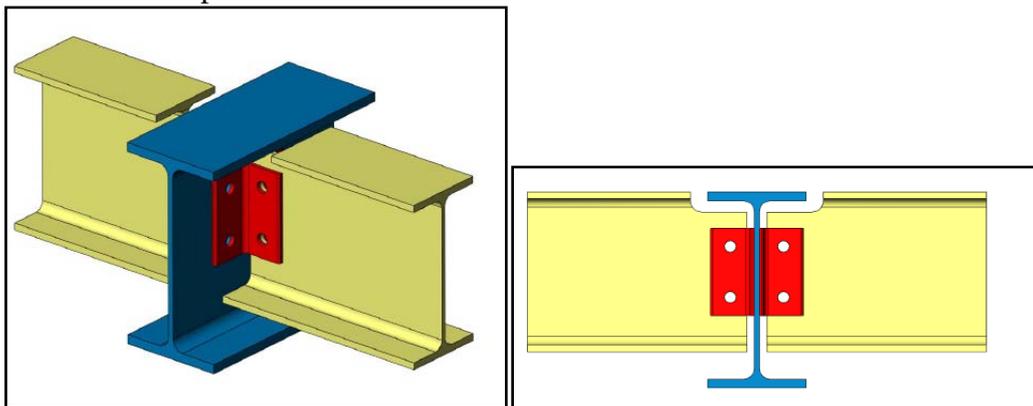


Figure 30 : Articulation poutre-solive de plancher

Exemple 3

Articulation par platine pré-scellée.

Une platine est scellée dans une dalle de béton (une bêche assure un bon maintien)

Une platine est soudée au pied du poteau.

Les deux platines sont liées par deux tiges d'encrage + écrous.

Il est à noter que les tiges d'ancrage sont maintenues dans la dalle par une clé d'ancrage (tige horizontale).

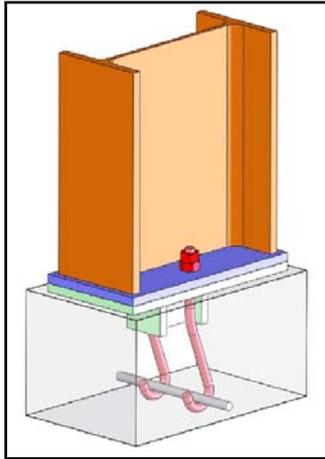


Figure 31 : Poteau Articulé

V-4-3 Appui simple

On trouve l'appui simple dans quelques cas de construction.

Les deux poutres sont montées l'une sur l'autre et leurs axes ne sont pas parallèles.

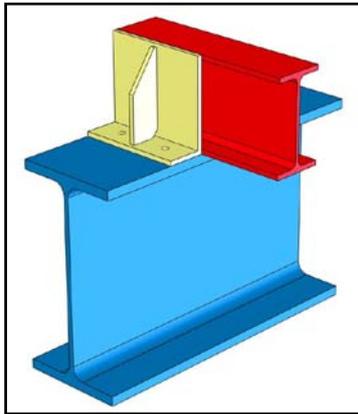


Figure 32 : Poutre appuyée

CHAPITRE V : INTRODUCTION AUX DIFFERENTS REGLEMENTS

I-GENERALITES

Les règles de calcul sont conçues de façon à garantir la sécurité et la pérennité des structures. Ils précisent le niveau maximal des actions pouvant s'exercer sur un ouvrage pendant sa durée d'utilisation.

Ce niveau est atteint par la prise en compte dans les calculs de valeurs caractéristiques des actions et de coefficients de sécurité majorant les sollicitations qui résultent de ces actions.

En outre, les actions appliquées à l'ouvrage conduisent à des effets sur la structure: efforts et déformations, qui se traduisent par des sollicitations (moment fléchissant, effort normal, effort tranchant, etc.), dont les matériaux composant la structure résistent à ces effets.

Pour chaque état limite, pour chaque section de la structure étudiée, il faut montrer, pour le cas de charge le plus défavorable sous la combinaison d'action considérée, que la sollicitation agissante ne dépasse pas la résistance du matériau.

L'objectif général de dimensionnement des ouvrages est de :

- connaître les principes de la réglementation basée sur le calcul aux états limites,
- connaître la réglementation existante,
- savoir calculer les principales actions s'exerçant sur les ouvrages de Génie Civil, charges permanentes, charges d'exploitation, charges de neige et charges dues au vent...etc.
- savoir évaluer les charges sollicitant les différents éléments d'une structure.

II-NOTIONS SUR LES REGLEMENTS DE CONCEPTIONS ET D'EXECUTION DES CONSTRUCTIONS EN ALGERIE

II-1 Notions sur les règlements de conceptions des bâtiments en Algérie

II-1-1 Charges permanentes et charges d'exploitation (DTR-BC 2.2)

Le présent document traite des " charges permanentes" et "charges d'exploitation" des bâtiments, de leur mode d'évaluation et des valeurs de ces charges à introduire dans les calculs.

II-1-2 Règles parasismiques Algériennes " R.P.A 99 / version 2003" (DTR-BC 2.48)

Le document technique « DTR BC 2-48 » portant sur les « REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99 » qui a été approuvé par la commission technique permanente pour le contrôle technique de la construction (CTP).

Ce règlement est organisé comme suit :

- Définir de manière plus précise l'objet du RPA
- Préciser davantage le domaine d'application du RPA
- Préciser les objectifs et les niveaux de protection parasismique recherchés pour les différentes catégories de constructions qui relèvent du domaine d'application du RPA.
- Décrire les principes de conception parasismique à respecter, préalablement à tout calcul (choix de site, implantation,...).
- Revoir les différentes classifications (zonage sismique, sites et sols, catégories d'ouvrages).
- Préciser davantage les critères de régularité en plan et en élévation des constructions.
- Identifier les systèmes structuraux en usage courant en Algérie.

CHAPITRE V : INTRODUCTION AUX DIFFERENTS REGLEMENTS

- Préciser les critères de choix de la méthode de calcul des forces sismiques (méthode statique équivalente, méthode d'analyse modale spectrale).
- Décrire la méthode statique équivalente avec les modifications apportées sur les différents paramètres.
- Décrire la méthode dynamique modale spectrale.
- Décrire les critères de sécurité à justifier pour que la structure soit réputée parasismique (système de contreventement, éléments secondaires et éléments non structuraux).
- prévoit les dispositions constructives relatives aux constructions en béton armé, en acier et en maçonnerie porteuse chaînée.
- Envisager un chapitre relatif aux fondations et murs de soutènement (fondations, liquéfaction, stabilité des pentes, murs de soutènement).

II-1-3 Les règles de conception et de calcul des structures en béton armé C.B.A 93 (DTR-BC 2.41)

Les règles de conception et de calcul des structures en béton armé, en abrégé "C.B.A 93", ont pour objet de spécifier les principes et les méthodes les plus actuels devant présider et servir à la conception et aux calculs de vérification des structures et des ouvrages en béton armé, et s'appliquent spécialement aux bâtiments courants.

II-1-4 Règle de conception et de calcul des structures en acier "CCM 97": (DTR-BC 2.44)

Ce document technique réglementaire a pour objet la codification du dimensionnement par le calcul et les vérifications des structures de bâtiments à ossature en acier.

Le règlement ne définit que les exigences relatives à la résistance mécanique à l'aptitude au service et à la durabilité des structures.

II-1-5 Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-Bbéton : Règles générales et règles pour les bâtiments (DTR-BC 2-4.10)

Le présent document technique réglementaire constitue une base générale pour la conception et le calcul des structures et éléments structuraux mixtes pour les bâtiments et ouvrages de génie civil. Les structures et éléments structuraux mixtes sont constitués d'acier de construction et de béton armé solidarités de façon à résister aux actions.

