



UNIVERSITE AHMED BEN YAHIA EL-WANCHARISSI DE TISSEMSILT

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences et de la Technologie

---

***Cours :***

***Techniques et Règles de Construction***

---

Cours préparé par :

***Mr. BOUZID Haytham***

***Docteur à l'université de Tissemsilt***

***Mars 2022***

## Préface

Le procédé de construction est une suite d'opérations mises en œuvre dans le but de la construction d'un édifice ou d'un ouvrage, et englobant tous les domaines touchant à la structure du bâtiment, notamment les fondations, la maçonnerie, l'étanchéité, etc. Cette suite d'opérations doit respecter les normes et les règlements exigés pour assurer la sécurité, le conforme et l'économie pendant et après le procédé de construction. Par conséquent, l'ingénieur en génie civil doit posséder des connaissances approfondies sur ces règles et normes d'une part, d'autres part, il doit maîtriser les différentes techniques utilisées dans le domaine de construction.

Dans ce contexte, le présent polycopié de cours met en évidence les aspects techniques et technologiques du procédé de construction. En outre, il donne une initiation aux notions de bases des différents règlements appliqués dans la conception des constructions civiles et industrielles. Ensuite, il présente une application des règles de justification des structures en béton armé selon le règlement parasismique Algérien RPA 99 version 2003.

Les cours de ce polycopié sont imposés afin de respecter le programme national. Son contenu est conçu spécialement pour les étudiants de la troisième année Licence en génie civil. Ces cours permettent aux étudiants d'avoir des connaissances préalables sur le domaine de construction, en particulier sur les différentes techniques et règles existantes dans ce domaine.

Pour répondre aux attentes des étudiants, le présent polycopié est structuré en huit chapitres :

- Chapitre 1 : Techniques d'élaboration d'un projet
- Chapitre 2 : Techniques de préparation du chantier
- Chapitre 3 : Techniques de réalisation des ouvrages en béton armé
- Chapitre 4 : Techniques de réalisation des ouvrages métalliques et mixtes
- Chapitre 5 : Introduction aux différents règlements
- Chapitre 6 : Règles parasismiques RPA 99 version 2003
- Chapitre 7 : Justification des structures en béton armé
- Chapitre 8 : Spécification des éléments de structure

Enfin, ce polycopié de cours est clôturé par une conclusion et une partie bibliographique qui englobe les différentes ressources utilisées dans l'élaboration des différents chapitres.

# Tables des Matière

## **Chapitre 1 : Techniques d'élaboration d'un projet**

<b>1.1.</b>	Introduction .....	<b>1</b>
<b>1.2.</b>	Processus de la réalisation d'un projet de construction .....	<b>1</b>
<b>1.2.1.</b>	Phase de planification .....	<b>1</b>
<b>1.2.2.</b>	Phase de réalisation .....	<b>3</b>
<b>1.2.3.</b>	Phase d'exploitation .....	<b>3</b>
<b>1.3.</b>	Conception et dispositions préparatoires pour l'exécution des travaux .....	<b>3</b>
<b>1.3.1.</b>	Phase préparatoire .....	<b>3</b>
<b>1.3.2.</b>	Exécution des travaux .....	<b>4</b>
<b>1.4.</b>	Choix du site et implantation des ouvrages .....	<b>4</b>
<b>1.4.1.</b>	Choix du site .....	<b>4</b>
<b>1.4.2.</b>	Implantation des ouvrages .....	<b>5</b>
<b>1.5.</b>	Investigations géotechniques .....	<b>6</b>
<b>1.5.1.</b>	Sondages et essais in situ .....	<b>6</b>
<b>1.5.2.</b>	Essais en laboratoire .....	<b>7</b>
<b>1.5.3.</b>	Géophysique .....	<b>7</b>

## **Chapitre 2 : Techniques de préparation du chantier**

<b>2.1.</b>	Introduction .....	<b>9</b>
<b>2.2.</b>	Préparation des travaux et organisation des chantiers de bâtiment .....	<b>9</b>
<b>2.2.1.</b>	Réunion de coordination technique .....	<b>9</b>
<b>2.2.2.</b>	Acceptation des sous-traitants et agrément des conditions de paiement ...	<b>9</b>
<b>2.2.3.</b>	Implantation des ouvrages .....	<b>9</b>
<b>2.2.4.</b>	Implantation des réseaux VRD .....	<b>10</b>
<b>2.2.5.</b>	Plan d'exécution des ouvrages .....	<b>10</b>
<b>2.2.6.</b>	Plan d'installation de chantier .....	<b>10</b>
<b>2.2.7.</b>	Préparation administrative .....	<b>10</b>
<b>2.3.</b>	Délimitation et piquetage du chantier .....	<b>11</b>
<b>2.3.1.</b>	Délimitation de terrain (bornage) .....	<b>11</b>
<b>2.3.2.</b>	Piquetage de terrain .....	<b>11</b>
<b>2.4.</b>	Terrassement, remblais et déblais .....	<b>12</b>
<b>2.4.1.</b>	Terrassement .....	<b>12</b>

2.4.2.	Remblais .....	13
2.4.3.	Déblais .....	13
2.5.	Techniques de réalisation d'enlèvement des terres .....	13
2.5.1.	Réduction des surfaces décapées et des emprises temporaires .....	13
2.5.2.	Choix des machines .....	14
2.5.3.	Engagement des machines .....	14
2.5.4.	Accès et pistes de chantier .....	14
2.5.5.	Stockage temporaire et bilan des matériaux terreux .....	15
2.6.	Fouilles de puits .....	15
2.7.	Pilonnage .....	16
2.8.	Reprise de la terre végétale .....	17
2.9.	Tranchées et blindage .....	18
2.9.1.	Blindage des tranchées .....	18
2.10	Talutage .....	21

### **Chapitre 3 : Techniques de réalisation des ouvrages en béton armé**

3.1.	Introduction .....	23
3.2.	Techniques d'exécutions des fondations superficielles et profondes .....	23
3.2.1	Fondations superficielles .....	24
3.2.1.1.	Semelles continues ou filantes .....	25
3.2.1.2.	Semelles isolées .....	28
3.2.1.3.	Radiers .....	30
3.2.2.	Fondations profondes .....	32
3.2.2.1.	Puits (fondation semi profonde) .....	33
3.2.2.2.	Barrettes .....	34
3.2.2.3.	Pieux .....	35
3.2.2.4.	Colonnes ballastées .....	39
3.3.	Techniques de coffrage et de ferrailage des structures de bâtiments .....	40
3.3.1.	Coffrage .....	40
3.3.1.1.	Types de coffrage .....	41
3.3.1.2.	Choix du coffrage .....	43
3.3.1.3.	Réalisation d'un coffrage en bois .....	43
3.3.1.4.	Réalisation d'un coffrage métallique .....	44
3.3.1.5.	Solidité du béton coffré .....	45

3.3.1.6.	Décoffrage .....	45
3.3.2.	Ferraillage .....	45
3.3.2.1.	Préparation des armatures .....	45
3.3.2.2.	Pose en coffrage .....	47

## **Chapitre 4 : Techniques de réalisation des ouvrages métalliques et mixtes**

4.1.	Introduction .....	48
4.2.	Soudage et boulonnage .....	49
4.2.1.	Soudage .....	49
4.2.1.1.	Principales définitions .....	49
4.2.1.2.	Condition d'une bonne soudure .....	52
4.2.2.	Boulonnage .....	53
4.2.2.1.	Types de boulonnage .....	54
4.2.2.2.	Méthodes de serrage .....	55
4.3.	Rivetage à chaud .....	56
4.4.	Goussets .....	57
4.5.	Assemblages .....	59
4.5.1.	Types d'assemblages .....	59
4.5.1.1.	Types d'assemblages articulés .....	59
4.5.1.2.	Types d'assemblages encastrés .....	61

## **Chapitre 5 : Introduction aux différents règlements**

5.1.	Introduction .....	62
5.2.	Généralités et nécessité de la réglementation .....	62
5.2.1.	La réglementation et les normes : sources d'innovation .....	62
5.2.2.	Nécessité de la réglementation .....	62
5.3.	Introduction aux différentes normes de construction .....	63
5.3.1.	Types de normes .....	63
5.3.2.	Conformité aux normes .....	64
5.4.	Normes BAEL et Eurocodes .....	64
5.4.1.	Normes BAEL .....	64
5.4.2.	Normes Eurocodes .....	69

## **Chapitre 6 : Règles parasismiques RPA 99 version 2003**

<b>6.1.</b>	Introduction .....	<b>70</b>
<b>6.2.</b>	Règles générales de conception .....	<b>70</b>
<b>6.2.1.</b>	Choix du site .....	<b>70</b>
<b>6.2.2.</b>	Reconnaissance et études de sol .....	<b>70</b>
<b>6.2.3.</b>	Implantation des ouvrages .....	<b>71</b>
<b>6.2.4.</b>	Infrastructure et fondation .....	<b>71</b>
<b>6.2.5.</b>	Superstructure .....	<b>71</b>
<b>6.2.6.</b>	Modélisation et méthodes de calcul .....	<b>72</b>
<b>6.3.</b>	Critères de classification .....	<b>72</b>
<b>6.3.1.</b>	Classification des zones sismiques .....	<b>72</b>
<b>6.3.2.</b>	Classification des ouvrages selon leurs importances .....	<b>73</b>
<b>6.3.3.</b>	Classification des sites .....	<b>75</b>
<b>6.3.4.</b>	Classification des systèmes de contreventement .....	<b>75</b>
<b>6.3.5.</b>	Classification des ouvrages selon leurs configuration .....	<b>76</b>

## **Chapitre 7 : Justification des structures en béton armé**

<b>7.1.</b>	Introduction .....	<b>79</b>
<b>7.2.</b>	Combinaisons d'actions .....	<b>79</b>
<b>7.3.</b>	Justification vis-à-vis de la résistance, de l'équilibre d'ensemble et de la stabilité des fondations .....	<b>79</b>
<b>7.3.1.</b>	Justification vis-à-vis de la résistance .....	<b>79</b>
<b>7.3.2.</b>	Justification vis-à-vis de l'équilibre d'ensemble .....	<b>80</b>
<b>7.3.3.</b>	Justification vis-à-vis de la stabilité des fondations .....	<b>80</b>
<b>7.4.</b>	Définition et justification des joints .....	<b>82</b>

## **Chapitre 8 : Spécification des éléments de structure**

<b>8.1</b>	Introduction .....	<b>84</b>
<b>8.2.</b>	Spécifications pour les éléments principaux .....	<b>84</b>
<b>8.2.1.</b>	Spécifications pour les poteaux .....	<b>84</b>
<b>8.2.1.1.</b>	Coffrage .....	<b>84</b>
<b>8.2.1.2.</b>	Ferraillage .....	<b>85</b>
<b>8.2.2.</b>	Spécifications pour les poutres .....	<b>86</b>
<b>8.2.2.1.</b>	Coffrage .....	<b>86</b>

8.2.2.2.	Ferraillage .....	87
8.2.3.	Spécifications pour les murs et les voiles de contreventement .....	90
8.2.3.1.	Coffrage .....	90
8.2.3.2.	Contraintes limites de cisaillement dans les linteaux et les trumeaux .....	91
8.2.3.3.	Ferraillages des linteaux .....	91
8.2.3.4.	Ferraillages des trumeaux .....	92
8.2.4.	Dispositions propres aux dalles et aux diaphragmes .....	94
8.3.	Spécifications pour les éléments secondaires .....	95
8.3.1.	Poutres, poutrelles et dalles .....	95
8.3.2.	Poteaux .....	95
8.3.3.	Murs secondaires .....	96
8.4.	Spécifications concernant les matériaux .....	96
8.4.1.	Béton .....	96
8.4.2.	Acier .....	96
Conclusion .....		97
Bibliographie .....		98

# **Chapitre 1**

## **Techniques d'élaboration d'un projet**

## 1.1. Introduction

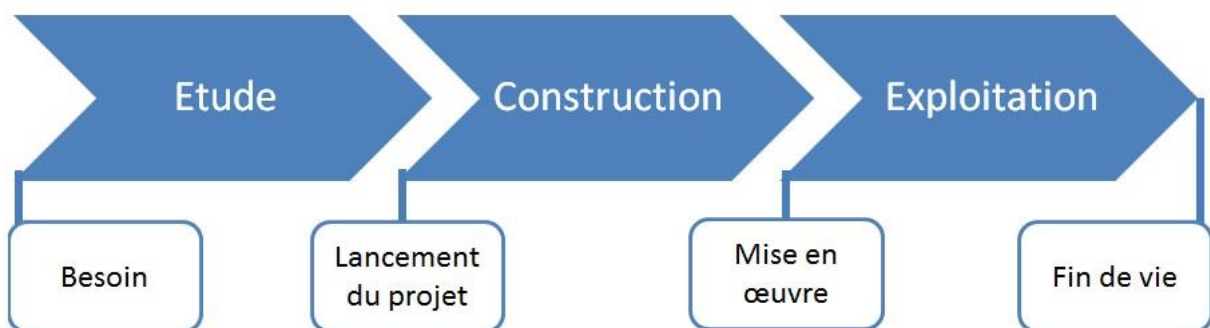
Ce chapitre présente les différentes techniques d'élaboration d'un projet de construction. Premièrement, il présente le processus de réalisation d'un projet, les conceptions et les dispositions préparatoires pour la bonne exécution des travaux. Ensuite, il présente les critères essentiels pour choisir un bon site d'implantation ainsi que les techniques d'implantation des ouvrages. Enfin, ce chapitre présente quelques investigations géotechniques qui peuvent être réalisées sur des échantillons de sol prélevés du site d'implantation. Avant de procéder aux détails du chapitre, il faut comprendre le concept d'un projet de construction.

Un **projet de construction** est un ensemble complexe de tâches et d'activités interdépendantes visant à produire un livrable (construction) déterminé à l'avance, tout en respectant les contraintes de budget, d'échéance et de qualité. Dans ce domaine, ils existent :

- **Le maître d'ouvrage** : Il s'agit de la personne (publique, morale, ou privée) qui décide de réaliser une opération.
- **Le maître d'œuvre** : C'est la personne que le maître d'ouvrage a choisie pour procéder à l'établissement du projet et pour en contrôler l'exécution.

## 1.2. Processus de la réalisation d'un projet de construction

Le processus de la réalisation d'un projet de construction se base sur trois phases principales à savoir la planification, la réalisation et l'exploitation (**Figure 1.1**). Chaque phase contient des différentes étapes.



**Figure 1.1** : Phase de réalisation d'un projet de construction

### 1.2.1. Phase de planification

Cette phase est caractérisée par les trois étapes suivantes :

- a) **Avant-Projet** : Il s'agit de l'étape au cours de laquelle la demande du client est déposée puis analysée pour juger de sa recevabilité ainsi que de l'opportunité du projet soumis.

b) **Études de faisabilité** : Elle permet de cerner la teneur et la portée du projet par

l'énoncé des besoins et la tenue des études préparatoires :

- La programmation des besoins : Les besoins énoncés doivent être complets et détaillés puis consignés dans le programme des besoins (Document) ;
- Les études techniques : Ces études préparatoires visent à identifier toutes les données et les contraintes ayant un impact direct sur le choix de la solution immobilière, le budget, les délais, le scénario de réalisation et le design ainsi que sur la qualité et les performances recherchées. Les études sont planifiées et coordonnées par le gestionnaire du projet. Le développement durable ;
- Le rapport de faisabilité : À la fin de cette étape, le gestionnaire de projet doit produire un rapport faisant sommairement état de l'ensemble des résultats, tirer les conclusions qui s'imposent et faire les recommandations pertinentes aux fins de prise de décision par le promoteur et ses partenaires à l'égard du projet à définir.

c) **Définition du projet** : Cette étape vise à définir le projet à travers :

- La modélisation : Afin de cerner tous les éléments essentiels à l'élaboration du budget de construction détaillé, l'architecte procédera à l'établissement d'un « modèle théorique » de projet en collaboration avec les ingénieurs, estimateurs et autres spécialistes mandatés pour les études ;
- Le budget ;
- Le plan de financement ;
- Le mode de réalisation des travaux : Le mode retenu aura un impact direct sur le budget et l'échéancier du projet ;
- Le scénario et l'échéancier de réalisation : L'échéancier des travaux doit être établi en fonction des objectifs du client ainsi que des contraintes d'ordre financier et organisationnel du projet ;
- Le programme de construction : Le programme de construction constitue le résultat concret de tous les efforts déployés durant la phase de planification d'un projet ;
- L'analyse de la valeur : Dès cette étape, le projet peut être soumis à une analyse systématique afin de réévaluer la pertinence et de la justesse des informations et des décisions prises.

### 1.2.2. Phase de réalisation

Cette phase est subdivisée en cinq étapes :

- a) **Concours d'architecture** : Le concours d'architecture est exigé pour la sélection de l'architecte. Ce mode de sélection oblige d'abord le promoteur à s'adjoindre les services d'un architecte expérimenté qui assumera le rôle de conseiller professionnel tout au long de cette procédure de sélection.
- b) **Plan et devis** : Cette étape permettra de développer les concepts en ingénierie ainsi que dans les spécialités du projet et, par la suite, d'élaborer les plans et devis définitifs pour la soumission : architecture, mécanique, électricité, structure, génie civil et autres. L'architecte a la responsabilité d'assurer la coordination des plans entre les différentes spécialités.
- c) **Appels d'offres** : Afin de bénéficier des meilleurs prix du marché, le donneur d'ouvrage procédera à des demandes de soumissions au moyen d'un appel d'offres public. Cet appel d'offres doit être publié dans les principaux quotidiens nationaux.
- d) **Travaux** : A la suite de l'octroi du contrat de construction par le donneur d'ouvrage, l'étape des travaux débute dès que le gestionnaire du projet transmet « l'avis d'exécution » à l'entrepreneur général.
- e) **Livraison de l'ouvrage** : l'ouvrage est livré, où il est prêt à l'exploitation.

### 1.2.3. Phase d'exploitation

C'est la phase d'exploitation de l'immeuble.

## 1.3. Conception et dispositions préparatoires pour l'exécution des travaux

La bonne exécution des travaux est le résultat de la bonne préparation du chantier. Avant le départ des travaux, il existe une phase préparatoire très importante.

### 1.3.1. Phase préparatoire

Pour que le chantier puisse se dérouler dans les **meilleures conditions possibles**, il doit être préparé correctement en amont. Pour cela, il doit être **préparé d'un point de vue matériel** et d'un point de vue **administratif**. Ainsi, avant de commencer les travaux, pensez à **imprimer le devis** qui est la base du projet validée par l'ensemble des parties.

Ensuite, il faut **coordonner l'intervention des différents intervenants** (dates et horaires d'actions des différents corps de métiers) et leur transmettre les plans. Dans la mesure du possible, **prévenir le voisinage** des nuisances sonores qui peuvent avoir lieu sur la période à venir peut-être un bon point pour éviter les réclamations.

Concernant le chantier à proprement parlé, **prévoir un lieu de stationnement** pour les véhicules et un lieu de stockage du matériel est un préalable nécessaire. De même, pour préparer le chantier et pouvoir gérer les étapes suivantes de manière efficace, il faut déblayer le terrain, détruire les constructions précédentes qui pourraient déjà exister, clôturer le chantier, etc. Le but est de dégager et de sécuriser l'emprise.

### **1.3.2. Exécution des travaux**

En fonction de la nature du chantier, les étapes de l'exécution des travaux peuvent différer. Toutefois, certaines étapes sont communes à tous les chantiers :

- Les terrassements ;
- L'enlèvement et le stockage éventuel de la terre ;
- Les fondations superficielles ou profondes ;
- L'ouvrage en lui-même ;
- Les équipements.

Certains chantiers, tels que les tunnels ou les ouvrages hydrauliques nécessitent des étapes très spécifiques à prévoir dans la planification du chantier mais aussi à contrôler au cours de la réalisation. Dans tous les cas, la communication entre les différents professionnels de la construction est primordiale. Il est en effet nécessaire d'informer très rapidement chacun des acteurs du moindre de changement. L'utilisation de plans détaillés voire d'une maquette numérique 3D peut vraiment être un atout. Dans le cadre de la gestion de chantier, le compte rendu joue un rôle important car il permet de centraliser les informations à chaque étape. De plus, certains éléments sont à prendre en compte comme le plan d'installation de chantier qui doit non seulement être complet, mais surtout lisible.

## **1.4. Choix du site et implantation des ouvrages**

Parmi les enjeux auxquels le domaine de la construction est confronté, il y a le choix du bon site pour implanter les ouvrages. Cette section présente des différents critères afin de choisir un bon site. Ensuite, elle présente les techniques pour l'implantation correcte d'un ouvrage.

### **1.4.1. Choix du site**

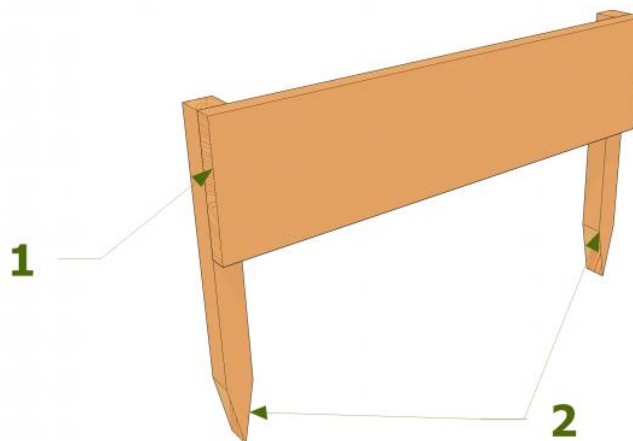
Le choix d'un site d'implantation est la première étape importante. Le site choisi doit être constructible et répond aux critères économiques et environnementaux suivants :

- a) **Gestion espace, qualité paysagère, urbaine et architecturale** : Identifier les atouts et les contraintes des différents sites possibles d'un point de vue économique, environnemental et écologique :
- Liens urbains,
  - Impacts paysagers,
  - Habitats écologiques,
  - Cohérence avec les projets urbains déclinés dans les documents d'urbanismes.
- b) **Accessibilité et mobilité** : Choisir le site en fonction de son accessibilité :
- Cohérence avec les réseaux : routes, chemin de fer, transports en communs, transports doux,
  - Besoins des entreprises : livraison marchandise,
  - Proximité des zones urbaines (habitats salariés, services)
- c) **Eau** :
- Collecter les données existantes pour chaque site,
  - Identifier les dispositifs de traitement des eaux disponibles sur les sites,
  - Évaluer la sensibilité des sites au regard de l'augmentation du ruissellement et de la pollution des eaux.
- d) **Énergie / Climat** :
- Identifier l'orientation et l'exposition des différents sites et les transports induits,
  - Analyser les opportunités collectives de fourniture en énergie, existantes ou potentielles.
- e) **Déchets** : Identifier les dispositifs et les filières de collecte et de traitement des déchets sur le territoire (au regard du type de déchets produits par les futures activités prévues sur la zone) pour étudier les avantages et les inconvénients de chacun des sites.
- f) **Risques industriels et naturels** : Identifier les risques existants (usines et risques industriels, inondations, pollution des sols et la sensibilité des sols et des milieux par rapport à l'accueil d'activités).