II-1-6 Les règles de conception et de calcul des parois et murs en béton banché (DTR-BC 2.42)

Le document définit les règles de calcul qui sont applicables aux parois et murs en béton banché de tous bâtiments, quelle que soit leur destination : bâtiments d'habitation, de bureaux, scolaires, hospitaliers, industriels, commerciaux ect....

Il donne aussi des indications sur la conception de certains parois et murs en béton banché de façon que les diverses fonctions que ces parois et murs doivent remplir dans un bâtiment courant puissent être assurées convenablement et de façon durable.

II-1-7 Règles de calcul des fondations superficielles (DTR-BC 2.331)

Ce document donne les charges à prendre en considération, selon le cas étudié, et les vérifications à entreprendre pour garantir la stabilité des fondations superficielle et la sécurité des ouvrages.

CHAPITRE V : INTRODUCTION AUX DIFFERENTS REGLEMENTS

II-1-8 Dénomination provisoire des sols et des roches

Le présent document permet de décrire un système de classification et de dénomination provisoire des sols dans le souci d'uniformiser les différentes appellations ; cette dénomination provisoire sera basée sur l'aspect visuel et quelques essais ne nécessitant aucun équipement.

II-1-9 Recommandations techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages

Ce document régit la conception et l'exécution des travaux de réparation et de renforcement des ouvrages endommagés. Ces règles peuvent servir, en cas de besoin, pour l'évaluation de la capacité de résistance et la vérification de la stabilité des ouvrages existants ainsi que pour leur renforcement éventuel.

II-2 Notions sur les règles d'exécution des travaux de constructions d'ouvrages en béton armé en Algérie

II-2-1 Les règles d'exécution des travaux de construction de parois et murs en béton banché

Le présent document définit les règles de calcul qui sont applicables aux parois et murs en béton banché de tous les bâtiments, quelle que soit leur destination : bâtiments d'habitation, de bureaux, scolaires, industriels, commerciaux etc....

Ce document donne aussi des indications sur la conception des parois et murs en béton de façon que les diverses fonctions que ces parois et murs doivent remplir dans un bâtiment courant puissent être assurées convenablement et de façon durable.

II-2-2 Règles générales pour la fabrication, le transport et la mise en œuvre des murs extérieurs en panneau préfabriqués

Ce document concerne les ouvrages de murs extérieurs en élévation réalisés avec des panneaux préfabriqués du type plaque ou nervurée en béton de granulats lourds courants.

II-2-3 Règles particulières d'exécution de dalles et volées d'escalier en béton armé posées sur appuis horizontaux

Les présentes prescriptions s'appliquent à la fabrication et à la pose des dalles palières et volées d'escalier préfabriquées, en béton armé, simplement posées sur appuis selon des plans sensiblement horizontaux.

II-2-4 Règles d'exécution des chapes et dalles à base de liants hydrauliques

Le document a pour objet de préciser les prescriptions d'exécution des formes, chapes et dalles. Ces formes, chapes et dalles complètent le gros œuvre sur lequel elles reposent, soit directement, soit par interposition d'une couche intermédiaire de désolidarisation, d'isolation ou de glissement.

Le document s'applique aux travaux exécutés à l'intérieur des bâtiments d'usage courant, tels que les logements, les bâtiments scolaires et hôpitaux, les immeubles de bureaux, ct...

II-2-5 Règles d'exécution des travaux de terrassement pour le bâtiment

Le présent document a pour objet de définir les prescriptions techniques concernant les terrassements de toute nature à exécuter en vue de :

- 1-la construction de bâtiments
- 2-l'aménagement de leurs abords immédiats
- 3-l'établissement des branchements d'égouts et des canalisations des diverses desservent et la modification des installations de cette nature existants préalablement aux abords.

CHAPITRE V : INTRODUCTION AUX DIFFERENTS REGLEMENTS

II-2-6 Recommandation pour l'exécution des structures en acier

Le présent document énonce les exigences pour les exécutions des structures en acier de façon à assurer un niveau approprié de résistance et de stabilité mécanique, d'aptitude à l'utilisation et de durabilité.

Il présuppose que l'ouvrage est réalisé avec tout le savoir-faire nécessaire, ainsi que l'équipement et les moyens appropriés pour effectuer le travail conformément aux prescriptions du cahier des charges du projet et aux exigences énoncées dans ce dernier.

II-2-7 Guide de construction pour la willaya d'illizi

Le document se présente comme un recueil de recommandation et de dispositions constructives à suivre par les différents intervenants des constructions dans la région d'illizi pour réduire en particulier les effets des mouvements de sol et ceux des écarts de température sur les bâtiments.

III-REGLES BAEL

Les présentes règles de calcul, dites Règles BAEL 91, sont applicables à tous les ouvrages et constructions en béton armé, soumis à des ambiances s'écartant peu des seules influences climatiques, et dont le béton est constitué de granulats naturels normaux, avec un dosage en ciment au moins égal à 300 kg par m³ de béton mis en œuvre. Sont considérées en béton armé les pièces qui sont encore aptes à jouer leur rôle dans la structure dont elles font partie, lorsque la résistance à la traction par flexion de leur béton constitutif est supposée nulle. Restent en dehors du domaine des présentes règles :

- les constructions en béton non armé ;
- les constructions en béton constitué de granulats légers ;
- les constructions en béton caverneux ou cellulaire armé ;
- les constructions en béton de résistance caractéristique supérieure à 60 MPa ;
- les éléments armés de profilés laminés et les structures mixtes acier-béton ;
- les éléments soumis en service à des températures s'écartant sensiblement de celles qui résultent des seules influences climatiques.

D'autre part, certains ouvrages peuvent faire l'objet de règles particulières auxquelles il est alors fait référence.

IV-LES EUROCODES

IV-1 Présentation

Toutes les structures quelque soit le matériau utilisé doivent être conçues selon les règlements en vigueur dans le pays. En Algérie, c'est le ministère de l'habitat à travers des documents techniques réglementaires ou DTR qui sont des arrêtés signés par le ministre en exercice qui est responsable de la publication des règlements en vigueur. En ce qui concerne le domaine de la construction, ces règlements s'inspirent largement des règlements européens ou eurocodes.

Le comité européen de normalisation (CEN) est l'organisme responsable de la publication des eurocodes, qui sont souvent désignés par l'abréviation 'EC'. Il existe 10 eurocodes structuraux qui ont été élaborés par des groupes de spécialistes venant de toute l'Europe.

L'objectif des eurocodes est de donner des normes communes sûres et cohérentes au sein de l'union européenne pour la conception et la réalisation des structures permettant ainsi aux concepteurs et aux entrepreneurs d'un état d'affronter une concurrence loyale dans un autre.

Les eurocodes sont publiés sous forme de parties distinctes traitant de domaines spécifiques. Ces parties sont désignées par le numéro de partie et le sous titre.

IV-2 Liste Eurocodes

IV-2-1 L'Eurocode 0 (EC0) traite les bases de calcul des structures.

L'eurocode 0 définit des Principes et des exigences en matière de sécurité, d'aptitude au service et de durabilité des structures, décrit les bases pour le dimensionnement et la vérification de celles-ci, et fournit des lignes directrices concernant les aspects de la fiabilité structurale qui s'y rattachent. Il est destinée à être utilisée pour la conception structurale des bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris les aspects géotechniques, la résistance à l'incendie, les situations sismiques, l'exécution et les structures provisoires. Il est applicable pour l'évaluation structurale de constructions existantes, en vue de projeter des réparations et des modifications ou d'étudier des changements d'utilisation.

IV-2-2 L'Eurocode 1 (EC1) traite les actions.

Ceci concerne principalement les chargements mais comprend aussi d'autres influences comme la température et les déformations imposées qui affectent le comportement de la structure.