#### 1.4.2. Implantation des ouvrages

L'implantation des ouvrages consiste à matérialiser les plans sur le terrain ; cette opération doit être effectuée avec un maximum de précision, afin de déterminer le plus justement possible la position et le niveau des ouvrages et éléments d'ouvrages. L'implantation d'un ouvrage consiste au :

- Nettoyage et débroussaillage avec un nivellement grossier du terrain
- Repérage de l'emprise de l'ouvrage au moyen de piquets posés aux angles de ce dernier
- Mise en place des chaises d'implantation en équerre juste derrière l'emprise de l'ouvrage. Une chaise (**Figure 1.2**) est composée de :
  - 1- Une planche de repère : bien à l'horizontal.
  - 2- Deux piquets pointus.
- Détermination des lignes principales en les matérialisant au moyen de cordeaux ou de fil de fer recuit cloués sur les chaises. Les lignes principales sont déterminées pour les directions orthogonales ou plus généralement suivant les directions principales de ce dernier à l'intersection des cordeaux on repère les axes des poteaux ou des voiles.



**Figure 1.2 :** Chaise en bois

### 1.5. Investigations géotechniques

Les ingénieurs analysent et interprètent la multitude de données géotechniques recueillies. Grâce aux moyens d'investigations qu'ils ont à leur disposition, les ingénieurs sont en mesure de prendre en charge les programmes d'investigations les plus complexes.

#### 1.5.1. Sondages et essais in situ

- Prélèvement et reconnaissance : carottage, destructif, tarière, pelle mécanique, benne preneuse
- Essais mécaniques : pressiomètre, dilatomètre rocher, pénétromètre statique et dynamique, piézocône, phicomètre, scissomètre

- Essais d'eau : Nasberg, Lefranc, USBR (Procédure de détermination de la perméabilité du noyau rocheux), Lugeon, essais de pompage, double anneau, très faibles perméabilités
- Diagraphie : enregistrements des paramètres de forage, diagraphie Gamma-ray, déviation
- Instrumentation : piézométrie, inclinométrie, tassométrie, fissurométrie, extensométrie, jauges de contraintes
- Essais routiers : gammadensimètre, essais de plaque, hauteur de sable, PDG 1000, mesures de déflexion à la poutre Benkelman
- Essai de traction sur clous, tirants et micropieux

### 1.5.2. Essais en laboratoire

- Identification des sols : teneur en eau, granulométrie, sédimentométrie, limites d'Atterberg, limites de retrait, Mesures de la valeur au bleu de méthylène du sol (VBS), teneur en CaCO<sub>3</sub>, essais Los Angeles (LA) et Micro-Deval (MDE), fragmentabilité et dégradabilité, dureté CERCHAR, abrasivité
- Comportement des sols : essais PROCTOR, Indice de portance Immédiat (IPI), CBR, aptitude au traitement
- Mécanique des sols : œdomètre, compression simple, triaxial, cisaillement rectiligne, gonflement-retrait
- Mécanique des roches : compression simple, essai brésilien, cisaillement sur joint, vitesse sur échantillon, essai Franklin, mesure du coefficient de Poisson
- Bétons : cône d'Abrams, épreuves de convenance, compression simple, résistance à la traction
- Coulis de ciment : épreuves de convenance, viscosité Marsh, densité à la balance Baroïd, compression
- Matériaux bitumineux : granulométrie, extraction de liant, température bille-anneau, pénétrabilité, masse volumique

### 1.5.3. Géophysique

- Sismique : sismique parallèle, sismique réflexion et réfraction terrestre et aquatique, ondes de surface (MASW), tomographie sismique, cross-hole, carottage sismique
- Electrique : panneaux électriques, sondages électriques et trainés
- Electromagnétique BF : EM 31, EM 34
- Electromagnétique HF : auscultation radar

Les méthodes géophysiques électromagnétiques basse fréquence en champ proche, type **EM31** et **EM34** permettent l'acquisition, sans contact avec le sol, de données de conductivité électrique dont les variations traduisent les hétérogénéités et les variations de faciès du proche sous-sol.

## **Chapitre 2**

# **Techniques de préparation du chantier**

## **2.1. Introduction**

La phase de préparation d'un chantier de construction est une étape déterminante pour assurer la bonne qualité de l'ouvrage à construire et respecter les délais. Afin d'organiser le chantier d'un point de vue juridique, administratif, matériel et technique tous les intervenants doivent y être associés. La préparation du chantier est passée en revue : personnel, études et méthodes d'exécution, plannings et corps d'état. Lors de la réalisation, la sécurité, la qualité et l'environnement sont des aspects à ne pas négliger. Dans ce contexte, ce chapitre présente les différentes techniques de préparation d'un chantier de construction pour le bon déroulement des travaux.

## **2.2. Préparation des travaux et organisation des chantiers de bâtiment**

Le déroulement des travaux est basé principalement sur la préparation et l'organisation du chantier. Une mauvaise organisation peut engendrer une perturbation des travaux. Dans ce cadre, cette section présente les points essentiels dans la préparation d'un chantier.

### **2.2.1. Réunion de coordination technique**

Le coordinateur des travaux, en concertation avec les entreprises, un ensemble d'interventions d'autant plus complexe que les intervenants sont nombreux et que leurs tâches sont fractionnées dans le temps.

### **2.2.2. Acceptation des sous-traitants et Agrément des conditions de paiement**

La sous-traitance est un contrat par lequel une entreprise confie à une autre le soin d'exécuter pour elle et selon des modalités établies à l'avance, une partie des travaux dont elle conserve la responsabilité économique finale. L'entrepreneur principal doit obligatoirement présenter son sous-traitant au maître de l'ouvrage et obtenir son acceptation ainsi que l'agrément de ses conditions de paiement.

### **2.2.3. Implantation des ouvrages**

Dans le cas de construction de maisons, il est préférable de demander à l'entreprise ou l'artisan de faire l'implantation et de la vérifier ensuite avec lui. Dans le cas de construction de bâtiments de grande taille tels que : école, centre de santé, centre communautaire, etc., le maître de l'ouvrage confie la mission de l'implantation de base des ouvrages à un géomètre sur la base d'un plan de masse. Les principaux axes et alignements sont matérialisés sous forme de repères bétonnés ou de plots coulés. Tous les réseaux et tous les ouvrages enterrés sont positionnés. Les entrepreneurs assurent quant à eux les implantations de détail.

#### **2.2.4. Implantation des réseaux VRD**

Dans le cas de chantier de grande taille, il est généralement primordial d'implanter les réseaux VRD avant le démarrage des travaux, de façon à pouvoir maintenir le chantier hors d'eau, à permettre une meilleure circulation des engins sur le chantier.

#### **2.2.5. Plan d'exécution des ouvrages**

Les plans d'exécution des ouvrages sont ceux qui sont directement utilisés sur le chantier par les différents corps d'état, lors de l'exécution des travaux. Ils sont établis sur la base des études de projet et définissent les travaux dans tous leurs détails. Ils peuvent cependant être précisés par les plans d'atelier et de chantier relatifs aux méthodes de réalisation, aux ouvrages provisoires et aux moyens de chantier. Ils concernent tous les éléments en béton armé, mais aussi les réseaux d'évacuation (eaux usées, eaux grises, eaux pluviales), la charpente, l'appareillage électrique, la distribution d'eau froide et d'eau chaude, etc.

Ces études d'exécution peuvent être confiées au maître d'œuvre, ou aux entreprises, ou être partagées entre eux, en fonction de la définition des rôles de chacun dans les contrats.

#### **2.2.6. Plan d'installation de chantier**

Dans le cas de construction de bâtiments de grande taille : école, centre de santé, etc., le plan d'installation de chantier est nécessaire. Le tracé du plan d'installation comporte les indications suivantes :

- Des voiries et réseaux de chantier.
- Des zones de stockage des matériaux.
- Des installations fixes de chantier.
- Des emplacements du matériel.
- Prévoir les dispositifs de sécurité et de protection de la santé sur chantier.
- Des emplacements de stationnement.

#### **2.2.7. Préparation administrative**

Préalablement au début des travaux, il est nécessaire d'avertir les autorités locales compétentes de l'ouverture du chantier et de respecter les procédures administratives imposées par ces autorités. Chaque pays a sa propre réglementation, il est impératif de se renseigner pour connaître et respecter les procédures.

### 2.3. Délimitation et piquetage du chantier

La délimitation ou le bornage permet de déterminer de façon précise et définitive les limites de propriété. Pour le réaliser, il est conseillé de s'adresser à un géomètre expert. L'étape suivante, le piquetage, consiste à situer concrètement l'implantation d'un bâtiment et de ses équipements annexes, à l'air libre ou enterrés. Avant de commencer à définir le bornage et le piquetage et les techniques pour les réaliser, la figure 2.1 présente les deux tous ensemble dans un même terrain pour mieux différencier entre eux.

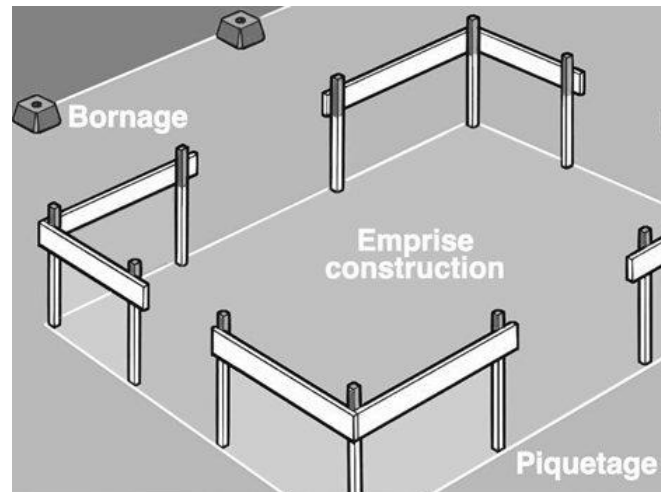


Figure 2.1 : Bornage et Piquetage

#### 2.3.1. Délimitation de terrain (Bornage)

- Le géomètre réalise un relevé topographique, dit de « géoréférencement » afin de matérialiser la limite séparative des deux terrains ;
- Des bornes de géomètre sont ensuite plantées à la massette, aux endroits convenus. Montées sur un piquet équipé d'une pointe anti-arrachement, leur tête doit rester apparente au ras du sol ;
- Les têtes des bornes comportent, en leur centre, un logement destiné à un repère de couleur. Ces repères provisoires facilitent la réalisation du plan de bornage exécuté en dernier lieu.

#### 2.3.2. Piquetage de terrain

- Le piquetage permet de s'assurer que la construction se fasse dans les meilleures conditions. Cette opération aide à savoir si le projet final n'est pas sujet à litige entre deux voisins ;
- Le piquetage permet également de construire les différents éléments du projet au bon endroit ;

- Le piquetage consiste également à préciser les limites de son terrain mais contrairement au bornage, cette opération ne concerne que le propriétaire du terrain et s'effectue à son seul bénéfice. L'opération n'a donc pas de valeur juridique ;
- Au cours de cette opération d'arpentage, les différents éléments d'un projet de construction sont localisés : contours de la maison, dépendances, clôture, portail, réseaux enterrés... ;
- Si un auto-constructeur peut très bien l'effectuer lui-même, il est tout de même préférable de se faire assister par un géomètre. Le professionnel dispose d'un ensemble d'outils apte à garantir la plus totale précision ;
- Le piquetage général correspond aux relevés de surface, tandis que le piquetage spécial concerne les éléments enterrés.

➤ **Placez les piquets**

- L'emprise au sol du bâtiment, de la clôture... est délimitée par des piquets enfoncés aux angles de l'aire d'implantation prédéfinie ;
- Les professionnels utilisent des piquets d'arpentage en bois, peints dans leur partie supérieure pour une meilleure visibilité ;
- Les piquets sont enfoncés au maillet, plutôt qu'à la massette, pour éviter d'éclater le bois. D'une section de 30 x 30 mm environ et de diverses longueurs, ils sont reliés par un cordeau, du ruban de balisage (rayé blanc/rouge) ou des planches à la manière des chaises d'implantation.

## 2.4. Terrassement, Remblais et Déblais

Le terrain d'un chantier doit être bien préparé avant la construction. Les travaux de préparation d'un terrain comprennent généralement les terrassements, les remblais et les déblais.

### 2.4.1. Terrassement

Les terrassements consistent en des déplacements de terre très importants sur des distances notoires, réalisés par passes successives de faibles épaisseurs. Il existe 2 types de terrassement :

- Les terrassements généraux (mise en forme du relief général)** : C'est la mise en place du relief général. Les sols sont travaillés pour une mise à cote des fonds de

forme. Dans le cas où l'usage de l'explosif est nécessaire, celle-ci est soumise à une autorisation.

- b. **Les terrassements ordinaires (liés aux ouvrages de réalisation)** : Ce sont les travaux de préparation du terrain pour les ouvrages à venir (indispensables même lorsque le relief existant n'est pas modifié). Ces travaux sont soit des fouilles (déblais), soit des apports (remblais).

#### 2.4.2. Remblais

Les remblais sont les volumes apportés au chantier. Il existe 2 types de remblais :

- a. **Les remblais ponctuels** : Consistent à refermer des tranchées, à boucher des petits trous.
- b. **Les remblais massifs** : Consistent à boucher de grandes fouilles, à combler des zones naturellement en cuvette. Il est conseillé de remblayer et de compacter par couches de 20 à 30 cm.

#### 2.4.3. Déblais

Les déblais sont les volumes issus des fouilles. Les fouilles peuvent être :

- a. **En excavation** : Pour tous les terrassements sur plus de 25 cm d'épaisseur comme par exemple les piscines, les fondations pour construction.
- b. **En tranchées** : Pour la réalisation des réseaux ou des fondations. Celles-ci ne devront pas dépasser les 2 m de largeur et 1 m de hauteur. Si ces dimensions sont supérieures ou s'il y a un risque d'éboulement, la réalisation de fouilles blindées ou de parois inclinées est recommandée.

### 2.5. Techniques de réalisation d'enlèvement des terres

Les matériaux terreux ainsi que les matériaux d'excavation doivent être décapés et utilisés séparément. C'est pourquoi il convient de déterminer la limite entre ces types de matériaux. La description de l'état initial permet de planifier les mesures préventives adéquates et de reconstituer un sol dans l'état d'origine.

#### 2.5.1. Réduction des surfaces décapées et des emprises temporaires

Le décapage de la terre végétale détruit la structure du sol et la porosité naturelle pour de nombreuses années. C'est pourquoi il faut minimiser les surfaces décapées. Les surfaces temporairement utilisées pour le chantier (installation, dépôt de matériel, etc.) ne doivent pas

être décapées mais protégées par un coffre de gravier posé directement sur le sol non décapé. Une fois protégé, le sol peut supporter de fortes charges et cela durant plusieurs années. Un chantier bien organisé minimise les surfaces décapées, réduit les emprises temporaires et donc les coûts.

### **2.5.2. Choix des machines**

Le choix des machines doit correspondre à la bonne pratique actuelle. La pelle hydraulique munie de godets sans dents est la machine qui permet de décaper et de remettre en état en réduisant les compactations au minimum. La pelle peut être engagée plus tôt après une période de pluie. Les machines idéales sont légères et munies de chenilles larges. L'entreprise doit dresser une liste des machines engagées pour les décapages et la manipulation des matériaux terreux. La liste doit contenir le poids total en ordre de marche, la pression au sol minimale pour l'engagement des machines.

### **2.5.3. Engagement des machines**

La planification du chantier doit prévoir la possibilité d'anticiper ou d'interrompre les décapages selon l'état des sols. La limite de l'engagement des machines se fait avec des tensiomètres qui mesurent la force de succion du sol lorsqu'il se ressuie après une pluie. Cinq tensiomètres sont placés à un emplacement représentatif du terrassement. La valeur médiane est relevée tous les jours durant les décapages et les remises en état. Si la pression de succion est inférieure à 6 centibars, les travaux de décapages doivent être interrompus. Si la pression est de 6 à 10 centibars, le décapage est possible mais les machines ne doivent pas se déplacer sur le sol à moins qu'il ne soit protégé par une piste. A partir de 10 centibars, le décapage est possible. Si le sol est sensible à la compaction (taux élevé d'argile), ces valeurs doivent être majorées de 10 centibars. Pour les petits chantiers, l'appréciation tactile permet d'évaluer si l'état d'humidité du sol permet le décapage. La terre prélevée avec une bêche à 35 cm de profondeur doit s'effriter et se défaire en grumeaux friables. Si la terre est malléable, elle est trop humide, lorsqu'elle colle dans le godet de la pelle, les dégâts de compaction sont inévitables.

### **2.5.4. Accès et pistes de chantier**

La planification du chantier doit utiliser au maximum les accès existants. Les véhicules à pneus ne doivent pas circuler sur le sol naturel. Une piste doit être aménagée pour les machines sur pneus ou les camions. Les pistes de chantier permettent de répartir les charges et de réduire la compaction du sol. Elles sont construites avec du gravier, le gravier est déchargé

sur le sol naturel non décapé, sec et protégé par un géotextile (bidim). L'épaisseur doit être de 50 cm après roulage. Ces pistes permettent aussi de décapé le sol lorsque son état d'humidité ne permet pas d'y circuler. S'il n'est pas possible de construire des pistes, l'utilisation de véhicules légers à chenilles pour les transports (dumper) permet de réduire la pression au sol.

### 2.5.5. Stockage temporaire et bilan des matériaux terreux

L'emplacement et l'accès des dépôts doit être planifié : Les dépôts de matériaux terreux ne doivent pas être trop hauts. La hauteur maximale d'un dépôt d'horizon A est de 2,5 m, (si la teneur en argile dépasse 30%, il faut réduire la hauteur à 2 m). Les dépôts ne doivent pas être aplanis ou lissés. Ils ne doivent jamais être placés dans une cuvette car, en cas d'intempéries, ils risqueraient d'avoir « les pieds dans l'eau » et de s'asphyxier. La surface nécessaire pour les dépôts doit être prévue sur les plans, elle dépend des volumes décapés. L'eau de pluie doit pouvoir s'écouler. Le cas échéant, il faut prévoir des drainages.

## 2.6. Fouilles de puits

Lors de l'exécution des fouilles on peut rencontrer de l'eau. Cette eau a plusieurs origines :

- **Eaux de ruissellement** : sont les eaux provenant des précipitations naturelles telles que pluie, neige, grêle. La crête de la fouille est ceinturée par des rigoles recueillant les eaux de ruissellement extérieures et les évacuant à une distance convenable des fouilles.
- **Nappe phréatique** : sont les eaux souterraines stagnantes, en une quantité plus au moins grande, dont l'écoulement est arrêté par des couches imperméables.

### ➤ **Éliminer l'eau d'une fouille**

- **Lorsque l'arrivée d'eau est ponctuelle**, c'est-à-dire suite à de grosses pluies, il est possible de la **pomper ou de la drainer**. Même si c'est parfois spectaculaire avec des fouilles totalement remplies d'eau. Pour éviter que les eaux de ruissellement ne tombent dans les fouilles, la réalisation de rigoles autour des talus permettra son évacuation loin des excavations.
- **Lorsque l'arrivée d'eau résulte de la présence de sources**, celles-ci même les plus petites, doivent être captées et détournée loin des fouilles et des futures fondations et murs de la maison. Il est important de les éliminer car à la longue, elles peuvent amener de l'humidité ou déstabiliser la construction. Lorsque le niveau de

la nappe phréatique est supérieur à celui du fond de fouille, il faut abaisser le niveau de la nappe et prendre toutes les mesures nécessaires afin que cette eau ne vienne pas déstabiliser le bâtiment. Selon la hauteur de la nappe, ces travaux de pompage et d'assèchement peuvent être importants et coûteux.

## 2.7. Pilonnage

**Pilonner**, c'est à dire frapper une matière au moyen d'un pilon, un objet destiné à écraser, donner des coups répétés pour réduire en poussière.

Il s'agit d'un procédé qui consiste à pilonner le sol en surface avec une masse. L'énergie transmise par chaque impact pénètre dans le sol et produit une déstructuration. Au bout de quelques jours (ou semaines), une restructuration s'opère qui aboutit à des caractéristiques de portance améliorées.

Comme montre la figure 2.2, le matériel est constitué d'un pilon de 8 à 50 t (coque d'acier cubique ou cylindrique pleine de béton armé) manipulé par un engin de levage (jusqu'à 40 m de hauteur de chute). Souvent, plusieurs opérations de compactage sont nécessaires, séparées par un laps de temps de quelques semaines (2 à 6).

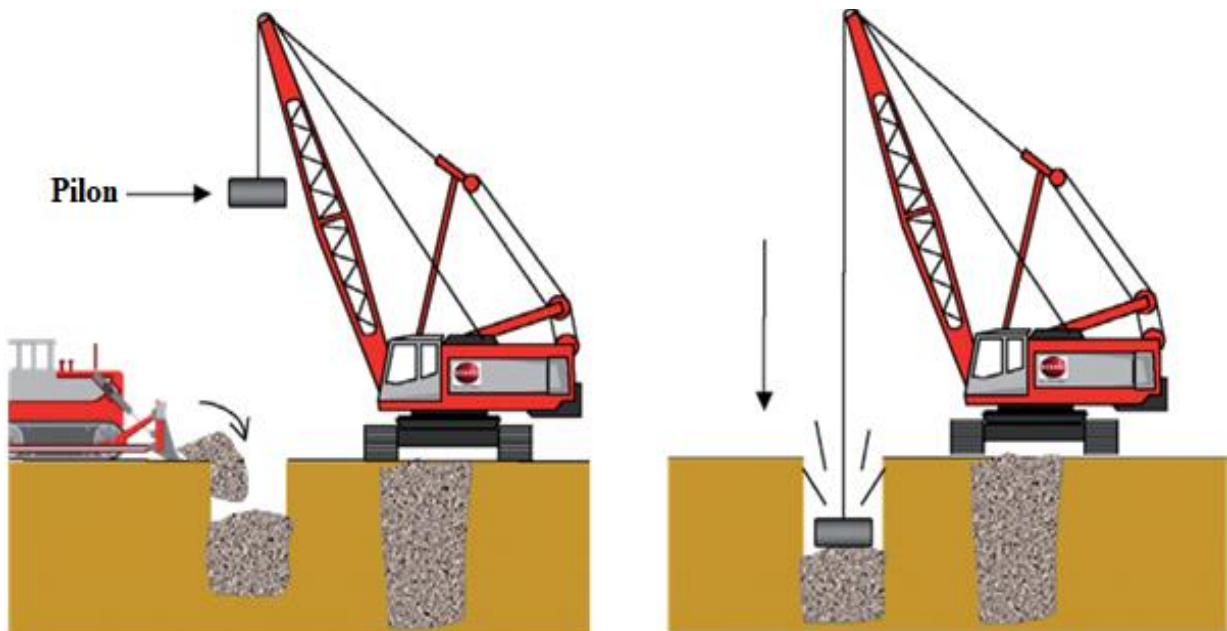


Figure 2.2 : Pilonnage

Le procédé s'applique aux sols sablo-graveleux, et aux matériaux argilo-limoneux saturés à condition qu'il y ait présence d'air occlus (1 à 4%) (cas des tourbes ou des remblais récents avec matières organiques). Son emploi peut être intéressant pour consolider des couches sous l'eau.

Cette méthode permet de traiter en profondeur par des actions de surface des terrains industriels et commerciaux à viabiliser. La consolidation dynamique permet de compacter les sols granulaires de 5 à 10 m de profondeur tandis que la réalisation de plots ballastés permet d'étendre cette technique à des terrains plus cohérents.

## 2.8. Reprise de la terre végétale

**La terre végétale** est une couche superficielle de terre mélangée à des végétaux en décomposition. La terre végétale est souvent stockée provisoirement pour être réutilisée lors des travaux d'aménagements extérieurs.

L'objectif principal du maître de l'ouvrage est la minimisation des surfaces décapées ; pour ce faire, il a pris les options suivantes au niveau du projet :

- Réalisation des pistes de chantier sur les chemins existants ou dans l'emprise du remblai ;
- Construction des fossés drainants de part et d'autre du remblai sans décapage préalable en réalisant des pistes provisoires directement sur la terre végétale enherbée ;
- Stockage de la terre végétale et de la couche intermédiaire directement sur la terre végétale enherbée ; les pistes d'accès au stock sont aussi réalisées sur la terre végétale enherbée ;
- Réalisation dans la mesure du possible des places d'installation des entreprises sans décapage préalable.

En plus, le maître de l'ouvrage tient à réaliser les décapages dans les meilleures conditions possibles, ce qui a pour conséquences :

- La détermination de la nature des sols ;
  - L'élaboration d'un planning général permettant la réalisation des travaux de décapage conformes aux directives en fonction des conditions météorologiques et de la dernière culture ;
  - La mise en place d'un suivi des décapages, du stockage et de la remise en place de la terre végétale et de la couche intermédiaire.
- **Gestion des stocks :** Le maître de l'ouvrage a mis en place une gestion rigoureuse des stocks de terre végétale et de la couche intermédiaire dans le but de :

- Différencier les sols en fonction de leur qualité, notamment isoler les sols faiblement pollués ;
- Gérer les provenances ;
- Gérer les volumes ;
- Planifier les mises en herbe ;
- Gérer l'entretien : fauche et traitement des mauvaises herbes ;
- Planifier les remises en état.

## 2.9. Tranchées et blindage

Une tranchée est une longue excavation, plus ou moins large, destinée à la mise en place de canalisations enterrées (conduites d'alimentation et d'évacuation, drains...) ou à la réalisation des fondations. Une petite tranchée est parfois appelée rigole.

Nécessité pour certains travaux, le creusement de fouilles en tranchées expose les ouvriers à divers risques, parmi lesquels l'ensevelissement. Pour assurer leur sécurité durant l'intervention, les fouilles doivent être blindées.

### 2.9.1. Blindage des tranchées

Le blindage est la seule solution contre les risques d'éboulement. Toute tranchée à parois verticales soit blindée dès lors que **sa profondeur est supérieure à 1.30 m** et que **sa largeur est égale ou inférieure au 2/3 de sa profondeur**. Les entreprises ont longtemps sous-estimé les risques d'éboulement. Sensibilisées lors de formations et de démonstrations, elles sont à présent de plus en plus nombreuses à blinder les fouilles pour assurer la sécurité de leurs équipes. Elles Sont prises en compte :

- La nature du terrain ;
- La profondeur de la fouille ;
- La densité des obstacles rencontrés ;
- Les vibrations voisines ;
- Les conditions hydrologiques ;
- Les surcharges avoisinantes ;
- Les ébranlements dus à la circulation.

#### ➤ Le blindage de tranchées exécutées en bon terrain :

Lorsque le terrain est de bonne tenue, le blindage de tranchées peut être réalisé par **panneaux en bois (Figure 2.3)** ou par **caisson bois (Figure 2.4)**.

Dans le premier procédé, **les panneaux en bois** sont descendus au fond de la fouille puis redressés verticalement contre la paroi. Les boiseurs installent ensuite les étrésillons, bloqués entre les montants ou les longrines des panneaux. Les panneaux en bois peuvent être remplacés par une peau souple en géotextile lorsque les tranchées ont une largeur inférieure à 0.80 m.



**Figure 2.3** : Panneau en bois



**Figure 2.4** : Caissons bois

Le blindage par **caisson bois** permet quant à lui de sécuriser les interventions dans des petites tranchées. Deux parois de planches horizontales de 6 cm d'épaisseur sont assemblées par des montants métalliques (d'une longueur de 2.50 m et d'une hauteur de 50 à 90 cm) et des vérins à vis. Ces éléments de blindage sont descendus dans la tranchée avec un engin de levage. Ils sont ensuite empilés jusqu'à ce que le dernier dépasse d'au moins 15 cm le haut de la tranchée. L'assemblage des parois et le réglage des étrésillons se fait à côté.

➤ **Le blindage de tranchées exécutées en mauvais terrain :**

En mauvais terrain, le blindage doit résister à la pression exercée sur ses parois, être installé sans mettre en danger les exécutants et ne pas se disloquer sous l'effet de la poussée oblique par rapport aux parois de la fouille.

Lorsque les fouilles sont creusées en mauvais terrain, les caissons bois peuvent aussi être remplacés par des **caissons métalliques (Figure 2.5)**. Divers caissons très robustes existent, en acier ou en aluminium, adaptés aux pressions auxquels ils seront soumis et d'une dimension légèrement supérieure à la profondeur de la fouille.

Le blindage par **enfilage** de planches verticales, historiquement privilégié, est peu à peu délaissé au profit d'autres méthodes. Adapté aux fouilles dans lesquelles sont recoupées des canalisations transversales, le procédé de blindage par **ceinture et palfeuilles** (**Figure 2.6**) est utilisé pour des tranchées importantes ou au contraire pour de petites fouilles creusées pour des opérations d'entretien de réseau.



**Figure 2.5** : Caissons métalliques.



**Figure 2.6** : Palfeuilles

Une ceinture, simple (artisanale et aux dimensions de la fouille) ou complexe (composée de profilés en alliage légers reliés par des vérins hydrauliques) est déposée dans un pré fouille d'environ 30 cm. Elle servira d'appui supérieur aux palfeuilles qui doivent être

enfoncées. Pour bloquer la partie inférieure de la palfeuille, l'installateur gardera une fiche d'environ 15 cm dans le terrain.

Le blindage par **cadre à glissières** (Figure 2.7) et **panneaux métalliques** permet quant à lui d'ouvrir surtout des tranchées profondes en évitant la décompression. Des caissons sont constitués avec des cadres verticaux comprenant deux montants à glissières dans lesquelles couissent des panneaux métalliques. Leur enfoncement se fait par havage. Lorsque les tranchées à ouvrir sont d'une profondeur supérieure à 3 m, nous mettons en place des cadres à doubles glissières permettant d'installer deux panneaux superposés et de creuser jusqu'à 7.60 m.

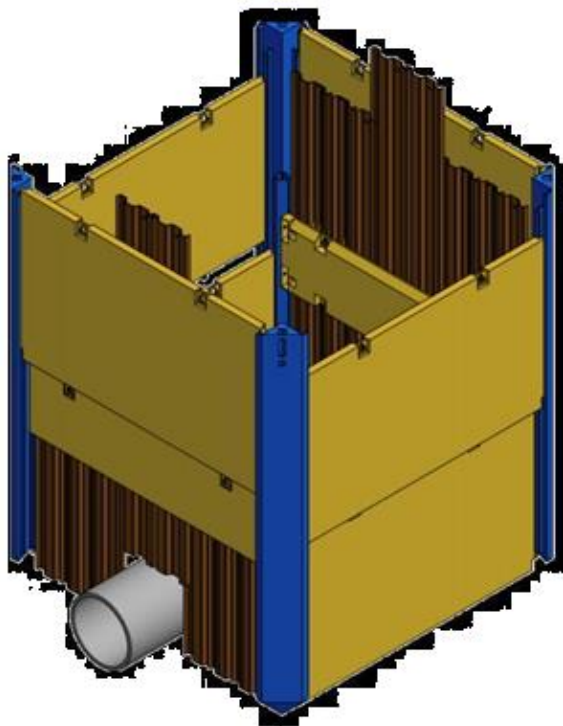


Figure 2.7 : Cadre à glissières

## 2.10. Talutage

Le talutage concerne les terrains en pente. Il fait partie des travaux de terrassement et détermine comment une pente doit être exploitée ou aménagée. Il empêche l'éboulement en éliminant la poussée des terres. Six (6) types de talus sont considérés :

1. Les talus **supérieurs à 1 pour 1**, c'est-à-dire que pour un mètre de déplacement horizontal l'élévation est supérieure à un mètre. Ce type de talus est conseillé pour la réalisation de **protection contre les éboulements** ;

2. Les talus à **1 pour 1**, soit une pente de **100 %**, ce qui représente des talus non accessibles aux engins. Ils comportent un **fort risque d'érosion**. Il est conseillé de les végétaliser rapidement afin que le système racinaire apporte une stabilité superficielle au talus ;
3. Les talus à **3 pour 2**, à **65 %** de pente, ne permettent pas aux engins un accès facile. Ils doivent également être végétalisés car le risque d'érosion est important. En revanche, les **risques d'éboulements sont faibles** ;
4. Les talus à **2 pour 1**, à **50 %** de pente, sont préconisés **pour les accès des engins de tonte**. La mise en place de végétation et d'engazonnement est facilitée avec une telle pente ;
5. Les talus à **3 pour 1**, à **33 %** de pente, sont essentiellement **destinés aux talus paysagers** ;
6. Les talus à **4 pour 1**, à **25 %** de pente, sont facilement **accessibles à tout type d'engin**.

## **Chapitre 3**

# **Techniques de réalisation des ouvrages en béton armé**

### 3.1. Introduction

On entend par éléments en béton armé poteaux, poutres, chaînages, fondations, murs en béton, etc. Les fondations sont les premiers éléments à réaliser au chantier suivi par les autres éléments. Dans ce contexte, ce chapitre présente en premier lieu les différentes techniques d'exécution des fondations en béton armé. Ensuite, les techniques de coffrage et de ferrailage des différents éléments constituant un ouvrage en béton armé sont présentées.

### 3.2. Techniques d'exécution des fondations superficielles et profondes

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, quel que soit le matériau utilisé, sous chaque porteur vertical, mur, voile ou poteau, il existe une fondation. Avant de présenter les différentes techniques d'exécutions des fondations un rappel sur leurs rôles, types et les critères du choix d'un type de fondations est présenté.

➤ **Rôle principal** : La structure porteuse (fondations) d'un ouvrage en béton armé supporte différentes charges telles que :

- **Des charges verticales** :

- Les charges permanentes telles que le poids des éléments porteurs, le poids des éléments non porteurs ... ;
- Les charges variables telles que le poids des meubles, le poids des personnes, le poids de la neige ....

- **Des charges horizontales** :

- Les charges permanentes telles que la poussée des terres ;
- Les charges variables telles que la poussée de l'eau ou du séisme.

➤ **Types de fondation** : Les deux types de fondations sont :

- Les fondations superficielles ;
- Les fondation profondes et spéciales.

Les fondations sont dites superficielles si une des deux conditions suivantes est respectée :  $H/B < 6$  ou  $H < 3 \text{ m}$  (**Figure 3.1**). Avec H : profondeur de la fondation et B : largeur de la fondation.

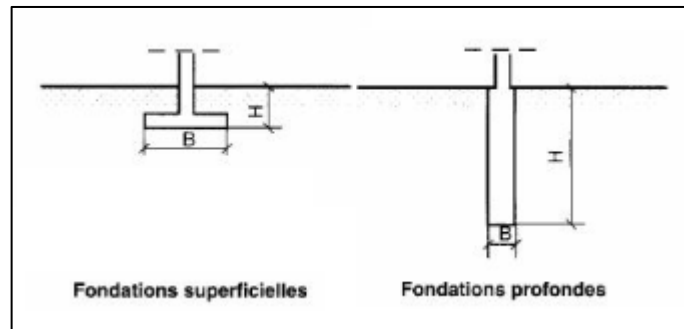


Figure 3.1 : Fondation superficielle et profonde

➤ **Choix de fondation** : Le choix du type de fondation dépend :

- **Type d'ouvrage à fonder** : donc les charges appliquées à la fondation (charges différentes pour une maison individuelle et pour une tour) ;
- **Résistance du sol** : Il est important de faire une bonne reconnaissance de sol. Si la couche superficielle est suffisamment résistante, il sera quand même nécessaire de faire une reconnaissance de sol sous le niveau de la fondation sur une profondeur de deux fois la largeur de la fondation et s'assurer que les couches du dessous sont assez résistantes. Si la couche superficielle n'est pas assez résistante, une reconnaissance des sols devra être faite sur une profondeur plus importante. On choisira toujours la fondation la plus économique.

### 3.2.1. 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. Ce type de fondation est composé de (Figure 3.2) :

- **Béton de propreté** : Il est dosé au moins à  $150 \text{ kg/m}^3$  de ciment. Il évite le contact direct de la semelle de fondation avec le sol et va éviter la souillure de la semelle par le sol lors du bétonnage ;
- **Semelle** : Elle doit être en béton armé dosé à partir de  $350 \text{ kg/m}^3$ . Cet élément de fondation sert à répartir par sa surface d'appui les charges au sol ;
- **Armatures** : Elles se composent soit de barres, de préférence des aciers à Hautes Adhérence (HA), soit de treillis soudés. Elles renforcent le béton qui résiste très peu à la traction ;

- **Mur de soubassement (constructions en parpaings et voiles)** ; Lié à la fondation, il assure la transmission des charges entre les voiles et la semelle ;
- **Drain et tout-venant** : Un drainage périphérique autour du bâtiment n'est pas une obligation et n'est nécessaire qu'en présence d'une nappe phréatique peu profonde. Il se compose d'un drain en béton poreux entouré d'un matériau filtrant ;
- **Arase étanche** : C'est un mortier composé de ciment hydrofuge. Elle évite les remontées d'eau par capillarité dans les murs supérieurs ;
- **Isolant vertical** : Il permet au sol se trouvant à l'intérieur du bâtiment de ne pas geler et d'éviter les ponts thermiques ;
- **Terre pleine compactée** : Uniquement dans le cas d'un dallage, elle lui sert d'assise.

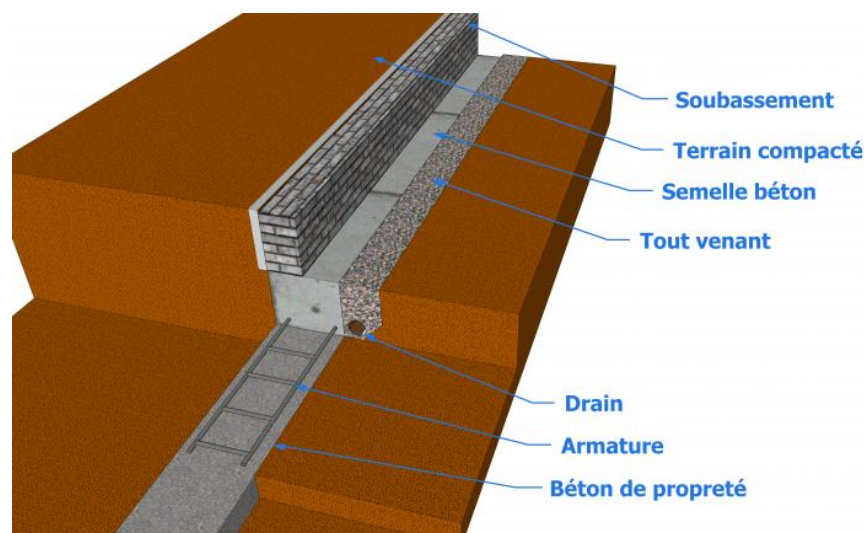


Figure 3.2 : Structure d'une fondation superficielle

Les fondations superficielles sont de trois types :

1. Semelles filantes : placées sous un mur ou plusieurs poteaux rapprochés ;
2. Semelles isolées : placées sous un poteau ;
3. Radiers.

**La réalisation d'une fondation superficielle est interdite en zone sismique.**

### 3.2.1.1. Semelles continues ou filantes

Habituellement, elle est utilisée sous un mur continu (voile) ou plusieurs poteaux rapprochés avec une armature de chaînage et une armature transversale qui servent à équilibrer la flexion de la semelle par rapport au soubassement.

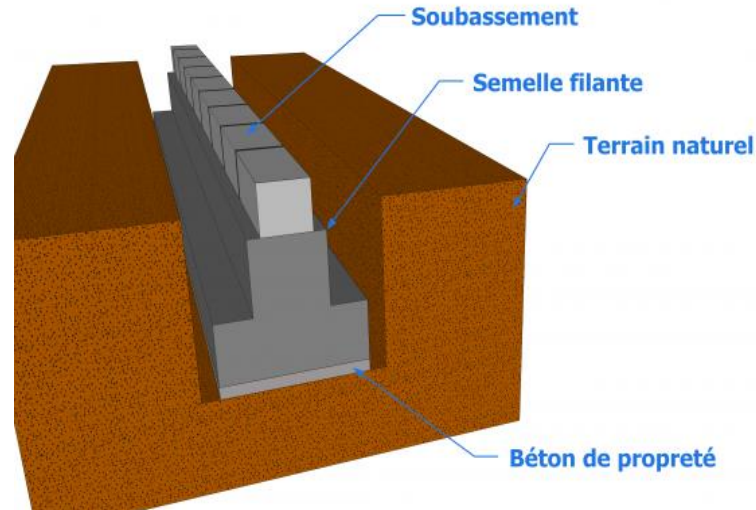


Figure 3.3 : Semelle filante

- **Types de semelles continues :** On peut distinguer 2 types de semelles continues :
  1. **Semelle flexible :** Ce type de semelle dispose d'une faible épaisseur. Il sera le meilleur choix possible pour un sol de mauvaise qualité dans la mesure où elle est la plus économique ;
  2. **Semelle rigide :** Ce type de semelle est utilisée pour un sol de bonne portance.
  
- **Réalisation d'une semelle continue (Figure 3.4)**
  1. **Creuser la tranchée :** Après avoir fini de creuser la fouille, un film polyane peut être glissé au fond et être remonté jusqu'aux bords afin de maintenir la zone de travail propre ;
  2. **Ferraillage :** Après le béton de propreté, poser des ferraillages de semelle au fond de la tranchée. Utiliser des écarteurs en plastique (en bleu sur l'image) afin de ménager un espace d'environ 4 cm avec le fond de la tranchée ;
  3. **Ferraillage « poteaux » :** Poser le ferraillage de poteau par-dessus de la semelle. Pour assurer un bon positionnement, ligaturer avec du fil de fer ;
  4. **Poser des L de raccord :** Découper 6 tors de 10 à une longueur de 60 cm et les plier à 90°. Le principe est qu'un tor puisse assurer l'accrochage au plus profond dans la semelle qui lui est perpendiculaire, de façon à ce que l'arc de cercle soit au plus loin de l'angle intérieur. En rouge, les trois tors supérieurs. En vert, les trois tors inférieurs. En jaune, les ligatures ;
  5. **Coulage du béton :** Le ferraillage doit être recouvert par au moins 4 cm de béton. La hauteur du béton est d'environ 30 cm. Tous les 150 cm, positionner et planter des

tors (en rouge) pour repérer la hauteur finie de la semelle au moment du coulage du béton ;

- 6. Elévation des éléments de la maçonnerie :** Après avoir attendu quelques jours pour que le béton ait le temps de faire sa prise, la semelle est enfin assez résistante pour supporter les charges venant des murs. Nous allons donc procéder à la mise en place de la première assise. C'est l'étape la plus importante dans l'élévation d'un mur. Il faut alors prendre tout son temps afin de vérifier les alignements et la perpendicularité des éléments de la maçonnerie.