Il comprend les parties suivantes :

- Partie 1 bases de calcul
- Partie 2.1 actions sur les structures-densités, poids propre et charges d'exploitation
- Partie 2.2 actions sur les structures exposées au feu
- Partie 2.3 actions sur les structures-charges de neige
- Partie 2.4 actions sur les structures-charges de vent
- Partie 2.5 actions thermiques
- Partie 2.6 charges et déformations imposées lors de la construction
- Partie 2.7 actions accidentelles
- Partie 3 charges sur les ponts dues au trafic
- Partie 4 actions dans les silos et réservoirs
- Partie 5 actions induites par les grues, les ponts roulants et les machines

IV-2-3 L'Eurocode 2 (EC2)

Ces normes nationales sont amenées à se substituer aux textes réglementaires correspondants en vigueur dans les pays européens cités ci-dessus. Ainsi, en France, l'eurocode 2 a remplacé définitivement les Règles BAEL 91 pour le béton armé et BPEL 91 pour le béton précontraint en mars 2010.

Il comprend les parties suivantes :

- Partie 1.1 règles générales et règles pour les bâtiments
- Partie 1.2 calcul du comportement au feu
- Partie 2 ponts en béton
- Partie 3 silos et réservoirs

IV-2-4 L'Eurocode 3 (EC3) traite les structures en acier.

Il comprend les parties suivantes :

- Partie 1.1 règles générales et règles pour les bâtiments
- Partie 1.2 calcul du comportement au feu
- Partie 1.3 profilés et plaques formés à froid
- Partie 1.4 aciers inoxydables
- Partie 1.5 plaques planes chargées dans leur plan
- Partie 1.6 coques
- Partie 1.7 plaques planes chargées transversalement à leur plan

CHAPITRE V : INTRODUCTION AUX DIFFERENTS REGLEMENTS

- Partie 1.8 calcul des assemblages
- Partie 1.9 fatigue
- Partie 1.10 choix des qualités d'acier
- Partie 1.11 calcul des structures à câbles ou éléments tendus
- Partie 1.12 règles additionnelle pour l'utilisation de l'EN 1993 jusqu'à la nuance d'acier S700
- Partie 2 ponts métalliques

IV-2-5 L'Eurocode 4 (EC4) traite les structures mixtes acier-béton

Il comprend les parties suivantes :

- Partie 1.1 règles générales et règles pour les bâtiments
- Partie 1.2 calcul du comportement au feu

IV-2-6 L'Eurocode 5 (EC5) traite les structures en bois

IV-2-7 L'Eurocode 6 (EC6) traite les ouvrages en maçonnerie

IV-2-8 L'Eurocode 7 (EC7) traite les calculs géotechniques

IV-2-9 L'Eurocode 8 (EC8) traite les structures pour leur résistance au séisme

IV-2-10 L'Eurocode 9 (EC9) traite les structures en alliage d'aluminium.

Les eurocodes définissent un certain nombre de termes qui ont des significations plus précises dans le cadre des codes. Ils comprennent les termes suivants :

Exécution	Désigne l'activité de réalisation d'un bâtiment, comprenant tant le travail sur chantier que la fabrication.
Type de bâtiment	Désigne sa fonction prévue (ex. maison d'habitation, bâtiment industriel)
Forme de structure	Décrit la nature générique des éléments structuraux (ex. poutre, arche) ou du système global (ex. pont suspendu)
Type de construction	Indique le matériau structural principal (ex. construction en acier)
Méthode de construction	Décrit comment la construction doit être réalisée (ex. préfabriqué)

Tableau 01 : Signification des termes utilisés dans les eurocodes.

I-GÉNÉRALITÉS

Les présentes règles visent à assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis à vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés.

Pour des ouvrages courants, les objectifs ainsi visés consistent à doter la structure :

- d'une rigidité et d'une résistance suffisante pour limiter les dommages non structuraux et éviter les dommages structuraux par un comportement essentiellement élastique de la structure face à un séisme modéré, relativement fréquent.
- d'une ductilité et d'une capacité de dissipation d'énergie adéquates pour permettre à la structure de subir des déplacements inélastiques avec des dommages limités et sans effondrement, ni perte de stabilité, face à un séisme majeur, plus rare.

II-CONDITIONS D'APPLICATION

Les constructions auxquelles s'appliquent les présentes règles doivent satisfaire concomitamment aux règles de conception, de calcul et d'exécution applicables

Par ailleurs, au cas où les sollicitations issues d'un calcul aux effets du vent sont plus défavorables, ce sont ces dernières qu'il y a lieu de prendre en considération pour la vérification de la résistance et de la stabilité de l'ouvrage, mais, en même temps, les dispositions constructives des règles RPA doivent être respectées.

III-CRITÈRES DE CLASSIFICATION

III-1 Classification des zones sismiques

Le territoire national est divisé en quatre (04) zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune, soit :

- Zone O : sismicité négligeable
- Zone I : sismicité faible
- Zone II : sismicité moyenne
- Zone III : sismicité élevée.

III-2 Classification des ouvrages selon leur importance

Le niveau minimal de protection sismique accordé à un ouvrage dépend de sa destination et de son importance vis à vis des objectifs de protection fixés par la collectivité.

Tout ouvrage qui relève du domaine d'application des présentes règles doit être classé dans l'un des quatre (04) groupes définis ci-après.

III-2-1 Groupe 1A : Ouvrages d'importance vitale

Ouvrages vitaux qui doivent demeurer opérationnels après un séisme majeur pour les besoins de la survie de la région, de la sécurité publique et de la défense nationale, soit:

- Bâtiments abritant les centres de décisions stratégiques
- Bâtiments abritant le personnel et le matériel de secours et (ou) de défense nationale ayant un caractère opérationnel tels que casernes de pompiers, de police ou militaires, parcs d'engins et de véhicules d'intervention d'urgence et de secours.
- Bâtiments des établissements publics de santé tels que les hôpitaux et centres dotés de services des urgences, de chirurgie et d'obstétrique.
- Bâtiments de production et de stockage d'eau potable d'importance vitale
- Ouvrages publics à caractère culturel, ou historique d'importance nationale

III-2-2 Groupe 1B : Ouvrages de grande importance

Ouvrages abritant fréquemment de grands rassemblements de personnes

- Bâtiments recevant du public et pouvant accueillir simultanément plus de 300 personnes tels que grande mosquée, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments industriels et commerciaux, scolaires, universitaires, constructions sportives et culturelles, pénitenciers, grands hôtels.

- Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur dépasse 48m.

Ouvrages publics d'intérêt national ou ayant une importance socio-culturelle et économique certaine.

- Bâtiments de bibliothèque ou d'archives d'importance régionale, musée, etc.

- Bâtiments des établissements sanitaires autres que ceux du groupe 1A

- Châteaux d'eau et réservoirs de grande à moyenne importance

III-2-3 Groupe 2 : Ouvrages courants ou d'importance moyenne

Ouvrages non classés dans les autres groupes 1A, 1B ou 3 tels que :

- Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur ne dépasse pas 48 m.

- Parkings de stationnement publics,...

III-2-4 Groupe 3 : Ouvrages de faible importance

- Bâtiments industriels ou agricoles abritant des biens de faibles valeurs.

- Bâtiments à risque limité pour les personnes

- Constructions provisoires

III-3 Classification des sites

Les sites sont classés en quatre (04) catégories en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent.

III-3-1 Catégorie S_1 (site rocheux) :

Roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de cisaillement (VS) \geq à 800m/s.

III-3-2 Catégorie S_2 (site ferme) :

Dépôts de sables et de graviers très denses sur 10 à 20 m d'épaisseur avec $VS \geq 400$ m/s à partir de 10 m de profondeur.