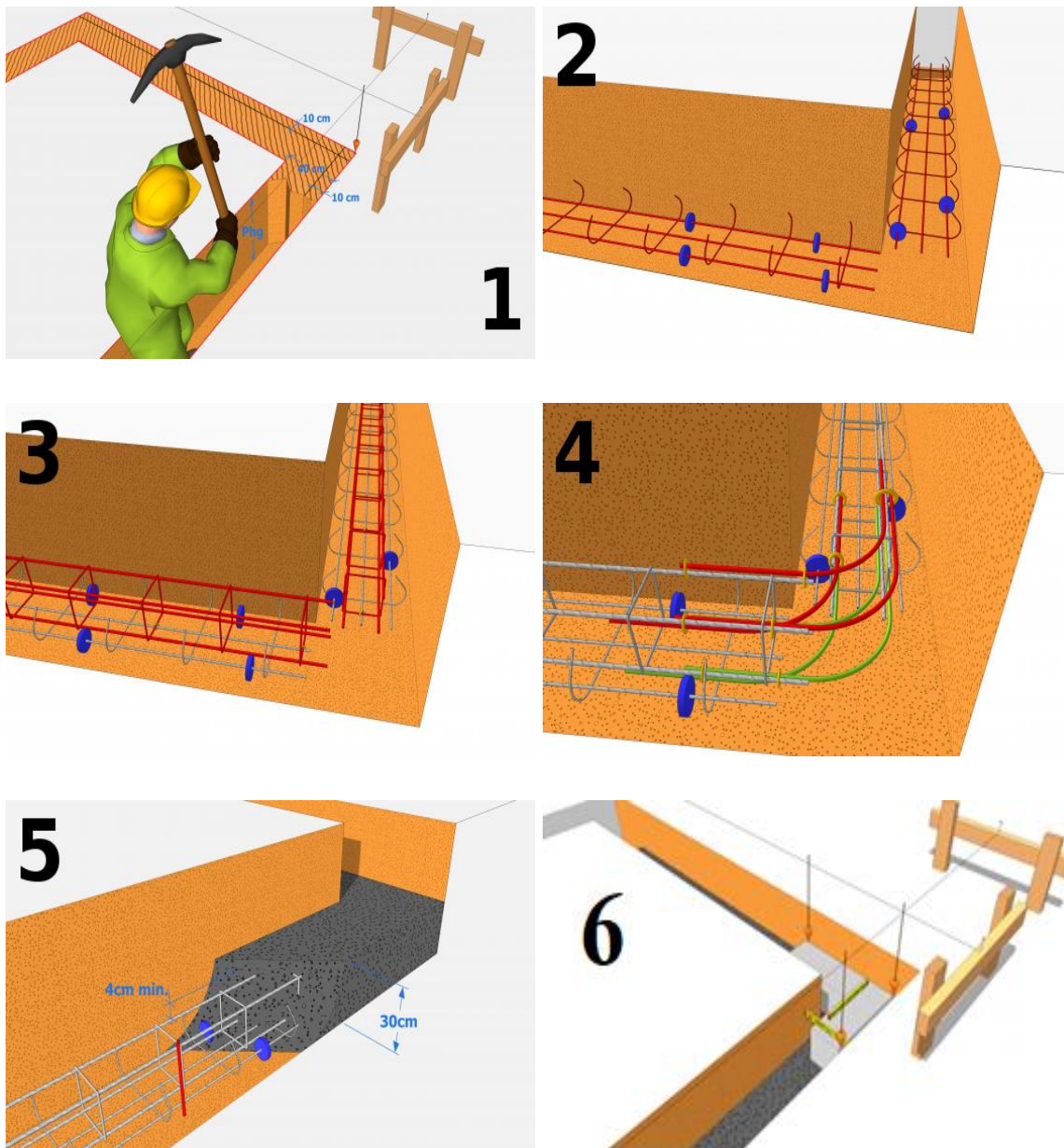
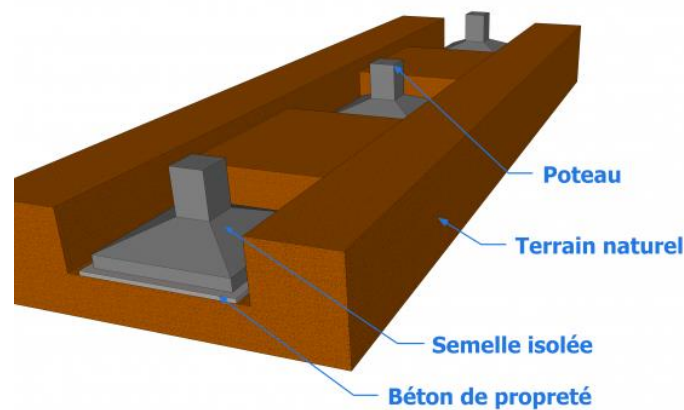


Figure 3.4 : Réalisation d'une semelle continue

### 3.2.1.2. Semelles isolées

Généralement, la semelle isolée (**Figure 3.5**) est utilisée sous les poteaux isolés, les poteaux de rive, les poteaux d'angle ou les poteaux intérieurs. Elle se présente sous une forme géométrique proche du carré ou du rond. Leurs armatures sont assez basses afin de reprendre la flexion de la semelle par rapport à la charge apportée par le fût.

Les fondations doivent être à une profondeur qui est hors d'atteinte du gel : c'est la profondeur dite hors gel. Elle varie en fonction des régions. Elle est fixée à 50 cm environ et en montagne, elle peut atteindre les 1,50 m.



**Figure 3.5** : Semelle isolée.

#### ➤ Formes de semelles isolées

La figure 3.6 présente les différentes formes de semelles isolées.

#### ➤ Conditions de mise en œuvre

- Effectuer l'implantation de l'ouvrage avec la plus grande précision ;
- Les terrassements se font rarement à la main mais la plupart du temps, ils se font à la pelle mécanique ;
- Ne pas effectuer de terrassement par temps de pluie ;
- L'assise doit toujours être horizontale ;
- Curer le fond des fouilles ;
- Mise en œuvre du béton de propreté ;
- Caler les aciers.

#### ➤ Drainage des eaux de ruissellement

Quelles que soient les étapes d'une construction, l'eau toujours est l'ennemi majeur. De ce fait, il faut aussi protéger les assises de fondation. Le mieux est de placer le drain au-

dessus du niveau de la surface supérieure de la fondation (arase) s'il est réalisé contre le soubassement.

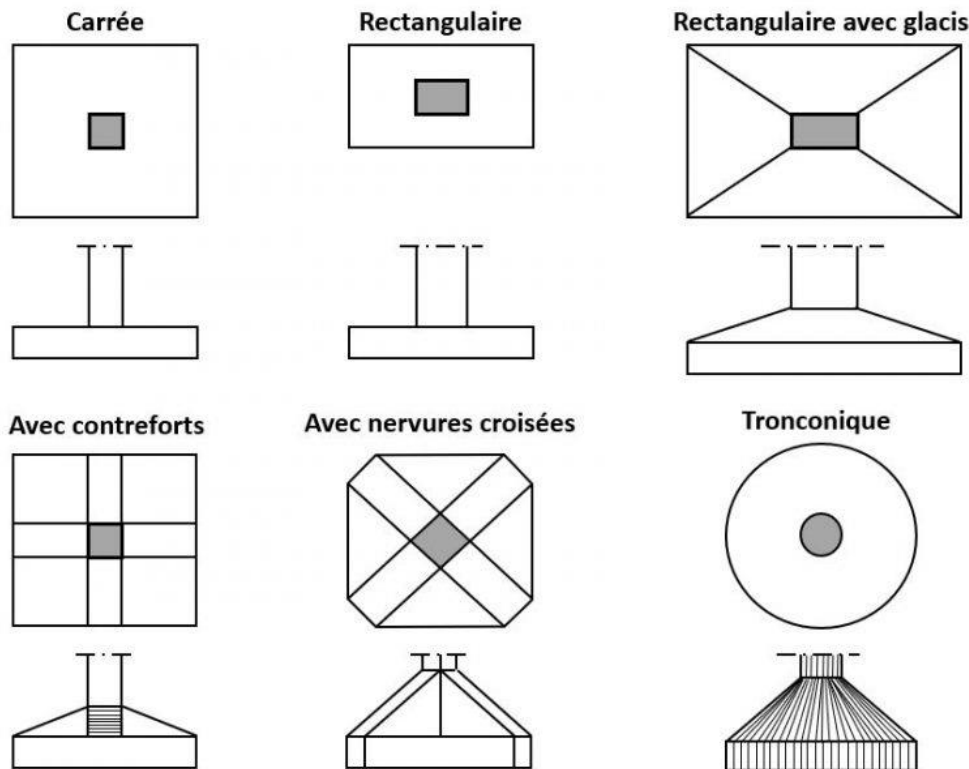


Figure 3.6 : Formes des semelles isolées

➤ **Les joints de dilatation**

Les joints de dilatation ne s'étendent pas jusqu'à la fondation car ils ont pour fonction de permettre le mouvement des structures causé par les comportements des matériaux en œuvre lors des variations de température. Ils sont d'habitude arrêtés soit au niveau supérieur de la fondation, soit au niveau du plancher du rez-de-chaussée ou du sous-sol.

➤ **Les joints de rupture ou joints de tassement**

Ces joints sont réalisés afin de permettre aux structures d'encaisser les variations altimétriques de l'assise des fondations. Aussi, ils sont aussi impératifs dans le cas d'une mise en œuvre de deux modes de fondation sur deux blocs d'un même bâtiment (fondation sur semelle d'un côté et fondation sur pieux de l'autre).

➤ **Profondeur minimale**

Le niveau d'une semelle isolée doit être à une profondeur suffisante pour mettre le sol d'assise à l'abri du gel. Celle-ci dépend de la nature du sol et du climat :

- Minimum 50 cm en zone tempérée ;

- Minimum 1 m en montagne.

➤ **Réalisation d'une semelle isolée**

1. On commencera par réaliser un **fond de fouille** adapté aux dimensions de notre fondation. Pour ce faire il convient de :
  - **Délimiter la surface** de fondation,
  - **Déterminer la profondeur** d'excavation,
  - **Terrasser** à la pelle (manuelle ou mécanique),
  - **Curer le fond de fouille** et l'assécher si nécessaire,
  - Puis on coule une fine couche de **béton de propreté** dosé à 150 kg/m<sup>3</sup>.

Le temps de séchage du béton de propreté est très court : vous pourrez dès le lendemain continuer la préparation de vos fondations.

2. Coffrage éventuel : Il est possible de réaliser une semelle en **pleine fouille** lorsque la profondeur n'est pas trop importante et que les parois sont stables. Dans le cas contraire, il faut **réaliser un coffrage** à l'aide de bastaings et de planches en bois ;
3. Ferrailage :
  - Respectez les **enrobages** (3cm minimum) à l'aide de **cales d'armatures**,
  - Respectez les **recouvrements** indiqués et liez les armatures concernées avec du **fil de fer** à ligaturer. Le recouvrement minimum est de 50 fois le diamètre du fer à béton,
  - Pour le **chainage vertical**, ligaturez à l'aide de fils de fer les équerres de façon à ce que la partie verticale forme un angle droit avec la face inférieure de la semelle.
4. Coulage du béton : tout en contrôlant le bon enrobage des aciers. Vibrez le béton, à l'aide d'une aiguille vibrante, nivelez, talochez et lissez la surface.

**3.2.1.3. Radiers**

Le radier est une grande dalle en béton avec une épaisseur courante de 0,20 à 0,35 m sur une assise bien compactée de tout-venants. La figure 3.7 présente un schéma d'un radier.

➤ Un radier est utilisé dans les cas suivants :

- Un bâtiment avec des charges élevées (exemple : un immeuble),

- Rapprochement des semelles due au rapprochement des poteaux ou la grande largeur des semelles : Quand le rapport entre les descentes de charge et la charge admissible nous force à augmenter la largeur des semelles filantes, il existe certain recouvrement entre les zones d'action des semelles, et à la limite, les semelles se touchent, ce phénomène s'appelle chevauchement des semelles (**Figure 3.8**),
- Pour la construction de bâtiments et de maisons sur des **sols de moins bonne qualité** (terrains instables, argileux),
- En **zone inondable** (risque de remontée de du niveau de la nappe phréatique),
- Lorsque la **portance du sol n'est pas suffisante** pour des semelles ou que le bon sol est trop profond pour y établir des pieux. Le radier répartissant les charges sur une plus grande surface.
- Lorsque l'on construit un ouvrage fortement chargé (exemple : une **piscine**).

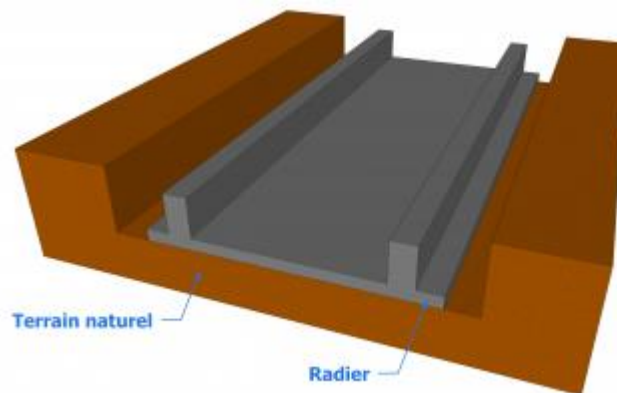


Figure 3.7 : Radier



Figure 3.8 : Risque de chevauchement des semelles

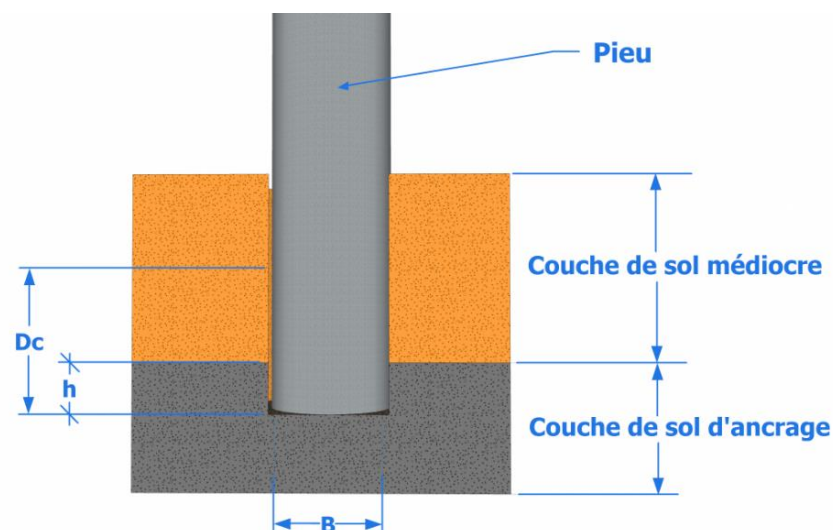
➤ **Réalisation d'un radier**

1. Délimiter la surface ;
2. Réaliser le terrassement ;
3. Mettre en place la couche de forme ;
4. Réaliser le coffrage ;
5. Mettre en place un film polyane sur toute la surface du radier. A noter qu'un radier étant une fondation, il n'est pas possible de mettre un isolant thermique en dessous. Celui-ci devra être disposé au-dessus du radier et recouvert par une chape ;
6. Mise en place du treillis soudé ;
7. Couler le béton : le coulage du béton s'effectue de manière classique : répandre le béton à l'aide d'un épandeur, mise à niveau par tirage à la règle, talochage, lissage et application d'un produit de cure ;
8. Attendre le durcissement du béton (28 jours dans le cas d'une fondation radier).

**3.2.2. Fondations profondes**

Quand le sol de bonne qualité se trouve à une très grande profondeur, il faut chercher à transmettre les charges des fondations au-dessus de ce sol. Les fondations profondes serviront d'intermédiaire pour la transmission des charges jusqu'au bon sol. Ses dimensions (**Figure 3.1**) sont définies par :

- H : Longueur de fondation enterrée dans le sol ;
- B : largeur de la fondation ou diamètre.



**Figure 3.9 :** Fondation profonde

Au-delà de  $H/B > 6$ , et  $H > 3$ , nous sommes dans le domaine des fondations profondes. La figure 3.9 montre la structure d'une fondation profonde (pieu), où  $D_c$  est l'ancrage critique,  $h$  est l'ancrage et  $B$  est la largeur du pieu.

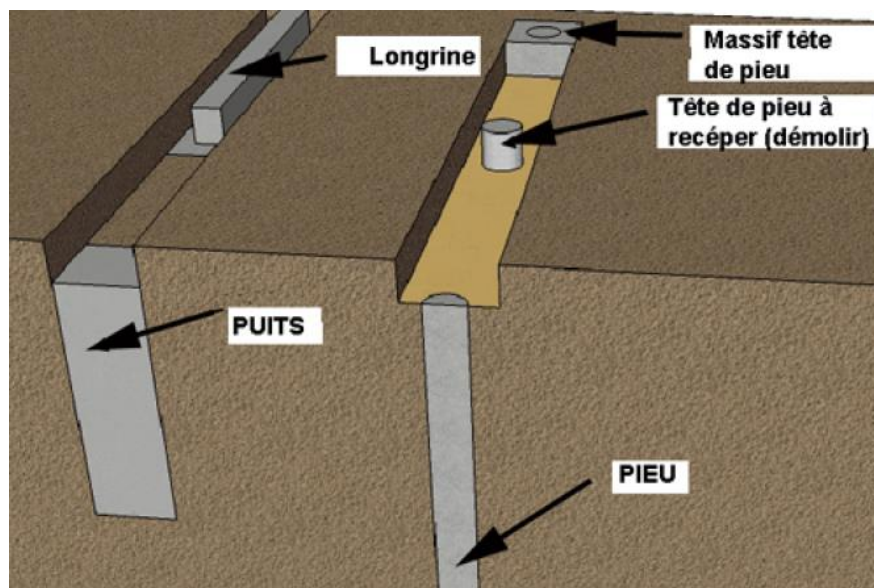
### 3.2.2.1. Puits (Fondation semi profondes)

Ce sont les intermédiaires entre les fondations profondes et les fondations superficielles. Ils sont donc classés parmi les fondations semi-profondes. Autrefois exécutés manuellement, de nos jours, ils sont exécutés par des tractopelles à une profondeur maximale de 5 m. Coulés sur place, ils sont généralement dépourvus d'armatures et sont disposés à une profondeur relativement faible. Le frottement latéral est généralement négligé et on ne considère que le terme de pointe.

La technique du puits est fréquemment utilisée, notamment dans le cadre des chantiers de faible ou de moyenne envergure. Certaines entreprises ont développé une technique permettant de remplacer le béton du puits par du ballast compacté. Dans ce cas, on obtient le puits ballasté qui est fondé sur le principe de substitution du matériau incompetent par un matériau de meilleure qualité et de meilleure compacité.

#### ➤ **Caractéristiques des puits**

Ils sont adaptés à des descentes de charges ponctuelles. Ils sont le plus souvent reliés à des longrines en béton armé sur lesquelles reposent les murs. Ces longrines vont retransmettre les charges vers les puits. En zone sismique, ils doivent être buttés dans les deux directions. Le curage de la fouille est très difficile. La figure 3.10 montre bien la différence entre un puit et un pieu.



**Figure 3.10** : Fondation semi profonde et profonde (puit et pieu)

Théoriquement une fouille en puits est une fouille semi-profonde de forme cylindrique ou carrée :

- Cylindrique, elle fait environ 1 m de diamètre.
- Carrée, elle fait au minimum 0.80 m de large.

➤ **Réalisation puits (Fondation semi profondes)**

L'exécution du puits se fait en plusieurs étapes :

1. Implantation, qui est à réaliser selon les plans du géomètre,
2. Terrassement (avec une benne preneuse ou pelle hydraulique) pour atteindre le « bon sol », C'est l'étude géologique qui indique la couche de terre appropriée pour l'assise des fondations,
3. Constituer une surface de travail plane et propre,
4. Coulage du béton de propreté est faiblement dosé en ciment,  $150 \text{ kg/m}^3$ ,
5. Ferrailage, prévu pour augmenter la résistance (protège des armatures inférieures de toute contamination),
6. Coulage du béton au milieu du puits, le coulage s'effectue au fur et à mesure pour éviter les éboulements ou glissements de terre.

**3.2.2.2. Barrettes**

De par le faible rayon d'action des engins de terrassement, la technique du puits est limitée. Il existe alors des engins spéciaux. Ces engins ont permis de faire des excavations de petite section (largeur de 50 à 120 cm) mais de profondeur importante. C'est ce qu'on appelle la technique des « barrettes ».

Elle permet de reporter directement les charges des fondations sur le bon sol, exactement suivant le schéma du puits. La totalité des charges est transmise par la base de la barrette. La capacité portante d'une barrette peut atteindre plusieurs centaines de tonnes. Elles peuvent être groupées afin d'augmenter la capacité portante.

➤ **Mise en œuvre des barrettes**

Après excavation, elle est tout de suite bétonnée et on prévoit des dispositions pour maintenir les parois de la fouille. On utilise souvent des boues spéciales (boue benthonique). A cet effet, elles sont capables d'exercer une pression sur les parois de la fouille et de retarder leur éboulement. La figure 3.11 résume les étapes de la réalisation d'une barrette.

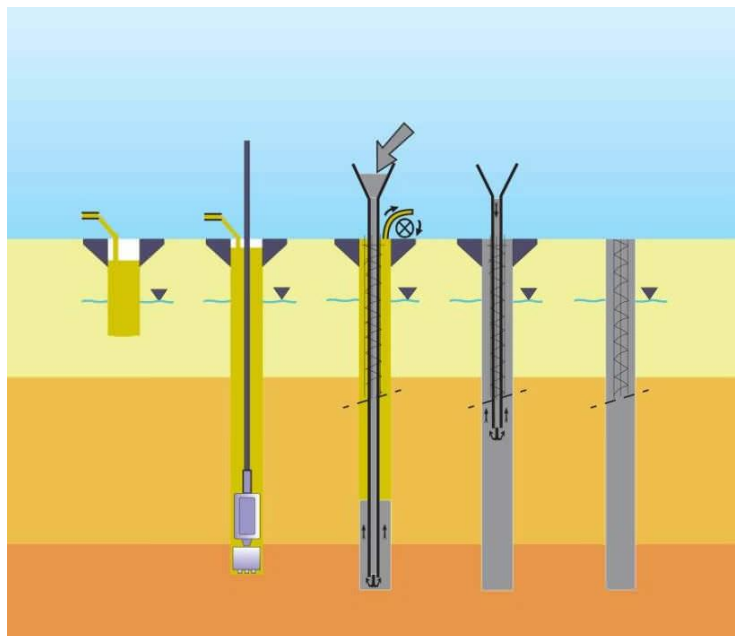


Figure 3.11 : Exécution des barrettes

### 3.2.2.3. Pieux

Par contre si le bon sol est situé à plus de 6 m de profondeur, c'est la technique des pieux qui est employée. Au-delà de cette profondeur, les moyens mécaniques ne sont plus opérants. De ce fait, on doit utiliser des matériels spécifiques. Sur un chantier d'envergure moins importante, la technique des pieux est plus pratique que celle des barrettes. Sa mise en œuvre est facilement adaptable à des conditions variées. Elle permet d'utiliser dans de nombreux cas les forces de frottement latéral.