III-3-3 Catégorie S_3 (site meuble) :

Dépôts épais de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide avec $VS \geq 200$ m/s à partir de 10 m de profondeur.

III-3-4 Catégorie S_4 (site très meuble) :

- Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec $VS < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres.

- Dépôts d'argile molle à moyennement raide avec $VS < 200$ m/s dans les 20 premiers mètres.

III-4 Classification des systèmes de contreventement

L'objet de la classification des systèmes structuraux se traduit, dans les règles et méthodes de calcul, par l'attribution pour chacune des catégories de cette classification, d'une valeur numérique du coefficient de comportement global de la structure « **R** ».

En cas d'utilisation de systèmes de contreventement différents dans les deux directions considérées il y a lieu d'adopter pour le coefficient R la valeur la plus petite.

CHAPITRE VI : LES REGLES PARASISMIQUES RPA 99 VERSION 2003

Cat	Description du système de contreventement (voir chapitre III § 3.4)	Valeur de R
<u>A</u>	<u>Béton armé</u>	
1a	Portiques autostables sans remplissages en maçonnerie rigide	5
1b	Portiques autostables avec remplissages en maçonnerie rigide	3,5
2	Voiles porteurs	3,5
3	Noyau	3,5
4a	Mixte portiques/voiles avec interaction	5
4b	Portiques contreventés par des voiles	4
5	Console verticale à masses réparties	2
6	Pendule inverse	2
<u>B</u>	<u>Acier</u>	
7	Portiques autostables ductiles	6
8	Portiques autostables ordinaires	4
9a	Ossature contreventée par palées triangulées en X	4
9b	Ossature contreventée par palées triangulées en V	3
10a	Mixte portiques/palées triangulées en X	5
10b	Mixte portiques/palées triangulées en V	4
11	Portiques en console verticale	2
<u>C</u>	<u>Maçonnerie</u>	
12	Maçonnerie porteuse chaînée	2,5
<u>D</u>	<u>Autres systèmes</u>	
13	Ossature métallique contreventée par diaphragme	2
14	Ossature métallique contreventée par noyau en béton armé	3
15	Ossature métallique contreventée par voiles en béton armé	3,5
16	Ossature métallique avec contreventement mixte comportant un noyau en béton armé et palées ou portiques métalliques en façades	4
17	Systèmes comportant des transparences (étages souples)	2

Tableau 1 : Valeurs du coefficient de comportement R

CHAPITRE VI : LES REGLES PARASISMIQUES RPA 99 VERSION 2003

Les systèmes de contreventement retenus dans les présentes règles sont classés selon les catégories suivantes :

III-5 Classification des ouvrages selon leur configuration

Chaque bâtiment (et sa structure) doit être classée selon sa configuration en plan et en élévation en bâtiment régulier ou non, selon les critères ci-dessous.

III-5-1 Régularité en plan

- Le bâtiment doit présenter une configuration sensiblement symétrique vis à vis de deux directions orthogonales aussi bien pour la distribution des rigidités que pour celle des masses.
- A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépasse pas 15% de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée.
- La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4.

La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction.

- Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante vis à vis de celle des contreventements verticaux pour être considérés comme indéformables dans leur plan.

Dans ce cadre la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de celle de ce dernier.

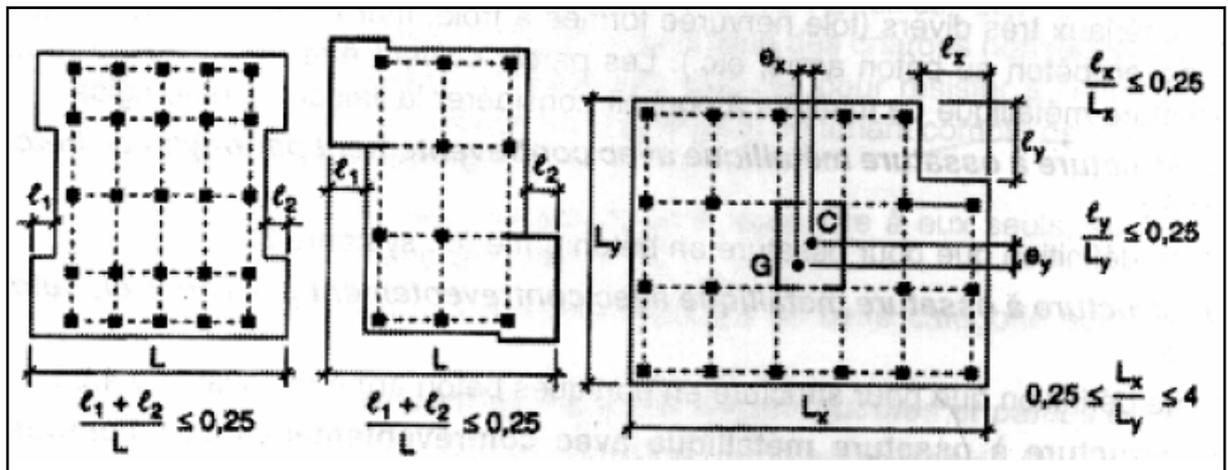


Figure 02 : Limite des décrochements en plan

III-5-2 Régularité en élévation

- Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation.
- Aussi bien la raideur que la masse des différents niveaux restent constants ou diminuent progressivement et sans chargement brusque de la base au sommet du bâtiment
- Le rapport masse sur rigidité de deux niveaux successifs ne doit pas varier de plus de 25% dans chaque direction de calcul.
- Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan du bâtiment entre deux niveaux successifs ne dépasse pas 20% dans les deux directions de

CHAPITRE VI : LES REGLES PARASISMIQUES RPA 99 VERSION 2003

calcul et ne s'effectue que dans le sens d'une diminution avec la hauteur. La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas 1,5 fois sa plus petite dimension.

D'une manière générale, se reporter aux schémas illustratifs ci-après.

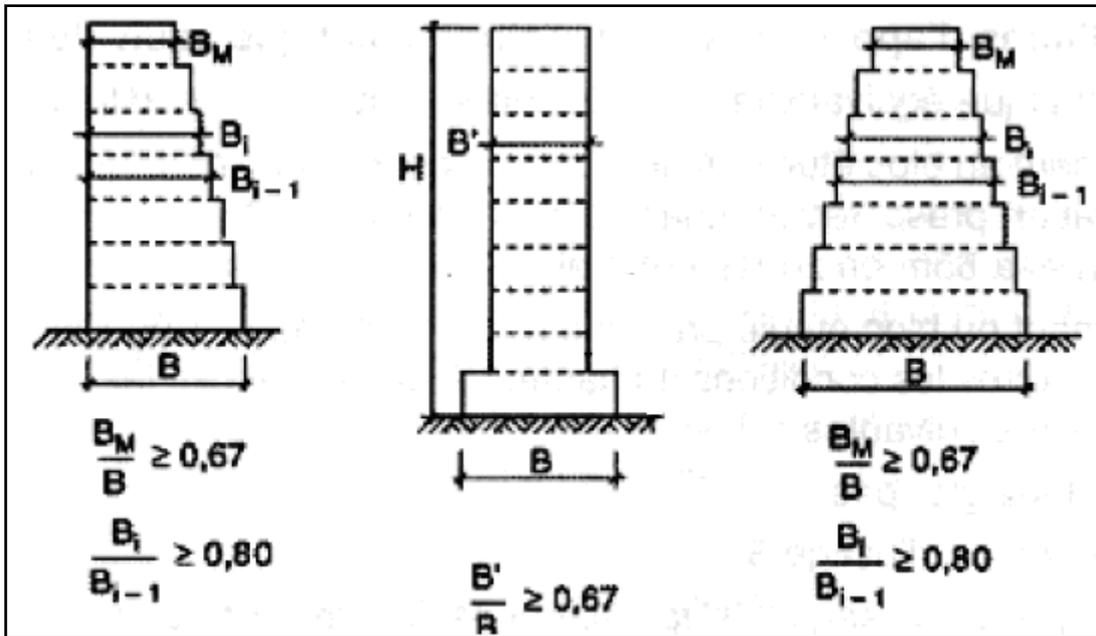


Figure 03 : Limite des décrochements en élévation

I- ACTIONS ET COMBINAISONS D'ACTIONS

I-1 Introduction

Toutes les règles de calcul ont pour but d'aider le concepteur à créer une structure sûre, utilisable, économique à construire et remplit les fonctions qu'on en attend.

Les premières approches de conception qui étaient basées sur des méthodes de vérification aux contraintes élastiques admissibles ont été remplacées par le calcul aux états limites qui forme la base des eurocodes. Dans les paragraphes qui suivent, nous allons expliquer la philosophie du calcul aux états limites dans le contexte de l'eurocode 3 et fournir des informations sur les coefficients partiels de sécurité concernant les charges et la résistance.

L'utilisation des règles est limitée aux vérifications des états limites des structures soumise à des charges statiques y compris les cas où les effets dynamiques sont déterminés à l'aide de charges quasi-statiques.

I-2 Les Principes du calcul aux états limites

I-2-1 Principes de vérification

Le calcul aux états limites est une procédure qui prend en compte le caractère variable des charges, matériaux, pratiques de construction et les approximations faites en calcul d'une manière telle que la probabilité qu'une structure devienne impropre à l'utilisation soit raisonnablement faible.

Les procédures de calcul aux états limites encouragent l'ingénieur à examiner les conditions ou états limites qui peuvent provoquer des ruines des structures. Ces conditions sont classées en état limite ultime (ELU) et état limite de service (ELS) en fonction de la situation du projet.

La vérification d'une structure suivant les principes de calcul aux états limites doit envisager toutes les situations de projets possibles telles que :

- Les situations de projets durables correspondant à une utilisation normale de la structure,
- Les situations de projets transitoires (durant sa construction ou sa réparation),
- Les situations de projets accidentelles : incendie, chocs,
- Les situations de projets sismiques : séisme,

On peut aussi avoir à considérer d'autres effets tels que la température ou le tassement différentiel des appuis.

I-2-2 Procédures de vérification aux états limites ultimes

Les états limites ultimes ELU concernent la résistance aux charges appliquées et l'équilibre, lorsque la structure atteint le point où elle devient dangereuse de manière importante.

Pour les structures courantes de bâtiments, les vérifications aux ELU portent essentiellement sur la résistance et la stabilité des éléments structuraux. Dans tous les cas l'effet de l'action E (caractérisée par le moment M_{Ed} , les efforts de cisaillement V_{Ed} et les efforts normaux N_{Ed}) agissant sur un élément de structure doit être inférieur à la résistance R de ce même élément (M_{Ed} , V_{Ed} , N_{Ed}).

Dans ce cas, la vérification se traduit par une condition de type :

$$E_d \leq R_d$$

Où : E_d : valeur de calcul de l'effet des actions,

R_d : valeur de calcul de la résistance définie par les eurocodes.

CHAPITRE VII : JUSTIFICATION DES STRUCTURES EN BETON ARME

I-2-3 Les états limites de service

Ils concernent l'aptitude au service des structures et font l'objet de vérification portant sur les points suivants :

- Les déformations de la structure en utilisation normale.
- Le confort des personnes (vibrations des planchers par exemple).

Le concepteur doit chercher à vérifier que la structure remplit sa fonction de manière satisfaisante lorsqu'elle est soumise à son chargement de service ou de fonctionnement.

La vérification se traduit par une condition du type :

$$E_d \leq C_d$$

Où : E_d : valeur de calcul de l'effet des actions (déformation, vibrations,...),

C_d : valeur limite des critères aux états limites de service.

I-3 Les Actions

I-3-1 Actions sur les structures

Une action F sur une structure peut être soit une force, soit une déformation imposée due à la température ou aux tassements par exemple. Les actions à prendre en compte sont classés en fonction de leur occurrence et de leur durée d'application. Ce sont :

Les actions permanentes G

Les actions variables Q : elles comprennent les charges imposées I (exploitation) et les charges climatiques (vent W et neiges S).

Les actions accidentelles A : elles comprennent les explosions et les chocs, leur probabilité d'occurrence est très faible.

Pour les actions dues aux séismes, il faut se référer à l'eurocode 8 et au RPA.

I-3-2 Valeurs caractéristiques des actions

La valeur caractéristique d'une action notée (G_k , Q_k) est sa principale valeur représentative, c'est-à-dire sa valeur la plus fiable.

I-3-2-1 Actions permanentes

Les actions permanentes peuvent être évaluées avec une bonne précision car leur variation dans le temps est négligeable. La valeur moyenne du poids propre des structures est souvent connue bien qu'il puisse y avoir évidemment des variations substantielles lors de l'exécution des ouvrages, en particulier dans le cas de béton coulé en place (ex : le poids propre de la structure, les dispositifs de fixation et finitions permanentes).

On définit donc pour tenir compte de la variabilité des actions permanentes une valeur caractéristique maximale $G_{k,sup}$ et une valeur caractéristique minimale $G_{k,inf}$.

I-3-2-2 Valeurs représentatives des actions variables Q_k

Les charges imposées sont sujettes à des variations considérables. Les valeurs représentatives sont des valeurs dont la probabilité d'être atteintes ou dépassées est faible durant une période qui est de 50 ans en général. Leur modélisation se fait souvent sous la forme d'une charge uniformément répartie.

Les charges climatiques dues à la neige S et au vent W sont hautement variables. Il est possible de prévoir, avec un certain degré de certitude leurs valeurs caractéristiques car un nombre considérable de données statistiques fiables ont été collectées depuis des dizaines d'années. Il existe un DTR qui évalue les charges de vent et de neige en Algérie ; il s'agit du DTR C-2.47 appelé RNV 99.

CHAPITRE VII : JUSTIFICATION DES STRUCTURES EN BETON ARME

I-4 Les Combinaisons d'actions ELU et ELS

Lors de la conception d'une construction, les actions citées ci-dessus sont prises en compte sous forme de combinaison dans lesquelles ces actions sont pondérées par des coefficients de pondération γ .

Les combinaisons d'action comprennent :

- Les actions permanentes
- Une action variable dominante
- Des actions variables d'accompagnement

Il faut noter que chaque action variable est d'abord une action dominante avant d'être à son tour considérée comme une action d'accompagnement.

Selon la nature de la vérification (ELU, ELS) et le caractère de l'action (dominante ou d'accompagnement) l'action variable sera définie par :

- Sa valeur représentative Q_k : valeur de référence pour toute action variable dominante
- sa valeur de combinaison $\Psi_0 Q_k$:

La valeur de combinaison $\Psi_0 Q_k$ doit être utilisée lorsqu'on envisage l'occurrence de deux actions variables simultanément sachant que la probabilité de voir ces deux actions atteindre des valeurs proches de leurs valeurs caractéristiques est très faible.

- sa valeur fréquente $\Psi_1 Q_k$:

La valeur fréquente $\Psi_1 Q_k$ (avec $\Psi_1 < 1$) représente une intensité de l'action qui peut être régulièrement dépassée (jusqu'à 300 fois par an et jusqu'à 5% du temps total).

- sa valeur quasi-permanente $\Psi_2 Q_k$:

La valeur quasi-permanente avec $\Psi_1 < \Psi_2 < 1$ désigne une intensité très souvent atteinte proche de la valeur moyenne dans le temps.