Trois différentes catégories de pieux sont distinguées :

#### 1. Pieux battus

En gros, il s'agit d'éléments préfabriqués (que ce soit en béton, en bois ou en acier) qui sont ensuite enfoncés dans le sol au moyen de dispositif de battage. Pour les pieux métalliques, ils sont plus complexes. Le tube métallique est battu puis on le remplit de béton. Parfois, le tube est retiré pendant le coulage et il ne reste que la pointe métallique du tube dedans.

Il y a également d'autres techniques pour enfoncer les pieux préfabriqués, notamment le vibro-fonçage qui consiste à placer une charge importante au-dessus du pieu et le soumettre à une vibration importante. Cette technique est très utilisée pour des sols pulvérulents.

Ces pieux ont une capacité portante de 100 tonnes pour des diamètres de 500mm à 800mm.

## **2. Pieux forés**

Ce sont des ouvrages mis en place à l'intérieur d'un trou préalablement réalisé par technique de forage. Dans cette technique, le forage est la partie la plus spectaculaire. Il peut être réalisé à l'aide de machines multiples et variables suivant le terrain à forer. Les plus utilisées sont les tarières (pour un sol relativement tendre) et les machines à rotoperçusion (pour les terrains rocheux).

## **3. Micropieux**

Ce sont des pieux forés de diamètre inférieur à 250mm. Du fait de leur petit diamètre, ils ne travaillent pas en pointe. Leur portance est indépendante du frottement latéral. De ce fait, elles sont bien adaptées aux travaux de rénovation et à la réparation des constructions. Elles sont la solution idéale pour les fondations en bordure de constructions existantes.

### ➤ **Mise en œuvre des pieux**

#### **1. Pieux préfabriqués**

Les pieux préfabriqués sont des pieux prêts à l'emploi constitués d'un seul ou de plusieurs blocs assemblés au fur et à mesure de l'enfoncement. Ces pieux sont généralement mis en place par la technique de battage, par vibration ou par enfoncement hydraulique. Pour le cas de la technique de battage, les pieux les plus utilisés dans ce domaine sont les pieux en béton armé, en bois, en acier ou même en béton précontraint.

- Leur mise en œuvre est effectuée à l'aide d'un engin de battage qui enfoncera le pieu jusqu'à obtention d'un « refus ». Afin de protéger les pieux contre l'émoussement ou d'éventuels endommagements, sa tête est enveloppée d'une pointe en acier et le bout d'une ceinture en acier appelé « casque de battage », ceci sera retiré après le battage.
- Pour la technique d'enfoncement par vibration, généralement les pieux en acier sont utilisés pour avoir une bonne réaction. Ces vibrations font dissiper la terre sur la pointe des pieux et facilitent l'enfoncement sans aucune force de battage. On arrête lorsque l'on obtient un refus prématuré.

Une fois que le pieu est mis en place, on casse la tête. C'est ce qu'on appelle le « recépage ». On peut aussi les mettre en place en exécutant une excavation. On introduit alors le pieu puis on recouvre les vides par de la terre. Pour la technique de l'enfoncement hydraulique, les pieux doivent être en acier. Ils sont enfoncés par un vérin hydraulique que l'on associe à une mâchoire métallique. Celle-ci s'agrippe au pieu pour l'enfoncer puis on la

relâche quand le vérin reprend sa position initiale. L'avantage de cette technique est qu'elle ne fait aucun bruit et ne nécessite aucune vibration.

La figure 3.12 présente les trois étapes de la mise en place d'un pieu préfabriqué, à savoir :

1. Excavation,
2. Pose du pieu,
3. Comblement du vide.

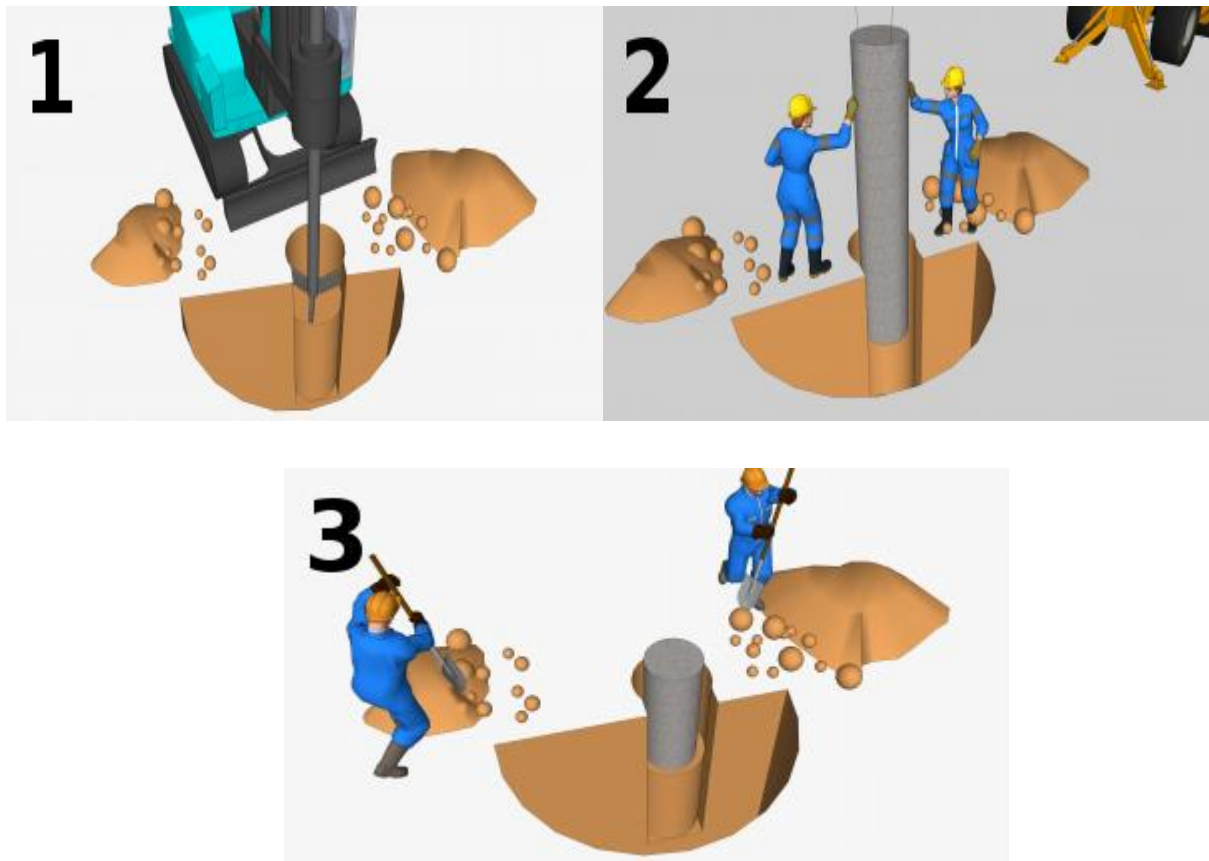


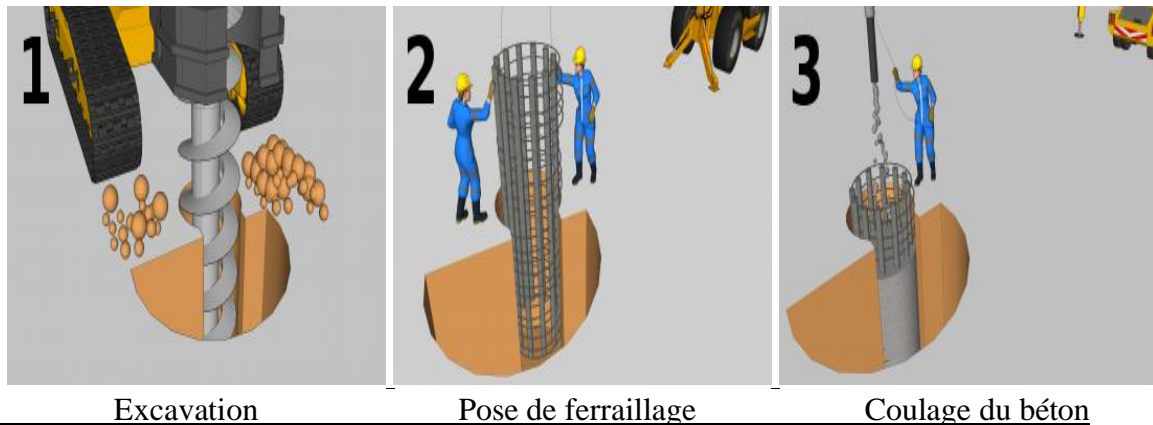
Figure 3.12 : Mise en place d'un pieu préfabriqué

## 2. Pieux coulé sur place

Les pieux coulés sur place sont exécutés directement sur le chantier. Ils sont en béton armé. Cette technique part du principe qu'il faut creuser un trou puis couler le béton à l'intérieur. Le coulage peut se faire en deux façons différentes :

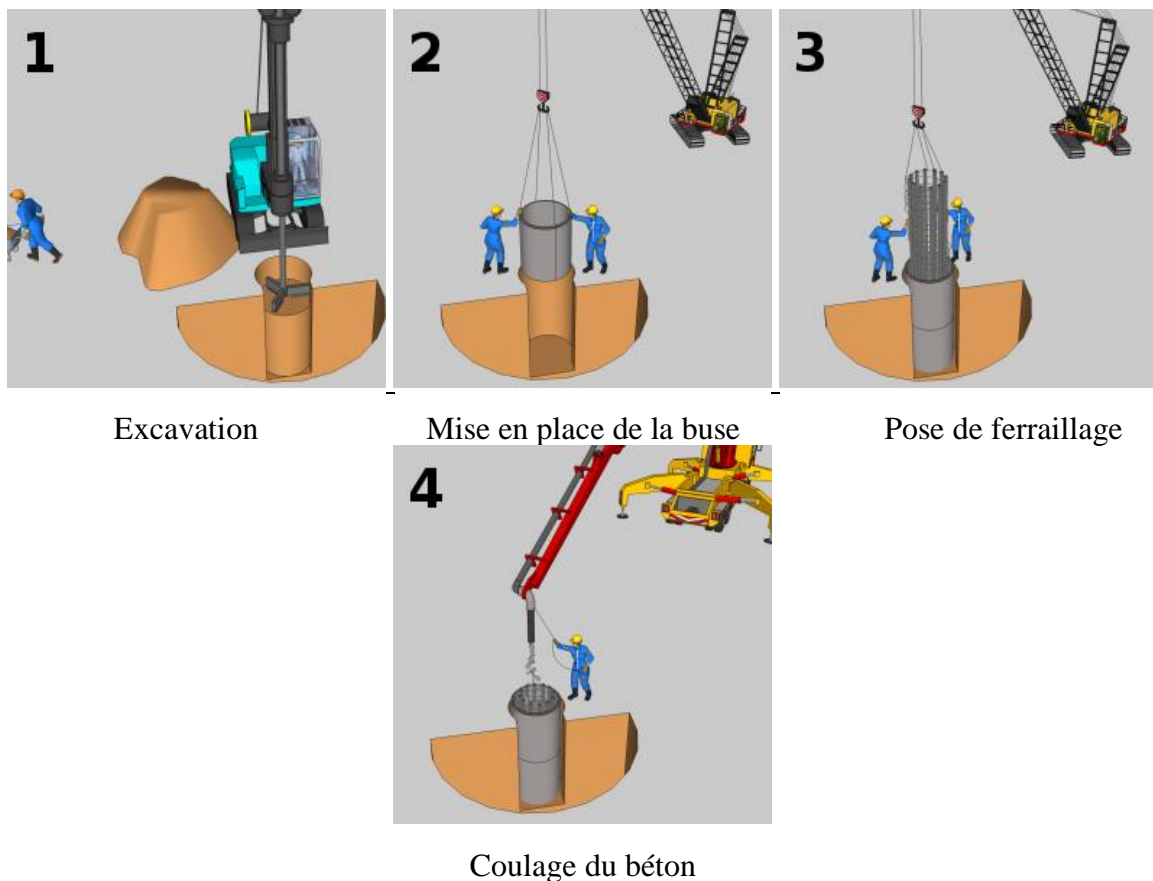
- Coulage avec maintien des parois,
- Coulage sans maintien des parois.

Comme montre la figure 3.13, à l'aide d'un engin d'excavation, un trou est creusé, puis la mise en place des armatures et ensuite le coulage du béton.



**Figure 3.13** : Mise en place d'un pieu coulé sur place

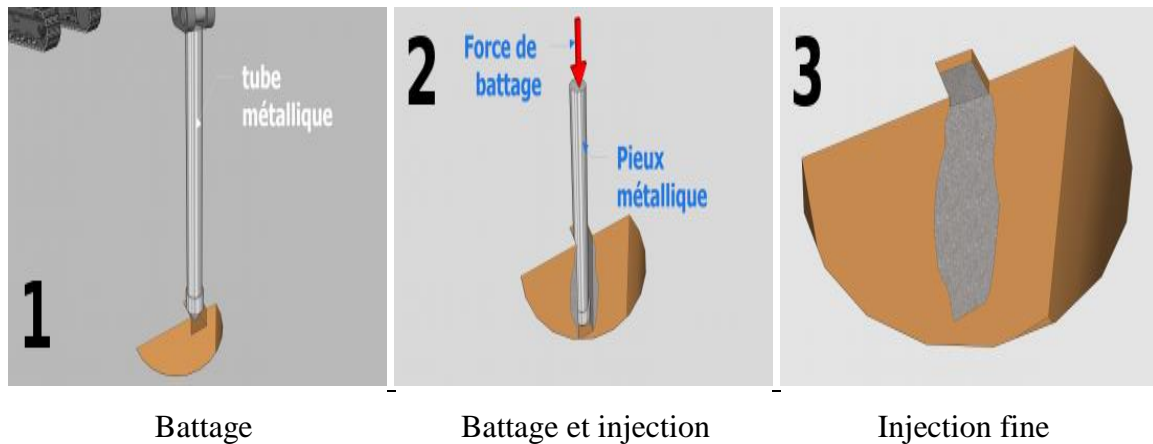
Des buses en béton ou bien des tubes en acier peuvent être introduits pour soutenir les parois de l'excavation. Puis, la pose des armatures et le coulage (**Figure 3.14**).



**Figure 3.14** : Mise en place d'un pieu coulé sur place à l'aide des buses ou des tubes en acier

Il existe un autre procédé qui consiste à réaliser le coulage en même temps que l'excavation. L'extraction de la terre à l'aide d'une vis géante, ensuite le remonter à la surface

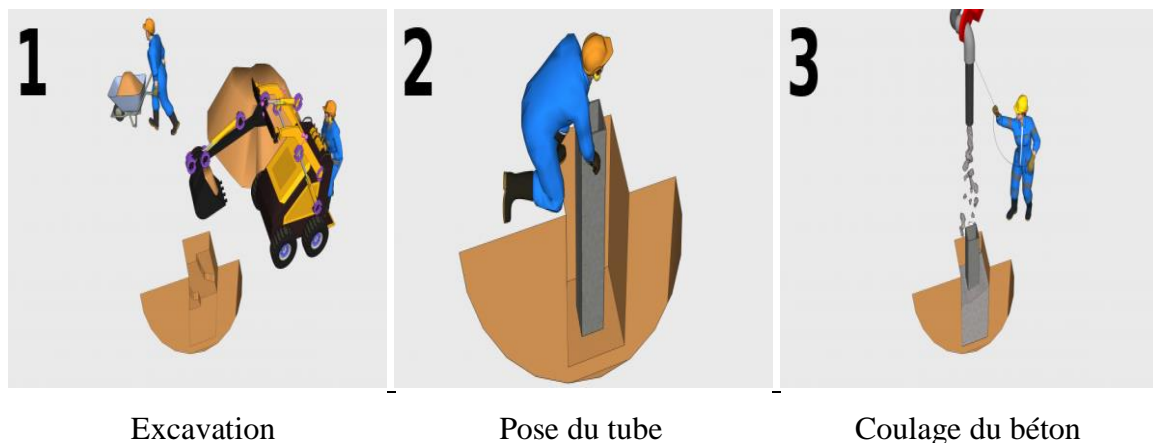
et simultanément, l'injecte d'un coulis de béton avec les petits ports qui se trouvent sur la vis. L'injection peut être effectuée par un tube métallique enfoncé par battage. Le béton est alors coulé en même temps que l'enfoncement du tube. Celui-ci est ensuite retiré. Cette technique est illustrée dans la figure 3.15.



**Figure 3.15** : Mise en place d'un pieu coulé sur place par battage

Il existe aussi des pieux enrobés. Ce type de pieux peut se faire comme suit (**Figure 3.16**) :

1. Réalisation d'une fosse,
2. Introduction d'un tube métallique,
3. Remplissage des vides avec du béton.



**Figure 3.16** : Mise en place d'un pieu coulé sur place (enrobé)

#### 3.2.2.4. Colonnes ballastées

La technique des colonnes ballastées relève du principe de fondation profonde mélangé au traitement des sols. Le but étant d'améliorer les caractéristiques du sol en alliant les colonnes, ou les zones résistantes, avec le terrain qui a subi de forte compression lors de la réalisation des colonnes. Les colonnes ballastées sont plutôt intéressantes pour un chantier

plus ou moins important et le coût est relativement faible. Néanmoins, le coût de l'installation est très élevé. Les colonnes ballastées classiques offrent des portances de 20 à 30 tonnes par unité pour un diamètre allant de 0,60 à 1,20m.

➤ **Mise en œuvre des colonnes ballastées**

- L'excavation. Pour cela, il n'y a pas de matériels spécifiquement désignés. En effet, n'importe quel engin fera l'affaire.
- Remplissage de pierres du genre ballast et compactage à l'aide d'un pilon qui est introduit dans le trou.

### **3.3. Techniques de coffrage et de ferrailage des structures de bâtiments**

Le coffrage et le ferrailage sont des étapes importantes d'une construction en béton armé. La présente section donne une description de ces étapes et donne aussi quelques techniques pour les réaliser.

#### **3.3.1. Coffrage**

Le coffrage est un assemblage (structure) provisoire de bois ou d'acier qui va maintenir le béton jusqu'à ce qu'il soit sec, utile pour :

- Donner la forme souhaitée au béton ;
- Maintien du béton au cours de la période de séchage ;
- Donner un état de surface au béton.

Les travaux de coffrage s'effectuent en trois étapes :

- Assemblage et érection ;
- Mise en place du béton ;
- Décoffrage et démontage.

Les coffrages doivent :

- Être suffisamment rigides et stables pour supporter la poussée du béton frais (tout particulièrement dans le cas des bétons fluides ou autoplaçants), sans se déformer y compris pendant la phase de vibration et assurer le maintien du béton jusqu'à sa prise et son durcissement ;
- Être non absorbant ;
- Être stables pour garantir la sécurité sur le chantier ;
- Être étanche pour éviter les fuites de laitance, en particulier en pied de banches et aux joints, et à l'ajustage des mannequins ;

- Permettre d'obtenir la texture de surface souhaitée pour satisfaire en particulier les exigences architecturales ;
- Être « décoffrable » pour ne pas endommager le béton lors du décoffrage.

### 3.3.1.1. Types de coffrage

Selon sa nature et son utilisation, le coffrage peut être :

#### 1. En bois

Du fait de sa texture et de ses possibilités d'assemblage, le coffrage bois présente de nombreux avantages pour les bétons apparents structurés et pour les ouvrages de formes complexes et non répétitives. Les planches utilisées pour les coffrages doivent être suffisamment épaisses pour éviter un gauchissement (27 à 40 mm), tirées d'essences de bois exempts de tanin, secs et stabilisés. Pour certaines applications, on utilise des bois poncés, rabotés ou traités pour mettre, par exemple, le veinage en valeur.

Pour les surfaces importantes et planes, le coffrage peut être réalisé en panneaux de contreplaqué. Mais il est également utilisable pour les petits éléments de forme complexe, du fait de sa facilité de découpe.

Pour un grand nombre de réemplois, on utilise surtout des panneaux de type ctb x (contre-plaqué marine imperméable) en épaisseur de 16 à 19 mm, dont la surface peut être bakéalisée pour augmenter encore sa longévité.

#### 2. Métalliques

Les coffrages métalliques se sont beaucoup développés en particulier dans le bâtiment. Ils permettent de rationaliser la mise en œuvre du béton et contribuent à l'amélioration de la productivité du chantier. Leurs possibilités de réemploi sont appréciables pour des éléments à caractère répétitif – voiles verticaux, planchers et poteaux. L'utilisation de raidisseurs permet la réalisation d'éléments de grandes surfaces. Ce type de coffrages a su évoluer en fonction des besoins :

- Coffrages modulaires ;
- Coffrages repliables pour le transport ;
- Tables coffrantes ;
- Coffrages glissants, grimpants, à géométrie variable ;
- Coffrages tunnels pour les programmes d'une certaine ampleur utilisant une trame déterminée ;
- Banques support de prédalles...

### 3. En matériaux de synthèse

Les matériaux de synthèse sont surtout utilisés pour réaliser la peau du coffrage. Ils apportent une bonne qualité de parement et se démoulent facilement. Ce type de coffrages est intéressant pour l'obtention de reliefs variés, grâce à des matrices thermoformées en pvc ou en polyéthylène, ou à des matrices sculptées en polystyrène expansé.

### 4. Grimpants

Pour des constructions hautes et répétitives, il est intéressant de pouvoir hisser le coffrage, non pas à l'aide d'une grue, mais avec des vérins fixés au coffrage lui-même et s'appuyant sur la partie déjà bétonnée et durcie. Il s'agit de coffrage grimpeur qui permet donc des bétonnages par levées successives.

L'utilisation de coffrages grimpeurs est très courante pour les piles de ponts ou les réservoirs. Ils sont la plupart du temps réalisés sur mesure en fonction de la géométrie de l'ouvrage.

### 5. Glissants

Lorsque le coffrage se déplace en continu à faible vitesse, on dit que c'est un coffrage glissant. Le coffrage glissant suit en continu les opérations de coulage du béton. Il est adapté à la réalisation de structures élevées de géométrie simple : piles de ponts, silos, ou pour la réalisation de glissières de sécurité en béton : GBA. Cette technique permet d'éviter les reprises de bétonnage.

### 6. Verticaux

Les coffrages verticaux servent à la réalisation de murs, voiles et poteaux. Un coffrage vertical est composé en particulier :

- D'une face coffrante en contreplaqué ou en acier ;
- D'une ossature en métal ou en bois ;
- D'un dispositif de réglage de la verticalité.

### 7. Horizontaux

Les coffrages horizontaux servent en particulier la réalisation des dalles et des poutres. Le coffrage est réalisé sur mesure à l'aide d'un système composé d'étais, de poutres (primaires et secondaires : bastaing et madriers) et de panneaux de contreplaqué ou de

bois massif. Les fabricants proposent des poutres spécifiques en bois ou en aluminium de raideur importante (poutre en i) permettant de s'adapter à toutes les solutions.

## 8. Perdus

Les coffrages perdus sont très répandus pour la réalisation des éléments horizontaux. Ils présentent des avantages : rapidité d'exécution, simplicité des matériels, intégration des armatures, manutention simplifiée, tels sont les avantages de ces solutions.

## 9. Sous forme des moules

Pour la réalisation de pièces préfabriqués.

### 3.3.1.2. Choix du coffrage

Les éléments à prendre en comptes pour le choix d'un type de coffrage sont :

- Economique ;
- L'adaptation aux formes prévues et la modularité ;
- La facilité de mise en œuvre et de réglage ;
- La disponibilité dans l'entreprise ou sur le marché de la location ;
- Le poids du coffrage, nécessitant ou non des moyens de levages ;
- La sécurité des salariés lors des phases de coffrages, de ferrillages et de bétonnages ;
- Le parement à obtenir (béton brut, soigné, enduit, lasuré ...) ;
- Les spécifications éventuelles du contrat ;
- Possibilités de réutilisations (durabilité) ;
- Taux de rotation.

### 3.3.1.3. Réalisation d'un coffrage en bois

Il faut d'abord commencer par choisir les planches. Si vous avez opté pour la récupération, il faut s'assurer qu'elles soient bien droites et qu'elles présentent des arêtes bien franches, pour pouvoir créer des angles parfaits (indispensables dans le cas d'une dalle extérieure).

Ensuite, il faut couper les planches à la bonne dimension. Pour cette opération, vous devez vous servir soit d'une scie égoïne, soit d'une scie sauteuse, soit d'une scie circulaire. Il ne reste plus ensuite qu'à disposer les planches. A noter que le coffrage doit être réalisé après le terrassement.

Pour l'assemblage du coffrage, il y a plusieurs techniques. Si le coffrage est utile pour la réalisation d'une terrasse en béton ou d'une fondation de plusieurs mètres de long, il est conseillé de se servir de cales ou de piquets tous les cinquante centimètres. Autrement, des déformations peuvent se présenter. Il faut par ailleurs que tout soit parfaitement de niveau pour éviter tout problème lors du coulage du béton. Grâce au coffrage, le béton ne se répand partout et on bénéficie de guide pour couler la dalle et la lisser à niveau.

#### **3.3.1.4. Réalisation d'un coffrage métallique**

- **Matériels requis pour concevoir un coffrage métallique de qualité**

Plusieurs matériels sont indispensables pour réaliser un coffrage métallique, dont des panneaux modulables présentant des dimensions différentes selon l'épaisseur de la paroi à construire pour couler le béton liquide. L'usage de peaux à poser à l'intérieur de ces panneaux est également recommandé afin d'avoir une finition personnalisée. Les experts du gros œuvre préconisent souvent l'utilisation de raidisseurs pour garder la forme de la paroi. En effet, ces équipements permettent d'offrir à la paroi la forme souhaitée sans déformer la banche. Il faut aussi établir des systèmes de fixation qui joueront le rôle de pieds à la banche métallique. Ils serviront à maintenir cette dernière en place dans la position souhaitée. Si jamais la hauteur des banches métalliques est élevée, il se peut que des dispositifs de cheminement soient exigés notamment les rampes, l'échelle ou la passerelle.

- **Techniques de mise en œuvre**

Généralement, deux banches suffisent pour ériger une paroi. Elles seront disposées de part et d'autre de l'édifice tout en tenant compte de l'épaisseur de la paroi à construire. Pour ce faire, il vaut mieux utiliser un engin de levage qui permettra de réunir les banches à l'emplacement voulu. A noter que les coffrages métalliques ont la spécificité d'être lourds d'où la nécessité d'utiliser des machines de levage spécialisées pour déplacer les pièces qui les constituent. La réalisation d'un coffrage métallique est règlementée par la norme NF P 93-350 qui correspond aux équipements de sécurité qui accompagnent les banches elles-mêmes. Il ne reste plus qu'à disposer les banches de manière à former le coffret et fixer les verrous à boulonnage et les entretoises.

Pour que les banches restent bien en place, il faut savoir le type de banche à stabilisation à utiliser parmi les 3 existants à savoir celui à ancrage au sol, celui à contrepoids et enfin,

celui par couplage. Ces dispositifs doivent impérativement être conformes aux règles de sécurité car la solidité de la structure construite en dépend.

#### **3.3.1.5. Solidité du béton coffré**

Pour que le béton coffré soit plus solide, il faut planter régulièrement un bâton dans le béton pour colmater d'éventuels trous pouvant se former dans la masse. Ensuite, quand le coffrage est rempli, il ne reste plus qu'à vibrer le béton en frappant avec un marteau. Le but de cette opération est d'éliminer les bulles d'air et de renforcer la solidité du béton. Il faut aussi lisser le dessus en se servant d'une taloche. Il ne reste plus ensuite qu'à laisser durcir pendant plusieurs jours.

#### **3.3.1.6. Décoffrage**

Une fois que le béton a pris, il est temps maintenant de penser au décoffrage. C'est une démarche délicate. En effet, les arêtes du béton coulé deviennent fragiles une fois que le béton a séché. Il faut donc être méticuleux lors du décoffrage. Pour ce faire, il faut retirer un à un les piquets de maintien que vous aviez placés lors du coulage du béton. Faites aussi de même pour les chevillettes de maçon plantées dans le sol. Mais même si les piquets sont retirés, les planches adhèrent toujours au béton. Pour les décoller, il faut procéder doucement pour ne pas briser les arêtes.

L'opération de décoffrage peut être facile si vous avez utilisé de l'huile de décoffrage qui est à enduire aux planches de coffrage avant le coulage du béton. Autrement, il faut commencer par donner quelques coups de marteau sur les planches. Les vibrations, cette fois-ci, servent à désolidariser le coffrage du béton. Normalement, des interstices apparaissent après quelques coups d'une intensité modérée. Il ne faut surtout pas insérer un burin ou un tournevis dans les interstices, autrement vous abîmeriez le béton qui vient d'être coulé.

### **3.3.2. Ferrailage**

Le cycle des armatures englobe toutes les opérations qui, partant des aciers en barres ou en couronnes, se terminent lorsque les armatures ont été mises en place dans le coffrage et contrôlées avant bétonnage.

#### **3.3.2.1. Préparation des armatures**

Les armatures utilisées peuvent être commandées ou préparées au chantier.

##### **➤ Armatures commandées**

- **Le premier cas** est celui d'une commande d'armatures coupées-façonnées à un armaturier chargé uniquement de la fabrication.

- **Le deuxième cas** concerne la commande d'armatures à livrer assemblées dans toute la mesure du possible. Ce type de commande peut être passé par une société spécialisée dans la pose des armatures ou par une entreprise de gros œuvre en maçonnerie ou en béton armé.

➤ **Armatures préparées au chantier**

**1. Dressage**

La recherche d'une diminution des chutes d'acier et d'une meilleure productivité a conduit à un développement des aciers livrés en couronnes plutôt qu'en barres. Limité à l'origine aux petits diamètres, ce conditionnement existe aujourd'hui jusqu'au diamètre 20mm. Cette opération est réalisée dans une dresseuse. Le principe consiste à faire passer le fil dans une « chicane » constituée de cadres tournants ou de galets. Certaines machines (dresseuses) effectuent uniquement le dressage et la coupe en barres droites, d'autres (cadreuses) réalisent le façonnage directement après cette opération.

**2. Coupe**

C'est une opération simple qui s'effectue, soit directement sur les barres avec des cisailles mécaniques, soit sur les dresseuses dans le cas des fils livrés en couronnes. Dans les cadreuses, la coupe est effectuée en fin de façonnage.

**3. Façonnage**

Le façonnage est réalisé à froid. Dans le cas des fils, le façonnage s'effectue directement après le dressage dans des cadreuses. Les formes sont programmées par l'opérateur à partir des documents de production.

Pour le façonnage des armatures avec des rayons très élevés, (par exemple les cerces de réservoirs circulaires ou armatures d'arcs ou de voûtes), les cintreuses à trois galets (**Figure 3.17**) sont utilisées ou le façonnage se fait par une succession de plis.



**Figure 3.17** : Cintreuse trois galets

#### 4. Assemblage

L'assemblage des armatures coupées façonnées (appelé couramment montage) est réalisé soit en usine, soit sur chantier soit, le plus souvent, de façon mixte. L'assemblage en usine est plus rapide et plus économique mais peut entraîner des coûts de transport plus élevés. Les choix sont effectués en fonction du volume des cages à transporter, de la distance entre atelier et chantier et du processus de pose en coffrage.

En atelier, l'assemblage est réalisé par soudure. Il s'agit le plus souvent uniquement de soudures « de montage » dont la fonction est d'assurer le bon positionnement et le maintien des armatures façonnées y compris pendant leurs transports, leurs manutentions et la mise en place du béton. Les soudures doivent assurer la continuité mécanique d'une armature.

##### 3.3.2.2. Pose en coffrage

La pose en coffrage des armatures est réalisée soit à partir d'armatures coupées façonnées soit à partir d'armatures assemblées à l'aide d'un engin pour les grands volumes. Voilà quelques recommandations dans la pose des armatures en coffrage :

- Nettoyage du coffrage ;
- Traçage du niveau de béton avant la pose du coffrage ;
- Respecter l'enrobage des armatures ;
- Utilisation des calles.

## **Chapitre 4**

### **Ouvrages métalliques et mixtes**

#### 4.1. Introduction

Les ouvrages métalliques sont les bâtiments industriels et commerciaux (usines, hangars...), les ouvrages d'art (passerelles, ponts...), les ouvrages de génie civil (pylônes, plates-formes de forage, remontées mécaniques...) et à un degré moindre, les bâtiments d'habitation. D'autres part, les ouvrages mixtes sont des ouvrages construits en acier et en béton (pont mixte...).

La construction en acier présente plusieurs avantages à savoir :

- **La légèreté** : Les constructions en acier sont, en général, plus légères que celles en béton armé ou précontraint, en bois, en pierre...
- **La solidité** : Grâce à l'homogénéité des matériaux utilisés en construction métallique ;
- **La résistance mécanique** : Grande résistance à la traction, bonne tenue aux séismes (ductilité + mêmes résistances à la traction et à la compression) ;
- **L'industrialisation** : La préparation et la mise en forme des éléments de structures en acier se font en atelier. Ces éléments arrivent sur le chantier, prêts à être montés et assemblés ;
- **L'imperméabilité** : L'acier se caractérise par son imperméabilité (fluides : liquide + gaz) ;
- **Les possibilités architecturales** : Beaucoup plus étendues qu'en béton ;
- **Les modifications** : Aisément (facilité) réalisables.

D'autre part, la construction en acier présente certains inconvénients comme :

- **La corrosion** ;
- **La mauvaise tenue au feu nécessitant des mesures de protection onéreuse (coûteuse)** : Le module d'élasticité de l'acier commence à diminuer à partir de la température  $T=200^{\circ}\text{C}$ . L'acier perd sa capacité portante et passe à l'état plastique à partir de la température  $T=600^{\circ}\text{C}$  ;
- **La susceptibilité aux phénomènes d'instabilité élastique** : En raison de la minceur des profils.

En outre, les assemblages sont aussi le point faible des constructions métalliques. A cet effet, le présent chapitre met en évidence les techniques d'assemblage, dont les différents modes de fixation utilisés dans ce domaine sont présentés.

## 4.2. Soudage et boulonnage

### 4.2.1. Soudage

Le soudage est une méthode de fixation. Le cordon de soudure provenant de la fusion d'une partie des deux pièces à assembler ou d'un métal d'apport crée une continuité de matière entre ces pièces. La continuité métallique entre les deux pièces ne peut en effet être obtenue qu'à partir d'un état liquide, ce qui permettra la naissance de grains communs lors du refroidissement. La soudure présente :

- Des avantages à savoir :
  - Continuité de matière, donc bonne transmission des efforts ;
  - Pas de pièces secondaires ;
  - Moindre encombrement, étanche, esthétique.
- Des inconvénients à savoir :
  - Le métal de base doit être soudable
  - Le contrôle est obligatoire et onéreux
  - Le contrôle exercé par les soudeurs est aléatoire
  - Nécessité d'une main d'œuvre qualifiée et d'un matériel spécifique

#### 4.2.1.1. Principales définitions

La figure 4.1 présente deux pièces soudées, cette figure montre les éléments suivants :

- **Métal de base** : matériau soudé ;
- **Métal d'apport** : métal apporté lors du procédé de soudage pour créer le cordon de soudure ;
- **Racine** : endroit jusqu'où le métal d'apport a pénétré ;
- **Face** : surface extérieure de la soudure ;
- **Pied** : ligne de séparation, sur la face de la soudure, entre le métal de base et le métal d'apport ;
- **Zone affectée thermiquement** : partie du métal de base qui n'est pas rentré en fusion avec le métal d'apport mais qui a subi un échauffement et un refroidissement très rapide au passage de l'arc de soudage. Dans cette zone le matériau de base est soumis à un durcissement et peut dès lors acquérir un comportement fragile ;
- **Dimension de gorge « a »** : distance minimale de la racine à la face de la soudure, sans prise en compte des concavités ;

- **Longueur d'un cordon de soudure « L »** : distance longitudinale de la soudure dans le sens du déplacement de mise en œuvre.

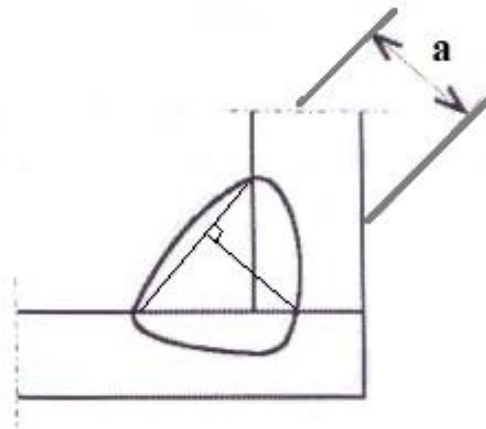
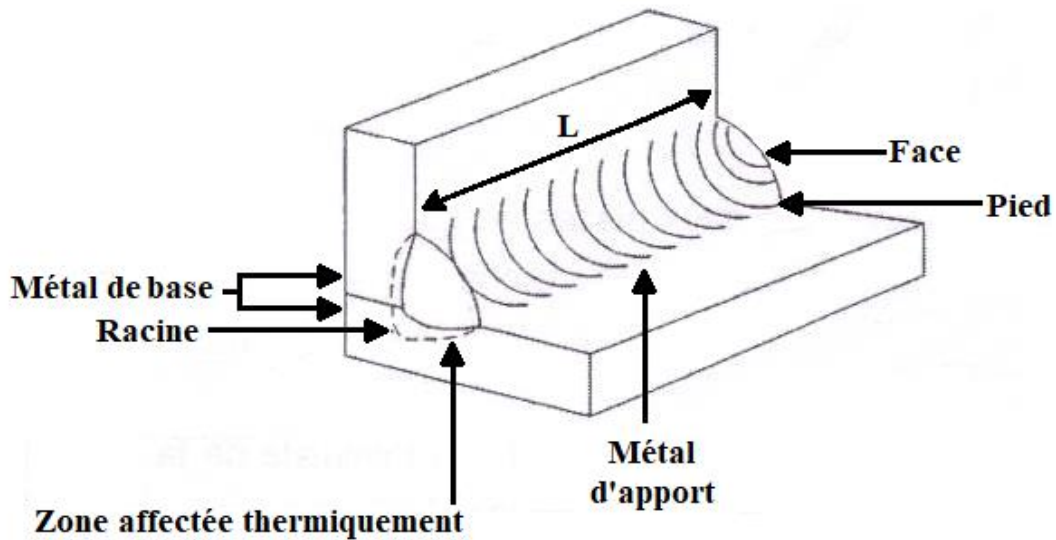


Figure 4.1 : Eléments de la Soudure

- **Soudure en bout** : soudure réalisée dans l'épaisseur des plats aboutés, dans un assemblage bout à bout ou en té, avec pénétration de matière ;
- **Soudure à pénétration partielle** : ne s'étend pas à l'épaisseur totale de l'assemblage (Figure 4.2a) ;
- **Soudure à pleine pénétration** : fusion de la soudure et du métal de base complète sur l'épaisseur de l'assemblage (Figure 4.2b).

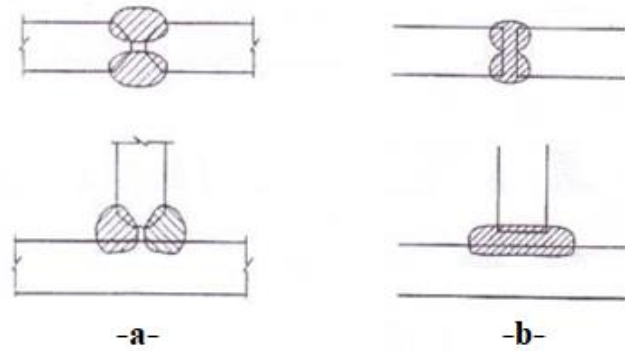


Figure 4.2 : Soudure à pleine pénétration et à pénétration partielle

- Soudure sans et avec préparation des bords (Figure 4.3)

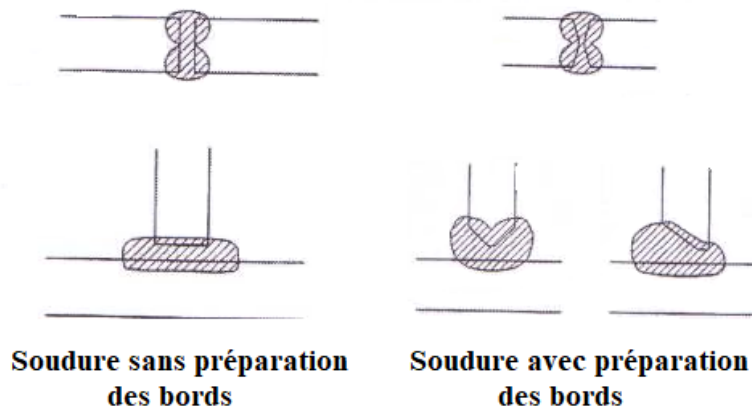


Figure 4.3 : Soudure sans et avec préparation des bords

- Soudures d'angle : soudure dont la section transversale est approximativement triangulaire et qui est déposée à la surface des plats assemblés (Figure 4.4).

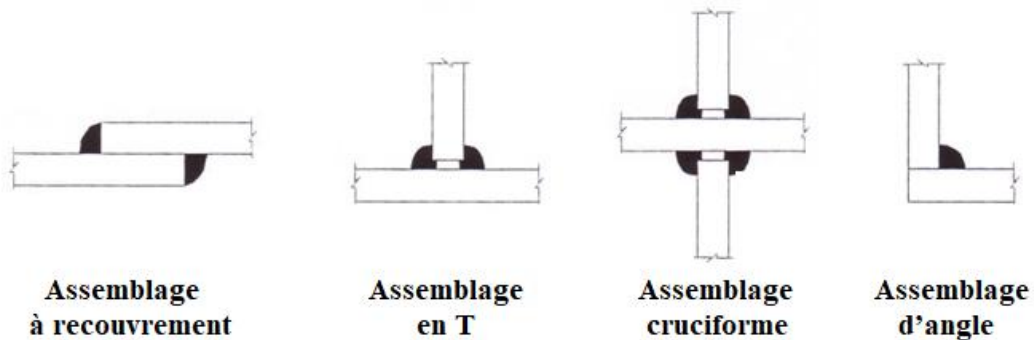


Figure 4.4 : Soudure d'angle

- **Soudure en bouchon et en entaille** : ces deux types de soudures ont pour but principal d'empêcher le voilement ou la séparation des plats qui se recouvrent.
  - En bouchon : les perçages faits sur l'une des pièces sont remplis de soudures afin d'assurer la liaison avec une pièce sous-jacente (**Figure 4.5a**),
  - En entaille : même principe que pour la soudure en bouchon, mais avec une taille suffisante pour réaliser un cordon périphérique sur la tranche de la pièce entaillée au lieu d'un remplissage (**Figure 4.5b**).

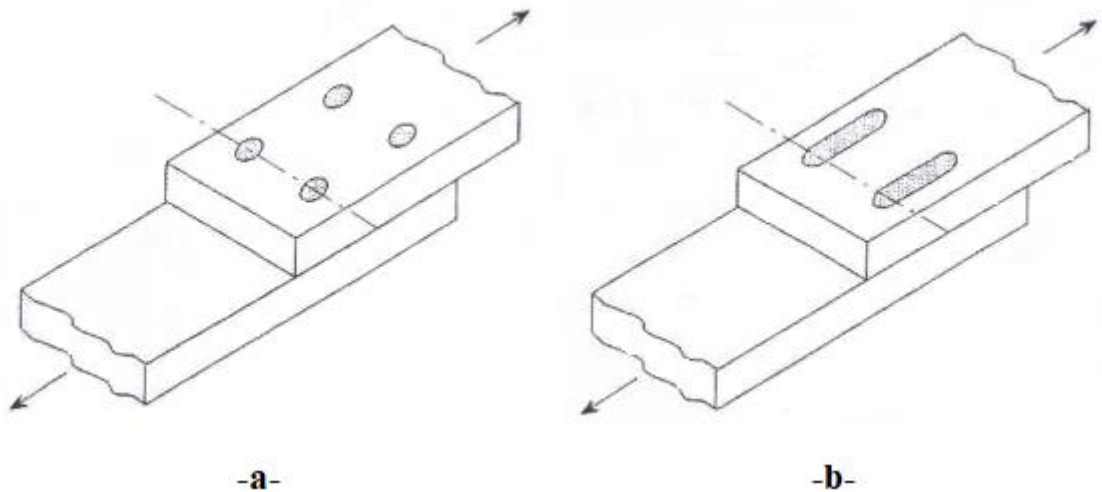


Figure 4.5 : Soudure en bouchon et en entaille

#### 4.2.1.2. Condition d'une bonne soudure

- **Préparation des bords** : ce travail est à la base de la réussite du cordon de soudure ; on doit avoir :
  - Des bords propres : pas de trace d'huile, de rouille (corrosion), de coupe, de peinture... ;
  - Des bords réguliers ;
  - Un bon accostage (collage) des pièces à assembler : pièces bien alignées, bien maintenues.
- **Qualité du métal** : le métal de base doit bien sûr être soudable suivant les procédés courants de construction métallique (cela dépend de la composition chimique et des caractéristiques mécaniques de l'acier). Le métal d'apport doit avoir des propriétés mécaniques égales ou supérieures à celles du métal de base (continuité des efforts transmissibles). Le choix du métal d'apport est ainsi conditionné par :
  - Le procédé de soudage choisi ;

- Le métal de base à souder ;
- La procédure de soudage adopté.
- **Nombres de passes (Figure 4.6) :** selon l'épaisseur d'un cordon de soudure, il peut s'avérer nécessaire de réaliser le cordon en plusieurs passes. En général, dès que la dimension de la gorge dépasse **5mm**, il est nécessaire de faire plus d'un passage.