ACTION	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Charges d'exploitation des bâtiments			
-Catégorie A : habitations, zones résidentielles	0.7	0.5	0.3
-Catégorie B : bureaux	0.7	0.5	0.3
-Catégorie C : lieux de réunion	0.7	0.7	0.6
-Catégorie D : commerces	0.7	0.7	0.6
-Catégorie E : stockage	1.0	0.9	0.8
Charges dues à la circulation dans les bâtiments			
-Catégorie F : zone de trafic, véhicules de poids $\leq 30\text{KN}$	0.7	0.7	0.6
-Catégorie G : zone de trafic, véhicules de poids $\leq 160\text{KN}$	0.7	0.5	0.3
-Catégorie H : toits	0	0	0
Charges dues au vent	0.6	0.2	0
Charges dues à la neige	0.6	0.2	0

Tableau 01 : Valeurs recommandées des coefficients Ψ pour les bâtiments pour les différentes catégories et les différents types de charges.

I-5 Coefficients partiels de sécurité et les valeurs de calcul des actions

La valeur de calcul d'une action (G_d , Q_d et A_d) est la valeur à considérer dans les combinaisons d'actions. La valeur de calcul d'une action (G_d , Q_d et A_d) est égale à sa valeur caractéristique (G_k , Q_k et A_k) multiplié par un coefficient partiel de sécurité approprié. Les valeurs réelles des coefficients partiels qu'il faut utiliser dépendent de la situation de calcul (normale, transitoire ou accidentelle), l'état limite et la combinaison particulière des actions prises en compte.

Les eurocodes définissent deux coefficients partiels :

γ_G pour les actions permanentes

CHAPITRE VII : JUSTIFICATION DES STRUCTURES EN BETON ARME

γ_Q pour les actions variables

La grandeur d'un coefficient partiel de sécurité est relié au degré d'incertitude ou au caractère variable d'une quantité particulière (action ou propriété du matériau), déterminée de manière statistique.

I-6 Propriétés des matériaux (valeurs caractéristiques)

Les propriétés mécaniques des matériaux utilisés (acier, béton) pour réaliser les structures sont variables. Ceci est pris en compte en appliquant des coefficients partiels de sécurité aux valeurs caractéristiques de ces matériaux.

La valeur caractéristique du matériau R_K est définie comme la valeur en dessous de laquelle on ne s'attend à avoir qu'une petite proportion de l'ensemble des valeurs. Ceci ne peut être calculé qu'à partir de données statistiques fiables.

La valeur de calcul R_d du matériau considéré qui est utilisée dans les vérifications se définit comme la valeur caractéristique R_K de ce même matériau divisé par le coefficient partiel de sécurité approprié γ_M .

$$R_d = R_K / \gamma_M$$

I-7 Vérification par La méthode des coefficients partiels

I-7-1 Combinaisons d'actions ELU

Les règles définissent plusieurs formats de combinaison aux ELU en fonction du type d'ELU rencontré :

I-7-1-1 Situations de projets durables

Pour les vérifications aux ELU concernant la résistance des éléments structuraux de projet durable (qui sont les plus courantes), il faut prendre en compte les combinaisons d'actions fondamentales :

$$\sum \gamma_{Gj} \cdot G_{Kj} + \gamma_{Q1} \cdot G_{K1} + \sum \gamma_{Qi} \cdot \Psi_{0i} \cdot G_{Ki} \text{ avec } j \geq 1 \text{ et } i > 1$$

Où

" + " signifie : doit être combiné à

\sum signifie : l'effet combiné

Les combinaisons d'actions envisagées portent généralement sur une action permanente G combinée avec une ou plusieurs actions variables Q_i . Lorsque plusieurs actions variables sont susceptibles de coexister, il convient de distinguer :

L'action dominante Q_1

Les actions variables d'accompagnement Q_2, Q_3, Q_4, \dots

Q_2 est considérée comme action variable d'accompagnement principale

Q_2, Q_3 etc, sont les actions variables d'accompagnement secondaire.

I-7-1-2 Situations de projets accidentelles

Dans ce cas, il convient de prendre les coefficients partiels d'actions pour les ELU égaux à 1.0. La combinaison d'actions accidentelles sera la suivante :

$$\sum G_{Kj} + A_d + \Psi_{2,1} \cdot Q_{K1} + \sum \Psi_{2,i} \cdot Q_{Kj} \text{ avec } j \geq 1 \text{ et } i > 1$$

Où

A_D représente l'action accidentelle (hors incendie ou séisme)

Ψ_2 représente le coefficient définissant la valeur quasi-permanente de l'action.

CHAPITRE VII : JUSTIFICATION DES STRUCTURES EN BETON ARME

I-7-1-3 Les combinaisons sismiques

$$\sum G_{Kj} + \Psi_{2,i} \cdot Q_{Ki}$$

Situations de projet durables et transitoires	Actions permanentes		Action variable dominante	Actions variables d'accompagnement	
	Défavorables	Favorables		Principale (le cas échéant)	Autres
Equation	$\gamma_{G_{Kj,sup}} G_{Kj,sup}$	$\gamma_{G_{Kj,inf}} G_{Kj,inf}$	$\gamma_{Q_i} Q_{Ki}$		$\gamma_{Q_i} \Psi_{0i} Q_{Ki}$
Valeur des coefficients γ	$\gamma_{Gj,sup} = 1.35$	$\gamma_{Gj,inf} = 1.0$	$\gamma_{Q_i} = 1.5$ (0 si favorable)		$\gamma_{Q_i} = 1.5$ (0 si favorable)

Tableau 02 : Valeurs de calcul des actions

REMARQUE : il faut noter que si la variabilité de G ne peut pas être considérée comme faible, deux valeurs doivent être utilisées : une valeur supérieure $G_{K,sup}$ et une valeur inférieure $G_{K,inf}$.

De même, γ_G peut prendre deux valeurs : $\gamma_{G,sup}$ et $\gamma_{G,inf}$, qui représentent respectivement les valeurs supérieure et inférieure. Quand les actions permanentes ont une action défavorable sur les conditions de calcul prises en compte, le coefficient partiel de sécurité prend la valeur supérieure. Cependant, quand l'effet d'une action permanente est favorable (par exemple dans le cas des charges appliquées à une console lorsqu'on considère le calcul de la travée adjacente), on prend pour le coefficient partiel de sécurité la valeur inférieure.

I-7-2 Combinaisons d'actions ELS

Pour les vérifications à l'état limite de service qui concernent la durabilité de la structure ainsi que le bon comportement des ouvrages de second œuvre, on considère :

Les combinaisons d'actions caractéristiques

$$\sum G_{Kj} + Q_{K1} + \sum \Psi_{0,i} \cdot Q_{Kj} \text{ avec } j \geq 1 \text{ et } i > 1$$

Les combinaisons fréquentes

$$\sum G_{Kj} + \Psi_{1,i} Q_{K1} + \sum \Psi_{2,1} \cdot Q_{Ki} \text{ avec } j \geq 1 \text{ et } i > 1$$

Les combinaisons quasi-permanentes

$$\sum G_{Kj} + \Psi_{2,i} Q_{Ki} \text{ avec } j \geq 1 \text{ et } i > 1$$

I-7-3 Tableau récapitulatif des combinaisons d'actions pour un bâtiment courant

Le tableau suivant donne les combinaisons d'actions à envisager pour un bâtiment dans le cas où les vérifications ELU ne concernent que la résistance des éléments structuraux en situation de projet durable ou transitoire et les vérifications ELS ne concernent les vérifications de la structure sous combinaisons caractéristiques.