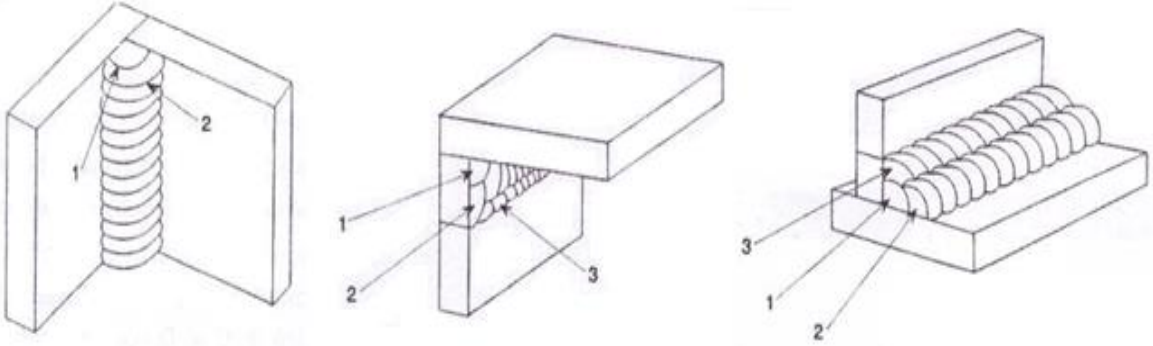


Figure 4.6 : Nombre de passes d'une soudure

#### 4.2.2. Boulonnage

Le boulonnage est une méthode de fixation mécanique démontable. Les boulons servent à créer une liaison de continuité entre éléments ou à assurer la transmission intégrale des efforts d'une partie à l'autre d'une construction. Les éléments à assembler sont serrés entre la face d'appui de la tête de vis et celle de l'écrou. La figure 4.7 présente un schéma de deux pièces assemblées à l'aide d'un boulon.

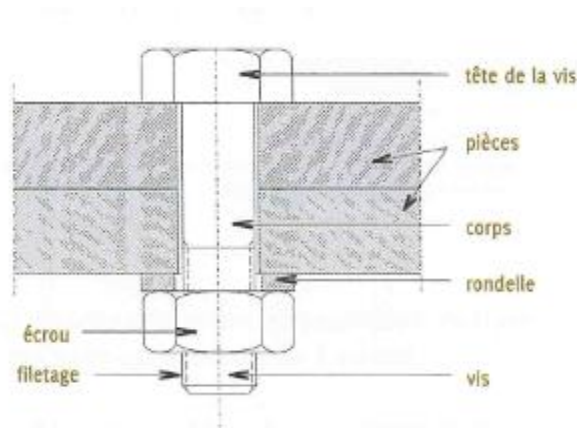


Figure 4.7 : Assemblage par boulonnage

- Un boulon de classe X.Y donnée, sa limite élastique  $f_e$  est égale à  $10 \cdot X \cdot Y$  et sa résistance à la traction  $f_u$  est égale à  $100 \cdot X$ , toutes deux exprimées en MPa. **Exemple :** Un boulon de classe **4.6** :  $f_e = 10 \cdot 4 \cdot 6 = 240$  MPa ;  $f_u = 100 \cdot 4 = 400$  MPa.

### 4.2.2.1. Types de boulonnage

Il existe deux types de boulonnage :

#### 1. Boulonnage par boulons normaux

Dans le cas de l'assemblage par boulons ordinaires, on empêche le déplacement relatif des éléments de l'assemblage en amenant ces éléments au contact du corps de la vis. C'est alors la résistance au cisaillement de la vis qui assure la tenue de l'assemblage. La figure 4.8 montre le plan de cisaillement dans un assemblage avec des boulons. Les trous sont, en général, percés à un diamètre supérieur de 1 à 2 mm environ du diamètre nominal de la vis.

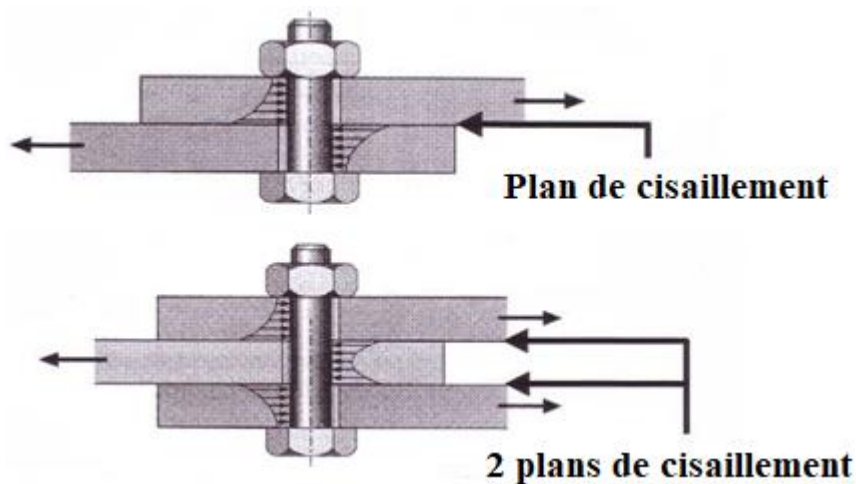


Figure 4.8 : Section cisailée

#### 2. Boulonnage par boulons HR

Les boulons **HR** sont des boulons à haute limite élastique (**de classe 8.8 et plus**) comportant une rondelle incorporée. Lors du serrage ces boulons sont serrés fortement, et ainsi les efforts de glissement ne sont pas repris par cisaillement de la tige, mais adhérence entre les pièces à assembler. Ces boulons ne travaillent donc qu'en traction (le cisaillement représente en fait une sécurité en cas de surcharge), les charges ne transitent pratiquement pas par les boulons. Les boulons sont ainsi soumis presque exclusivement à la contrainte initiale de précontrainte, et ne connaissent que de très faibles variations de contrainte au cours de la vie de l'ouvrage.

#### ➤ **Avantage**

- Déformabilité très réduite par rapport aux autres types d'assemblages boulonnés (grande raideur)
- Capacité à supporter des charges alternées

- Meilleur comportement en fatigue
- Le boulon HR peut travailler en pression diamétrale s'il perd sa précontrainte

➤ **Inconvénients**

- On doit faire très attention aux surfaces de contact des pièces à assembler et aux traitements subis :
    - Grenailage : projection à grande vitesse en atelier de petits gravillons ou grains de métal sur les produits sidérurgiques afin de les débarrasser de la rouille et de la calamine,
    - Sablage : décapage par projections sur chantier de grains abrasifs de dimensions déterminées (e.g. grains de sable aux arêtes vives)
  - Soins particuliers au montage nécessitant un personnel bien entraîné.
  - Donc Coût élevé
- ❖ En métallurgie, la **calamine** (**Figure 4.9**) est un mélange d'oxydes de fer qui se dépose en croûte sur les pièces en fer, en acier ou en fonte lorsqu'elles sont chauffées à une température supérieure à 575 °C.



**Figure 4.9** : Calamine

**4.2.2.2. Méthodes de serrage**

Outils de serrage pour précontrainte : on doit pouvoir contrôler le couple de serrage

**1. Méthodes de contrôle du couple de serrage**

- Avec une clé dynamométrique manuelle : lecture du couple appliqué au boulon sur la clé ;
- Avec une clé pneumatique : en atteignant la valeur de couple de serrage voulu, la clé débraye automatiquement.

➤ **Inconvénients**

- La valeur donnée par la clé est très imprécise car proportionnelle au coefficient de frottement entre la vis et l'écrou, assez variable au sein d'un même lot.
- Les clés doivent être étalonnées régulièrement de manière à compenser les éventuelles dérives dues à l'usure.

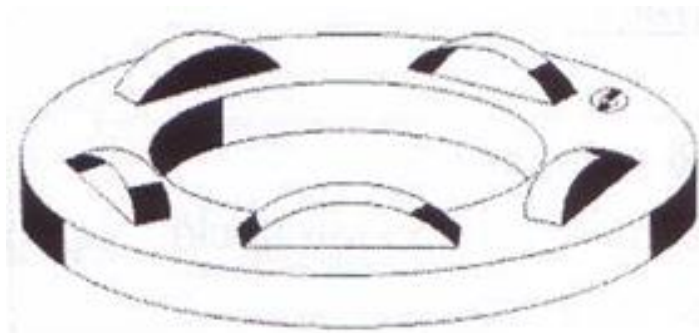
**2. Méthode du tour d'écrou**

- **Phase 1** : application d'un couple de serrage correspondant à une fraction requise de la précontrainte définitive requise (40, 60 et 75%) avec une clé dynamométrique,
- **Phase 2** : application d'une rotation de l'écrou avec un angle bien défini (60, 90, 120°) déterminé par des essais préalables.

Cette méthode a l'avantage d'être plus précise que la méthode du contrôle du couple de serrage.

**3. Méthode par rondelles de mesures**

On utilise une rondelle comportant des bossages (**Figure 4.10**). Lors du serrage les bossages se déforiment, et l'évaluation du serrage se fait par mesure du jeu après écrasement



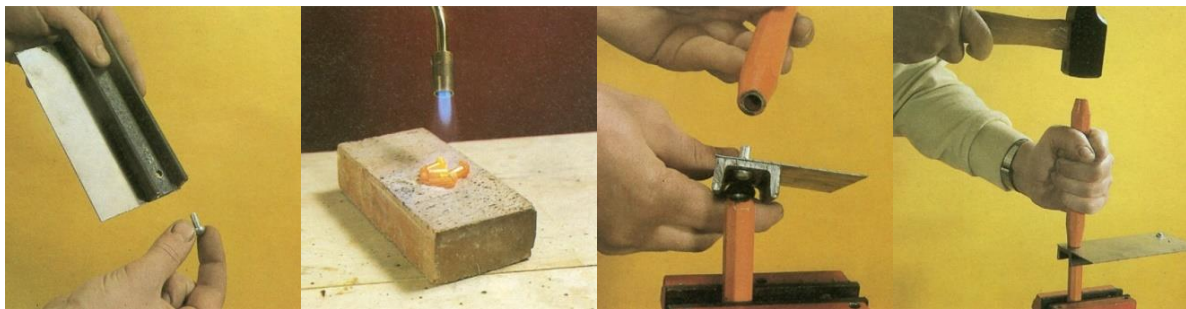
**Figure 4.10** : Rondelle avec bossages

**4.3. Rivetage à chaud**

Le rivetage à chaud, premier procédé généralisé d'assemblage en construction métallique, n'est plus employé que pour la réhabilitation d'ouvrages anciens. Il s'agit néanmoins d'une excellente technique de fixation, dont le seul défaut reste finalement sa mise en œuvre plus lourde.

➤ **Mise en œuvre (Figure 4.11)**

- **Pose** : la pose du rivet préalablement chauffé au rouge cerise (950°C) dans un trou de jeu normalisé 1mm ; les très petits diamètres ne sont pas chauffés,
- **Fixation** : le rivet est maintenu par une contre-bouterolle,
- Le fût qui dépasse est forgé par martelage avec une bouterolle pour créer la deuxième tête de rivet. Le trou de perçage est complètement rempli par la déformation permanente du corps du rivet,
- **Refroidissement** : le retrait qui en résulte crée un pincement des pièces (i.e. précontrainte).



Préparation

Chauffage

Pose

Fixation

**Figure 4.11** : Mise en œuvre d'un rivetage à chaud

#### 4.4. Goussets

Le gousset de charpente est une pièce de faible dimension, fixée à l'angle d'un assemblage, pour en assurer la rigidité. Les goussets sont utilisés avec boulonnage, soudage ou rivetage.

- Leur épaisseur doit être au moins égale à celle des cornières assemblées ;
- On raidit les membrures par des couvre-joints chaque fois que celles-ci sont interrompues ;
- Le gousset doit par sa forme et sa disposition éviter ou réduire au minimum l'excentricité des efforts par rapport aux sections du gousset qui sont le plus sollicitées.
- Sa forme doit être aussi régulière que possible.

➤ **Condition d'utilisation**

- Réduire les dimensions (**Figure 4.12a**) ;
- Forme idéale : le rectangle (**Figure 4.12b**) ;
- Réduire au maximum le nombre de coupes et de chutes (**Figure 4.12c**) ;
- Prohiber les angles rentrants (**Figure 4.12d**) ;

- Prohiber les coins de goussets dans le vide = risque de blessure lors du montage (**Figure 4.12e**) ;
- Trous dissymétriques pour éviter les erreurs au montage (**Figure 4.12f**) ;
- Les fourrures (cales) doivent être fixées à part sur le gousset (**Figure 4.12g**) ;
- Si possible essayer de minimiser, voire annuler, la distance  $d$  entre le point d'épure et de centre de gravité  $g$  des boulons.

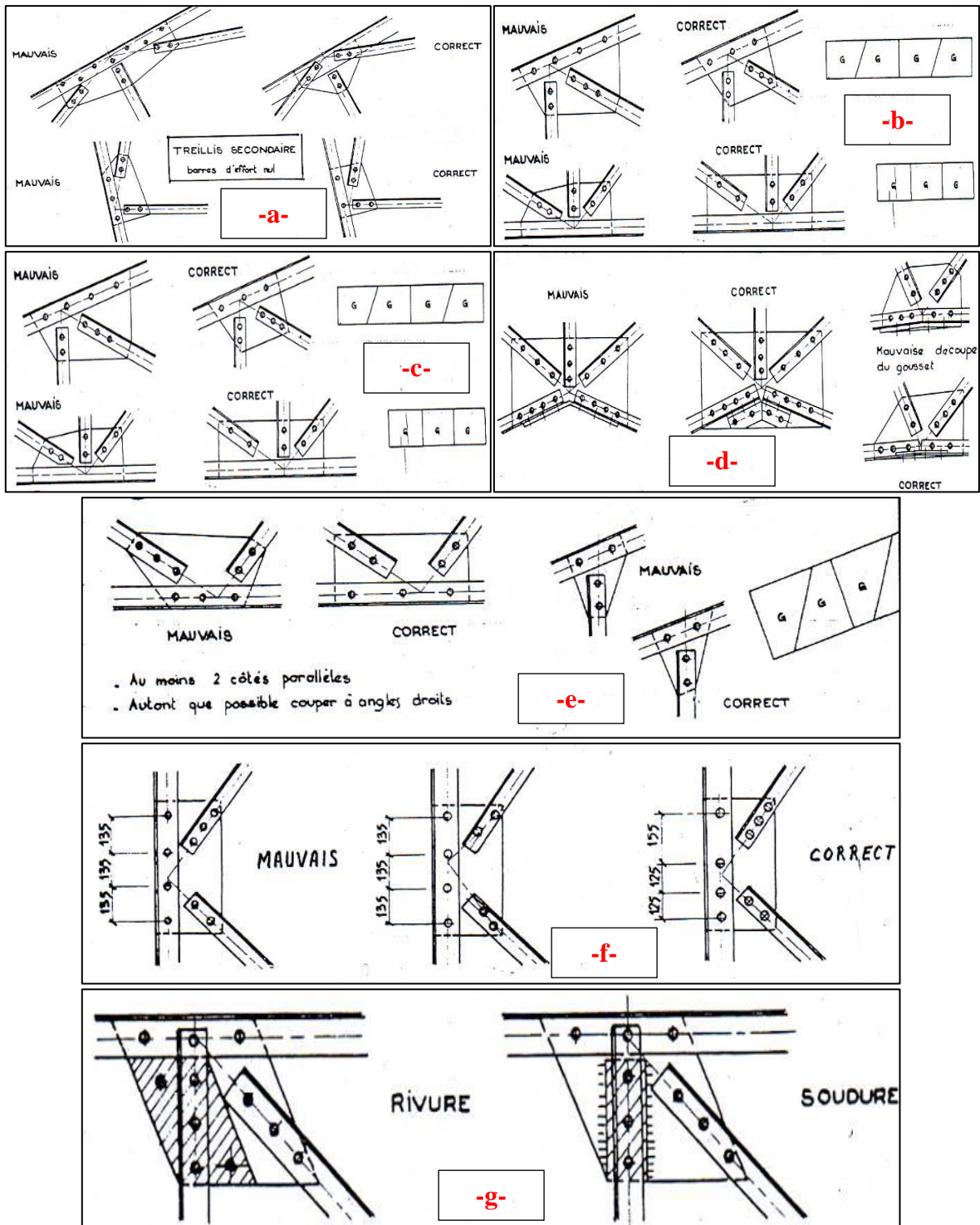


Figure 4.12 : Conditions d'utilisation des goussets

## 4.5. Assemblages

La simplicité de conception est à rechercher dans le choix des dispositifs d'assemblages, ceci afin d'avoir :

- Transmission des efforts plus claire ;
- Calculs plus exacts ;
- Matériaux mieux utilisés.

Les assemblages peuvent être considérés comme les talons d'Achille des ossatures, ne pas hésiter à être généreux lors de leur conception. En particulier proscrire les assemblages par couvre-joint simple, et toujours utiliser des assemblages par couvre-joint double.

### 4.5.1. Types d'assemblages

Les assemblages peuvent être articulés ou encastrés, les premiers transmettent les efforts normaux et tranchants, les deuxièmes peuvent transmettre les moments en plus. Les assemblages sont assurés par l'utilisation des modes de fixation suivants :

- Rivetage (ouvrage ancien, n'est plus guère usité) ;
- Boulonnage (très utilisé) ;
- Soudage (très utilisé mais mise en œuvre moins facile et coût plus important) ;
- Collage (non usité actuellement, car la technique, bien que très performante, est difficile à mettre en œuvre et non réglementée).

En réalité les assemblages ont un comportement intermédiaire (semi-articulés ou semi-encastrés).

#### 4.5.1.1. Types d'assemblages articulés

- 1. Poutre repose sur autre poutre (Figure 4.13) :** ce type d'assemblage est possible lorsque les poutres ne sont pas dans un même plan horizontal. L'assemblage se fait simplement par boulonnage des ailes de la poutre portée sur les ailes de la poutre porteuse. Ce type d'assemblage est très économique ; si nécessaire on rajoute des raidisseurs.

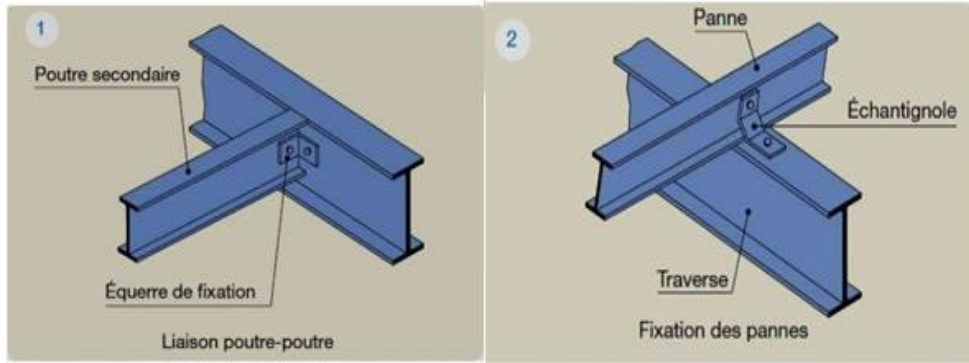


Figure 4.13 : Poutre repose sur poutre

2. **Assemblages par double cornières (Figure 4.14)** : ce type d'assemblage représente des charges de travail en atelier et sur chantier faibles et il y a peu de problèmes liés aux écarts de fabrication.



Figure 4.14 : Assemblage par double cornières

3. **Gousset soudé sur l'aile ou l'âme du poteau (Figure 4.15)** : le travail en atelier est moyen alors que le travail au montage est faible et il y a peu de problèmes liés aux écarts de fabrication.

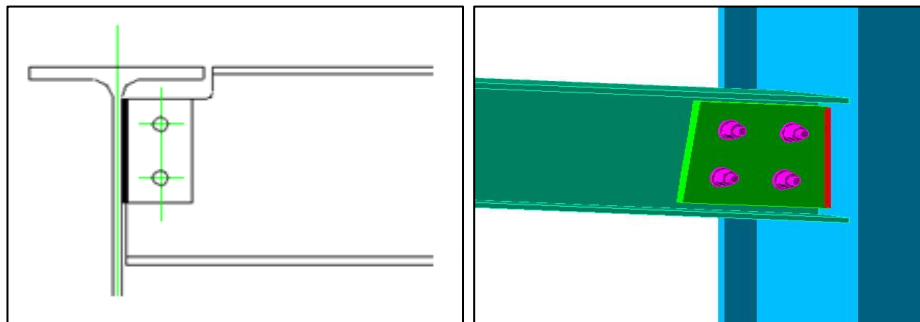
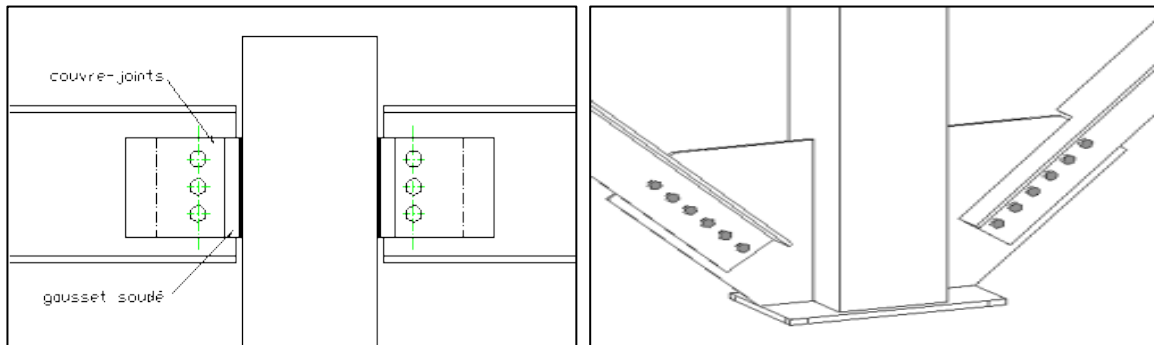


Figure 4.15 : Gousset soudé sur l'aile ou l'âme du poteau

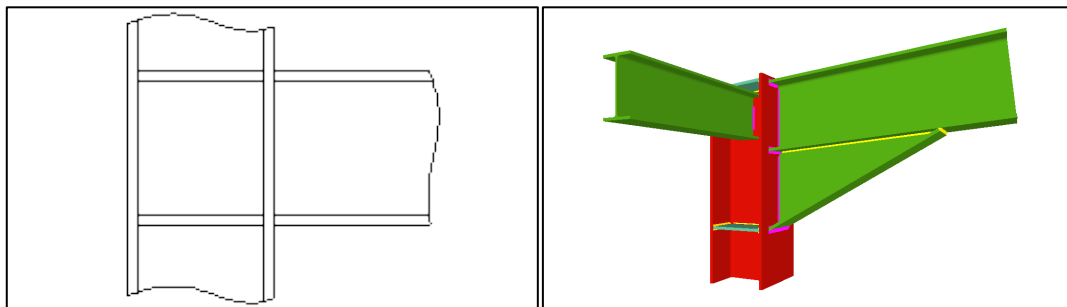
4. **Gousset traversant « cas de poteaux tubulaire » (Figure 4.16)** : le travail en atelier est important mais le travail au montage est simplifié et il y a peu de problèmes liés aux écarts de fabrication.