Le bâtiment est soumis aux actions suivantes :

Actions permanentes G_k limitées à une seule valeur notée	G
Actions Variables Q_k limitées aux seules actions :	
Charges d'exploitation notées	I
Charges climatiques :	
Actions dues à la neige	S
Actions dues au vent notées	W
La seule action accidentelle envisagée est	S_A

CHAPITRE VII : JUSTIFICATION DES STRUCTURES EN BETON ARME

	ELU		ELS
	Combinaisons fondamentales	Combinaisons accidentelles	Combinaisons caractéristiques
G+1 action variable	1.35 G+1.5 I 1.35 G+1.5 S 1.35 G+1.5 W G+1.5 W (si soulèvement)	G+S _A	G+I G+S G+W
G+2 actions variables	1.35 G+1.5 I+1.5 $\Psi_{0,S}S$ 1.35 G+1.5 I+1.5 $\Psi_{0,W}W$ 1.35 G+1.5 S+1.5 $\Psi_{0,I}I$ 1.35 G+1.5 S+1.5 $\Psi_{0,W}W$ 1.35 G+1.5 W+1.5 $\Psi_{0,S}S$ 1.35 G+1.5 W+1.5 $\Psi_{0,S}S$	G+S _A + $\Psi_{2,I}I$ G+S _A + $\Psi_{2,W}W$ (mais $\Psi_{2,W}=0$)	G+I+ $\Psi_{0,S}S$ G+I+ $\Psi_{0,W}W$ G+S+ $\Psi_{0,I}I$ G+S+ $\Psi_{0,W}W$ G+W+ $\Psi_{0,I}I$ G+W+ $\Psi_{0,S}S$
G+3 actions variables (si mentionné dans le projet)	1.35 G+1.5 I+1.5 $\Psi_{0,S}S$ +1.5 $\Psi_{0,W}W$ 1.35 G+1.5 S+1.5 $\Psi_{0,I}I$ +1.5 $\Psi_{0,W}W$ 1.35 G+1.5 W+1.5 $\Psi_{0,I}I$ +1.5 $\Psi_{0,S}S$	G+S _A + $\Psi_{2,I}I$ + $\Psi_{2,W}W$	G+I+ $\Psi_{0,S}S$ + $\Psi_{0,W}W$ G+S+ $\Psi_{0,I}I$ + $\Psi_{0,W}W$ G+W+ $\Psi_{0,I}I$ + $\Psi_{0,S}S$

Tableau 03 : Les combinaisons d'actions à envisager pour un bâtiment dans le cas où les vérifications ELU ne concernent que la résistance des éléments structuraux en situation de projet durable ou transitoire et les vérifications ELS ne concernent les vérifications de la structure sous combinaisons caractéristiques.

Avec les valeurs de $\Psi_{0,I}$ et $\Psi_{2,I}$ qui dépendent de la catégorie d'exploitation

$\Psi_{0,S}=0.6$

$\Psi_{0,W}=0.6$ et $\Psi_{2,W}=0$

I-8 Conclusion

Les procédures de calcul aux états limites nécessitent une étude formelle des différentes conditions pouvant conduire à l'effondrement ou à un fonctionnement inadapté. L'effet des différentes actions est comparé à la résistance correspondante de la structure sous des critères de ruines connus (états limites).

Les critères de ruines les plus importants sont l'état limite ultime (effondrement) et l'état limite de service de flèche.

On introduit des coefficients partiels de sécurité séparés pour le chargement et le matériau.

Ces coefficients sont des quantités variables et les valeurs précises qui doivent être utilisées dans les calculs reflètent le degré de variabilité de l'action ou de la résistance ainsi pondérée.

Différentes combinaisons d'actions peuvent aussi nécessiter différentes valeurs des coefficients de sécurité.

Cette approche permet de fournir un niveau de sécurité cohérent.

II- JUSTIFICATIONS VIS-A VIS DE LA STABILITE DES FONDATIONS

II-1 justifications vis-à-vis de la stabilité des fondations superficielles

II-1-1 Justifications

Les états limites à considérer sont définis ci-dessus. Pour les fondations de l'ouvrage, il y a lieu de procéder dans tous les cas aux justifications qui suivent.

II-1-2 Etats limites de mobilisation du sol

II-1-2-1 Etats limites ultimes de mobilisation de la capacité portante

Cet article vise la justification vis-à-vis de la portance. Elle correspond bien toutefois à celle présentée dans l'Eurocode 7 à partir des charges (charge verticale transmise à la fondation V_d et résistance de calcul du terrain sous celle-ci notée R_d), de laquelle elle ne diffère donc que par sa présentation.

$$V_d \leq R_d$$

II-1-2-2 Etats limites de service

Les déplacements des fondations provoqués par la superstructure doivent être examinés tant en terme de déplacement de la fondation entière que de déplacements différentiels des différentes parties de la fondation.

Les charges de calcul à l'état limite de service doivent être utilisées pour le calcul des déplacements de la fondation qui seront comparés aux critères d'aptitude au service.

II-1-2-3 Tassement

Les calculs des tassements doivent comprendre à la fois les tassements immédiats et les tassements différés.

Pour le calcul des tassements dans les sols saturés, les trois composantes suivantes du tassement doivent être prises en compte :

Le tassement sans drainage

Le tassement dû à la consolidation

Le tassement dû au fluage.

II-1-3 Etat limite ultime de renversement

Cette disposition est destinée aux charges fortement excentrées notamment quand l'excentricité du chargement dépasse les 1/3 de la largeur d'une semelle rectangulaire ou 0.6 fois le rayon d'une semelle circulaire.

Ces précautions comprennent :

Un examen soigné des valeurs de calcul des actions,

Le calcul de la position du bord de la fondation en tenant compte des déviations éventuelles lors des travaux.

II-1-4 Etat limite ultime de glissement

l'Eurocode 7 auquel il convient de se reporter, et dans lequel il est demandé de vérifier l'inégalité :

$$H_d \leq R_d + R_{p,d}$$

H_d est la composante horizontale de la charge de calcul, y compris la valeur de calcul des forces de poussées des terres,

R_d est la force de cisaillement de calcul entre la base de la fondation et le terrain.

$R_{p,d}$ est la valeur de calcul de la force résistance due à la pression des terres sur le coté de la fondation qui peut être mobilisée pour le déplacement correspondant à l'état limite considéré et qui est disponible tout au long de la durée de la vie de l'ouvrage.

II-2 Justifications vis-à-vis de la stabilité des fondations profondes

II-2-1 Justifications

Il y a lieu de procéder dans tous les cas aux justifications qui suivent.

II-2-2 Etats limites de mobilisation du sol

Les dispositions du présent article complètent celles relatives à la portance et de la résistance à la traction de l'Eurocode 7. Les deux catégories d'états limites considérés conventionnellement ici sont :

- les états limites de mobilisation locale du sol, qui correspondent au défaut de portance (ou de traction) des pieux pris individuellement ;
- les états limites de mobilisation globale du sol, qui correspondent au comportement du groupe agissant comme un bloc.

II-2-2-1 Etats limites de mobilisation locale du sol

Les termes Q_{min} et Q_{max} utilisés ici correspondent respectivement à $R_{c;d}$ (valeur de calcul de la portance d'un pieu) et $R_{t;d}$ (valeur de calcul de la résistance à la traction d'un pieu) tels qu'ils sont définis dans l'Eurocode 7.

De même, les termes Q_u et Q_{tu} utilisés ici correspondent respectivement à $R_{c;k}$ (valeur caractéristique de la portance d'un pieu – ou portance ultime) et $R_{t;k}$ (valeur caractéristique de la résistance à la traction d'un pieu).

II-2-2-2 Etats limites ultimes

ELU GEO et STR	Q_{min}	Q_{max}
Combinaisons durables ou transitoires	- Q_{tu} (ou $R_{t;k}$) / ($\gamma_R \cdot 1,20$)	Q_u (ou $R_{c;k}$) / ($\gamma_R \cdot 1,20$)
Combinaisons accidentelles	- Q_{tu} (ou $R_{t;k}$) / ($\gamma_R \cdot 1,10$)	Q_u (ou $R_{c;k}$) / ($\gamma_R \cdot 1,10$)

Tableau 04 : les valeurs de Q_{min} et Q_{max} en fonction des combinaisons d'actions considérées

Dans ce tableau, le facteur partiel γ_R représente le facteur partiel sur la résistance dont la valeur, pour les principaux types de pieux considérés vaut 1,1 si le pieu est sollicité en compression et 1,15 s'il est sollicité en traction.

III-DEFINITIONS ET JUSTIFICATIONS DES JOINTS

En construction, les joints désignent les coupures réalisées entre deux parties, chaque partie pouvant se déplacer de manière autonome. Les joints permettent en construction d'absorber les mouvements éventuels de l'ouvrage. Il existe donc différents types de joints.

III-1 Les fonctions des joints

Les joints peuvent remplir 5 fonctions.

En premier lieu, ils permettent de faire face aux changements climatiques et à la **dilatation thermique**. En effet, des écarts de températures importants peuvent provoquer la fissuration des appuis et des façades, voire leur soulèvement. Ce phénomène peut compromettre la stabilité des ouvrages et s'avérer dangereuse pour leurs occupants.

Les joints peuvent également réduire et compenser en partie les conséquences des **tassements différentiels** des fondations engendrées par les forces verticales et horizontales.

Par ailleurs, les joints limitent le phénomène de **retrait du béton** (retrait thermique et hydraulique) lors de son séchage.

CHAPITRE VII : JUSTIFICATION DES STRUCTURES EN BETON ARME

Les joints sont employés pour réduire les conséquences sur les ouvrages des **vibrations** provoquées par la circulation des machines et des véhicules.

Les joints remplissent une dernière fonction : ils permettent d'atténuer la **déformation des ouvrages** sous l'effet de la pression exercée par le vent.

III-2 Les différents types de joints

Il existe 4 types de joints, qui diffèrent selon leur fonction précise.

III-2-1 Joints de dilatation

Le joint de dilatation concerne l'espacement entre deux parties d'un ouvrage et son rôle est de permettre à chacune des parties d'avoir des mouvements indépendamment de l'autre.

Le joint de dilatation permet de réduire les effets de la dilatation en cas de fortes chaleurs, ou ceux du retrait en cas de températures basses.

Les textes réglementaires en vigueur exigent, à défaut d'un calcul thermique, la mise en place de joint de dilatation en fonction de la région d'implantation, de la température et du degré d'humidité caractérisant la région.

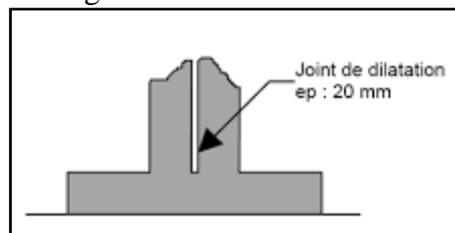


Figure 01 : Joint de dilatation

III-2-2 Joints de retrait

Les joints de retrait ont pour rôle de faciliter le retrait du béton tout en contrôlant la position et les effets d'une éventuelle fissuration.

Ces joints sont réalisés entre les joints de dilatation à la scie mécanique.

La profondeur des joints de retrait doit être comprise entre un quart et un tiers de l'épaisseur du dallage.

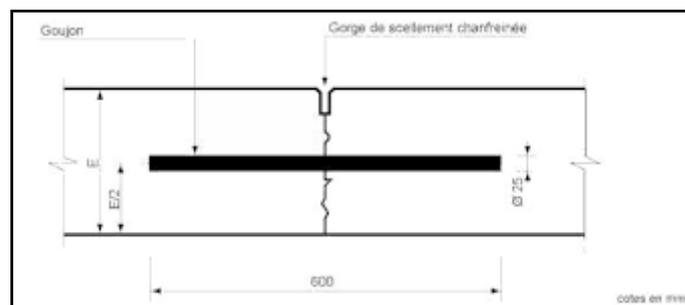


Figure 02 : Joint de retrait

III-2-3 Joints de rupture

Le joint de rupture consiste à diviser les fondations, afin d'éviter les risques liés aux tassements différentiels.

En effet, un risque de tassement différentiel est envisageable dès lors que l'ouvrage est constitué de structures de poids différent, ou qu'une autre construction est accolée à la première.

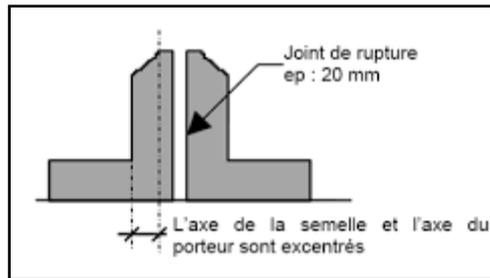


Figure 03 : Joint de rupture

III-2-4 Joints de construction

Les joints de construction sont réalisés lors d'un arrêt prolongé du bétonnage. Selon la taille de la dalle et son utilisation future, des goujons peuvent être insérés, afin de permettre le transfert des charges. Les goujons sont des barres d'acier qui permettent de reprendre des efforts de cisailement tout en laissant libres les mouvements horizontaux.



Figure 04 : Joint de construction

III-2-5 Justification de la largeur des joints sismiques

Deux blocs voisins doivent être séparés par des joints sismiques dont la largeur minimale d_{\min} satisfait la condition suivante :

$$d_{\min} = 15\text{mm} + (\delta_1 + \delta_2) \text{ mm} \geq 40 \text{ mm}$$

δ_1 et δ_2 : déplacements maximaux des deux blocs, calculés au niveau du sommet du bloc le moins élevé incluant les composantes dues à la torsion et éventuellement celles dues à la rotation des fondations.

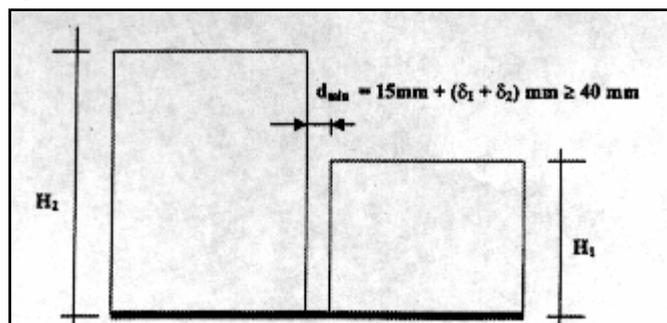


Figure 05 : Joint sismique entre deux blocs.

CONCLUSION ET REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CONCLUSION

L'objectif de ce polycopié est de servir de guide aux étudiants en licence génie civil de l'Université des sciences et de la technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF et aux personnes souhaitant avoir une vue d'ensemble sur les différentes techniques rencontrées au cours des travaux de construction et sur la réglementation en vigueur en matière de calcul et d'exécution dans le domaine du génie civil.

Des références bibliographiques sont données ci-après pour permettre au lecteur d'approfondir chaque chapitre abordé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **J. MATHIVAT et C. BOITEAU**, "Procédés généraux de construction Tome 1 : Coffrage et bétonnage", ENPC, Eyrolles.
2. **J. MATHIVAT et FENOUX**, "Procédés généraux de construction Tome 2 : Fondation et ouvrages d'art", ENPC, Eyrolles.
3. **J. MATHIVAT et J. F. BOUGARD**, "Procédés généraux de construction Tome 3 : Travaux Souterrains", ENPC, Eyrolles.
4. **H.RENAUD et F.LETERTRE**, "Technologie du bâtiment-gros œuvre", Foucher.
5. **A.CHOUCHAA**, "Formulaire pour bâtiment et travaux publics", Entreprise nationale du livre.
6. Règles parasismiques Algériennes RPA 99 version 2003. DTR –BC-2.48.
7. **L.FRUITET**, "Constructions métalliques", Techniques de l'Ingénieur, traité Construction.