**Figure 4.16** : Gousset traversant en cas de poteaux tubulaire

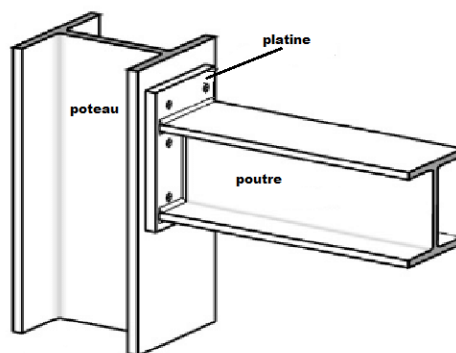
#### 4.5.1.2. Types d'assemblages encastrés

1. **Assemblage poutre/poteau direct par soudage (Figure 4.17)** : On met le plus souvent en place deux raidisseurs en prolongement des semelles de la poutre.



**Figure 4.17** : Assemblage poutre/poteau direct par soudage

2. **Assemblage poutre/poteau par platine d'about (Figure 4.18)** : Le travail en atelier est moyen alors que le travail au chantier est faible. Il faut toutefois veiller aux écarts de fabrications.



**Figure 4.18** : Assemblage poutre/poteau par platine d'about

## **Chapitre 5**

### **Introduction aux différents règlements**

## **5.1. Introduction**

Les règlements sont des documents établis par un organe officiel. Ils contiennent les dispositions visant à assurer les exigences de sécurité, de stabilité, etc. Construire en toute sécurité est le résultat de la connaissance, la compréhension et la maîtrise des différentes règles de construction. D'ici, découle l'importance de connaître les différentes règles et normes qui organisent le domaine de construction. A ce propos, ce chapitre présente une introduction à la réglementation dans ce domaine.

## **5.2. Généralités et nécessité de la réglementation**

La réglementation est l'ensemble des décisions administratives, qui s'imposent à tous, en vue de l'intérêt général. Elle relève des pouvoirs publics. Elle est l'expression d'une loi, d'un règlement et donc établie par les pouvoirs législatifs et le gouvernement.

Ainsi, avant de commencer toute nouvelle activité, il est donc indispensable pour l'entreprise de s'informer et d'identifier la réglementation la concernant.

De même, la norme est un document, établi par des consensus et approuvé par un organisme reconnu, qui fournit, pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques, pour des activités ou leurs résultats, garantissant un niveau d'ordre optimal dans un contexte donné.

Les normes, quant à elles, ne sont pas libres de droit et donc payantes. Avant de les acheter, identifiez les bonnes normes pour votre projet. Les organisations professionnelles seront à même de vous renseigner.

### **5.2.1. La réglementation et les normes : sources d'innovation**

La réglementation ne doit pas être seulement considérée comme une contrainte. Au contraire, elle peut être source d'innovation pour l'entreprise. En effet, en l'intégrant le plus tôt possible, grâce à une veille réglementaire, par votre savoir-faire et votre capacité d'adaptation, vous êtes en mesure de proposer rapidement de nouvelles solutions répondant à ces attentes, contrairement à une plus grande entreprise. Il convient donc de saisir cette opportunité pour essayer d'être les premiers sur le marché.

### **5.2.2. Nécessité de la réglementation**

Les pouvoirs publics rendent des normes obligatoires pour des raisons :

- D'ordre public et de sécurité publique ;
- De protection de la santé et de la vie des personnes ;
- De la protection de l'environnement ;

- De la protection de la faune et la flore ;
- La protection du patrimoine historique, culturel et archéologique et la défense du consommateur.

### 5.3. Introduction aux différentes normes de construction

Une norme est d'application obligatoire lorsqu'elle est citée dans un texte réglementaire (arrêté) comme moyen unique de satisfaire aux exigences de ce texte.

La normalisation est présente sur tout le cycle de vie, depuis la conception et la mise en œuvre jusqu'à la phase d'exploitation et la fin de vie.

- Les produits et matériaux de construction (et en particulier les normes européennes harmonisées en appui au Règlement européen Produits de construction) ;
- Les équipements et installations ;
- La mise en œuvre des produits de construction et des ouvrages (en particulier les normes NF DTU) ;
- La conception technique des ouvrages et leur dimensionnement ;
- Les activités relatives à la gestion et l'exploitation des ouvrages de construction ;
- La qualité, les services, l'entretien, la maintenance et la qualification ;
- Le développement durable dans la construction (y compris la performance et l'efficacité énergétiques) ;
- L'aménagement du territoire : écoquartiers, villes durables, opérations d'aménagement durable.

#### 5.3.1. Types de normes

- **Normes d'essai, produits et services** : permettent de déterminer les caractéristiques des produits et services. Cette catégorie comporte environ 1000 normes, principalement d'origine européenne :
  - Les normes fondamentales concernent la terminologie, la métrologie, les statistiques, les signes et les symboles,
  - Les normes de méthodes, d'essais et d'analyse décrivent des méthodes d'analyse ou des règles de calcul qui permettent de vérifier les caractéristiques d'un produit ou d'un procédé de fabrication,
  - Les normes de spécifications fixent les caractéristiques d'un produit, d'un service, d'un procédé ou d'un système ainsi que des seuils de performance à atteindre,

- Les normes de méthodologie permettent d'élaborer des guides ou des lignes directrices.
- **Normes d'exécution ou de mise en œuvre :** (DTU - Documents Techniques Unifiés) ;
- **Normes de conception ou de dimensionnement des ouvrages, des équipements ou installations :** comme celles relatives au calcul de structures, les Eurocodes, qui remplacent progressivement les règles CM66 pour la construction métallique, le BAEL et BPEL pour le béton, NV65 pour la neige et le vent.

### 5.3.2. Conformité aux normes

La conformité aux normes peut faire l'objet d'une déclaration du fournisseur sous sa seule responsabilité. Il s'engage, par-là, sur la qualité de sa production, de ses prestations ou de son organisation. Le fournisseur, ou le client, peut aussi demander que cette conformité soit attestée par un tiers (laboratoire, organisme d'inspection, organisme de certification...) qui se charge de vérifier que le produit, le service ou le système concerné répond aux exigences de la norme.

## 5.4. Normes BAEL et Eurocodes

### 5.4.1. Normes BAEL

C'est en 1848 que LAMBOT, un français, imagina d'associer des barres d'acier et du béton de ciment pour réaliser une barque. Quelques années plus tard, MONIER, un jardinier de VERSAILLES utilisera un Procédé analogue pour fabriquer des bacs à fleurs. On lui attribue l'invention du béton armé (BA) qui a ensuite été exploité en Allemagne par l'entreprise MONIER BETON BRAU (Brevet déposé en 1868).

Ensuite HENNEBIQUE met au point les bases du calcul pour son utilisation rationnelle mais il faudra attendre 1897 pour que RABUT professe le premier cours de BA à l'ENPC (École nationale des ponts et chaussées). Auparavant, en 1891, COIGNET utilisa des poutres en BA préfabriquées pour la construction d'un immeuble.

En 1906 paraît la première réglementation s'appuyant sur une méthode de calcul dite aux contraintes admissibles. La circulaire de 1906 sera remplacée par les Règles **BA 45** puis **BA 60** et **BA 68**.

Avec l'évolution de la notion de sécurité et des progrès scientifiques, les modèles de calcul se sont rapprochés du comportement réel, non linéaire des matériaux. Les règles de calcul du béton armé aux états limites de 1980 (**BAEL80**) ont été les premières à intégrer

pleinement le modèle de comportement non linéaire des matériaux. Ces règles ont ensuite évolué en **BAEL83**, **BAEL91** et **BAEL91 révisées 99**.

Le **Béton armé aux états limites** (BAEL) était le règlement français concernant l'utilisation du béton armé dans la construction. Il a été remplacé par **l'Eurocodes 2**. Il était utilisé aussi bien en travaux publics (pont, tunnel...) qu'en bâtiment. Il se base principalement sur deux états limites :

- **L'état limite de service (ELS)**, borné par des limites de déformation ou de fissuration des éléments : Il s'agit du mode sollicitation de « tous les jours », l'ouvrage ne doit pas subir de déformation irréversible. Les matériaux sont employés dans leur domaine de comportement élastique. Tout naturellement, c'est le « modèle élastique linéaire » qui est utilisé pour les calculs à l'ELS.
- **L'état limite ultime (ELU)**, borné par les limites de résistance du béton et des armatures : Dans ce mode de sollicitation, l'ouvrage est à la limite de la ruine, il doit résister aux charges mais il subit des déformations irréversibles et en ressort endommagé. Pour cet état, il est inutile de rester dans le domaine de comportement élastique des matériaux, on utilise alors des « modèles de plasticité non linéaires » qui se rapprochent du comportement réel des matériaux.

Les règles de calcul BAEL 99. Elles diffèrent peu des règles BAEL précédentes. Le tableau 5.1 donne les principales évolutions qui se sont succédées de 1980 à 1999 mais sans rentrer dans les détails.

**Tableau 1.5** : Principales évolutions des normes BAEL

DESIGNATION	Règles BAEL 80	Règles BAEL 83	Règles BAEL 91	Règles BAEL 99
<b>Domaine d'application</b>	Bétons de classes $\leq 40$ MPa	Idem BAEL 80	Bétons de classes $\leq 60$ MPa	Il y a des règles de calcul pour les bétons des classes $\leq 60$ MPa et d'autres (annexe F) pour ceux de classe $60 < \text{et} \leq 80$ MPa
<b>Diagrammes contraintes déformations des armatures</b>	Trois diagrammes l'un (élasto-plastique bilinéaire) pour les aciers naturels ou fortement écrouis, deux autres pour les aciers écrouis (par torsion ou traction) un précis et un autre moins précis	Un seul diagramme (élasto-plastique bilinéaire)	Idem BAEL 83. Développement des armatures de classe FeE500	Idem BAEL 83
<b>Résistances caractéristiques du béton à la compression et à la traction</b>	$f_{cj}$ et $f_{tj}$	Idem BAEL 80	Modification de la loi donnant la contrainte $f_{cj}$ en fonction du temps pour $j = 28$ jours	Idem BAEL 91
<b>Diagrammes contraintes déformations du béton (Contrainte de calcul)</b>	$f_{bu} = \frac{0.85f_{cj}}{\gamma_b}$	Idem BAEL 80	$f_{bu} = \frac{0.85f_{cj}}{\theta\gamma_b}$ Introduction du coefficient $\theta$ variant de 1 à 0.85 en fonction de la durée d'application de la charge	Idem BAEL 91
<b>Module de déformation longitudinale instantanée du béton</b>	$E_{ij} = 12000f_{cj}^{\frac{1}{3}}$	$E_{ij} = 11000f_{cj}^{\frac{1}{3}}$	Idem BAEL 83	Idem BAEL 83

<b>Coefficient de poisson (calcul des dalles)</b>	0.2 à l'ELS 0 à l'ELU	Idem BAEL 80	Idem BAEL 80	Idem BAEL 80
<b>Combinaisons d'actions</b>	Conformité aux DC 79	Idem BAEL 80 et un complément en annexe D (Coeff. Partiels $\Psi_0, \Psi_1 \dots$ et combinaisons d'action)	Idem BAEL 83	Idem BAEL 83
<b>Décalage de la courbe des moments fléchissant (épure d'arrêt des barres)</b>	0.8h (h est la hauteur totale de la poutre) à la place du décalage de Z/2 du CCBA	Idem BAEL 80	Idem BAEL 80	Idem BAEL 80
<b>Condition de non fragilité</b>	Clarification par rapport au CCBA	Idem BAEL 80	Idem BAEL 80	Idem BAEL 80
<b>Etat-limite ultime de résistance</b>	Principale innovation par rapport au CCBA avec le diagramme des trois pivots	Idem BAEL 80 Modification des règles en flexion composée avec compression	Idem BAEL 83	Idem BAEL 83
<b>Etat-limite de stabilité de forme</b>	Nouvelles règles de calcul	Idem BAEL 80 mais introduction de l'annexe E7	Idem BAEL 83	Idem BAEL 83
<b>Etat-limite vis-à-vis de la durabilité de la structure</b>	Introduction des états-limites : 1) De compression du béton, 2) D'ouverture des fissures.	Idem BAEL 80	Modifications importantes des règles vis-à-vis de l'état-limite d'ouverture des fissures (en particulier, limitation des aciers à 400 MPa si la fissuration est peu préjudiciable)	Nouvelles formules mieux adaptées aux différentes classes de béton et d'environnement

<b>Etat-limite vis-à-vis des sollicitations tangentes</b>	Nouvelles règles de calcul	Modification de la prise en compte de la part d'effort tranchant reprise par la membrure comprimée	Modification des contraintes limites, du terme soustractif, etc.	Idem BAEL 91
<b>Justification vis-à-vis de la torsion</b>	N'existaient pas dans le CCBA	Idem BAEL 80	Modification des règles de cumul des contraintes de cisaillement	Idem BAEL 91
<b>Règles vis-à-vis de l'adhérence</b>	Simplification des règles du CCBA	Idem BAEL 80 mais modification des notations	Idem BAEL 80	Idem BAEL 91
<b>Disposition des éléments comprimés</b>	Simplification des règles du CCBA	Idem BAEL 80	Idem BAEL 80	Idem BAEL 80
<b>Enrobages</b>	Introduction de l'enrobage de 3 cm pour les parois non coffrées en cas d'actions agressives	Idem BAEL 80	Augmentation de l'enrobage pour ouvrages à la mer à 5 cm	Idem BAEL 91
<b>Disposition en cas de pressions localisées, frettage et articulations</b>	Adaptation des règles du CCBA et nouvelles règles	Idem BAEL 80	Adaptation des formules des règles BPEL pour les pressions localisées	Idem BAEL 91

- **DC 79** : Instruction technique sur les directives communes de 1979 relatives au calcul des constructions (D.C. 79).
- **CCBA** : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé (C.C.B.A. 68 et 70).

### 5.4.2. Normes Eurocodes

Les Eurocodes constituent un ensemble de 58 normes européennes, d'application volontaire, harmonisant les méthodes de calcul utilisables pour vérifier la stabilité et le dimensionnement des différents éléments constituant les bâtiments ou les ouvrages de génie civil, quels que soient les types d'ouvrages ou de matériaux.

Les **Eurocodes** ont une importance considérable dans l'industrie du bâtiment. Ces codes ne régissent pas seulement la conception des ouvrages de génie civil mais également les équipements ou installations y demeurant. Les codes de construction européens sont présentés comme suit :

- **L'Eurocode 0** : détermine les bases de calcul des structures des immeubles ;
- **L'Eurocode 1** : fournit les indications nécessaires à la conception structurale ;
- **L'Eurocode 2** : définit les principes de calcul des structures en béton. Il remplace les règles **BAEL** depuis **2010**, est dans la lignée des règles de calcul modernes intégrant les notions probabilistes de sécurité et les comportements non linéaires des matériaux ;
- **L'Eurocode 3** : définit les principes de calcul des structures en acier ;
- **L'Eurocode 4** : définit les principes de calcul des structures mixtes acier-béton ;
- **L'Eurocode 5** : définit les principes de calcul des structures en bois ;
- **L'Eurocode 6** : définit les principes de calcul des ouvrages en maçonnerie ;
- **L'Eurocode 7** : définit les principes de calcul des géotechniques ;
- **L'Eurocode 8** : encadre la conception et le dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes ;
- **L'Eurocode 9** : définit les principes de calcul des structures en alliages d'aluminium.

## **Chapitre 6**

# **Règles parasismiques RPA 99 version 2003**

## 6.1. Introduction

En Algérie, la réglementation parasismique est le document technique "DTR BC 2-48" dit : « REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA99-V2003 ». La première version de ce règlement a été RPA81 qui fut suivie par RPA83 après le séisme de Chlef du 10 Octobre 1980. La troisième version RPA88 a été suivie par la version RPA99. Cette dernière a été révisée en 2003 après le séisme de Boumerdes du 21 Mai 2003. Dans ce cadre, le RPA99-V2003 est organisé comme suit :

Chapitre I	:	Généralités
Chapitre II	:	Règles générales de conception
Chapitre III	:	Critères de classification
Chapitre IV	:	Règles de calcul
Chapitre V	:	Justification de la sécurité
Chapitre VI	:	Prescriptions complémentaires et éléments non structuraux
Chapitre VII	:	Structures en béton arme
Chapitre VIII	:	Charpentes en acier
Chapitre IX	:	Constructions en maçonnerie porteuse chaine
Chapitre X	:	Fondations et murs de soutènement

## 6.2. Règles générales de conception

### 6.2.1. Choix du site

Pour le choix du site, une attention particulière doit être portée aux conditions défavorable ou pénalisantes suivantes :

- Présence de failles reconnues actives
- Zones suspectes de liquéfaction
- Terrains instables : remblais non compactés
- Topographie superficielle accidentée : Crêtes, pitons rocheux, bords de vallées encaissées...
- Présence d'alluvions d'épaisseur variable en pied de pente ou d'épaisseur importante en milieu de vallées.
- Présence de formations géologiques différentes

### 6.2.2. Reconnaissance et études de sol

Les reconnaissances et études de sol sont obligatoires pour les ouvrages d'importances moyenne ou plus, implantés en zones de sismicité moyenne et élevée. Ces études sont en principe les mêmes que dans le cas des situations non sismiques mais doivent en outre, permettre de classer le site et de détecter les zones liquéfiables et/ou instables.

### 6.2.3. Implantation des ouvrages

Lors de l'implantation des ouvrages, il faudrait :

- Eviter absolument la proximité immédiate d'une faille reconnue active surtout pour les ouvrages importants et ceux d'importance vitale.
- Eviter les sols liquéfiables, les sols fortement fracturés, les sols faiblement cimentés et les zones de remblais.

### 6.2.4. Infrastructure et fondation

L'infrastructure constitués des éléments structuraux des sous-sols éventuels et le système de fondation doivent former un ensemble résistant et rigide, prenant si possible appui à un minimum de profondeur sur des formations en places compactes et homogènes, hors d'eau de préférence.

Cet ensemble devra être capable de transmettre les charges sismiques horizontales en plus des charges verticales, de limiter les tassements différentiels et d'empêcher les déplacements horizontaux relatifs des points d'appui par solidarisation au moyen de longrines ou autre dispositif équivalent.

Le système de fondation doit être homogène avec un seul mode de fondation par bloc de construction, délimiter par joints. Il doit autant que possible constituer une assise horizontale unique sur toute l'emprise du bloc.

### 6.2.5. Superstructure

#### ➤ *Régularité*

Pour offrir une meilleure résistance aux séismes, les ouvrages doivent de préférences avoir, d'une part des formes simples, d'autres part, une distribution aussi régulière que possible des masses et des rigidités tant en plan qu'en élévation.

#### ➤ *Joints*

La disposition des joints sismiques peut être coïncider avec les joints de dilatation ou de rupture. Ils doivent assurer l'indépendance complète des blocs qu'ils délimitent et empêcher leur entrechoquement.

#### ➤ *Matériaux et techniques de construction*

Les règles présentées concernent essentiellement les structures réalisées avec les matériaux suivants :

- Aciers de construction ;
- Béton armé ;

- Maçonnerie diverses (briques, blocs de béton, pierre...) convenablement chaînées horizontalement et verticalement par des éléments en béton armé coulés en place.

➤ **Systèmes structurels**

Les ouvrages doivent en général comporter des contreventements dans au moins les deux directions horizontales. Ces contreventements doivent être disposés de façon :

- Reprendre une charge verticale suffisante pour assurer leur stabilité ;
- Assurer une transmission directe des forces aux fondations ;
- Minimiser les effets de torsion.

➤ **Ductilité**

La structure et ses éléments doivent avoir une ductilité suffisante pour pouvoir dissiper une grande part de l'énergie induite par le mouvement sismique et conserver leur résistance de calcul sous déformations imposées.

➤ **Eléments non structuraux**

En plus de l'étude du système structurel, il y a lieu de tenir compte de la présence d'éléments non-structuraux qui peuvent modifier considérablement le comportement de la structure et donner lieu à des désordres importants.

### **6.2.6. Modélisation et méthodes de calcul**

Le choix des méthodes de calcul et de la modélisation de la structure doit avoir pour objectifs de reprendre au mieux le comportement réel de l'ouvrage.

## **6.3. Critères de classification**

### **6.3.1. Classification des zones sismiques**

Le territoire national est divisé en cinq zones de sismicité croissantes, soit :

- Zone 0 : sismicité négligeable
- Zone I : sismicité faible
- Zone IIa et IIb : sismicité moyenne
- Zone III : sismicité élevée

La figure 6.1 représente la carte des zones sismiques de l'Algérie et le zonage global des différentes willaya.

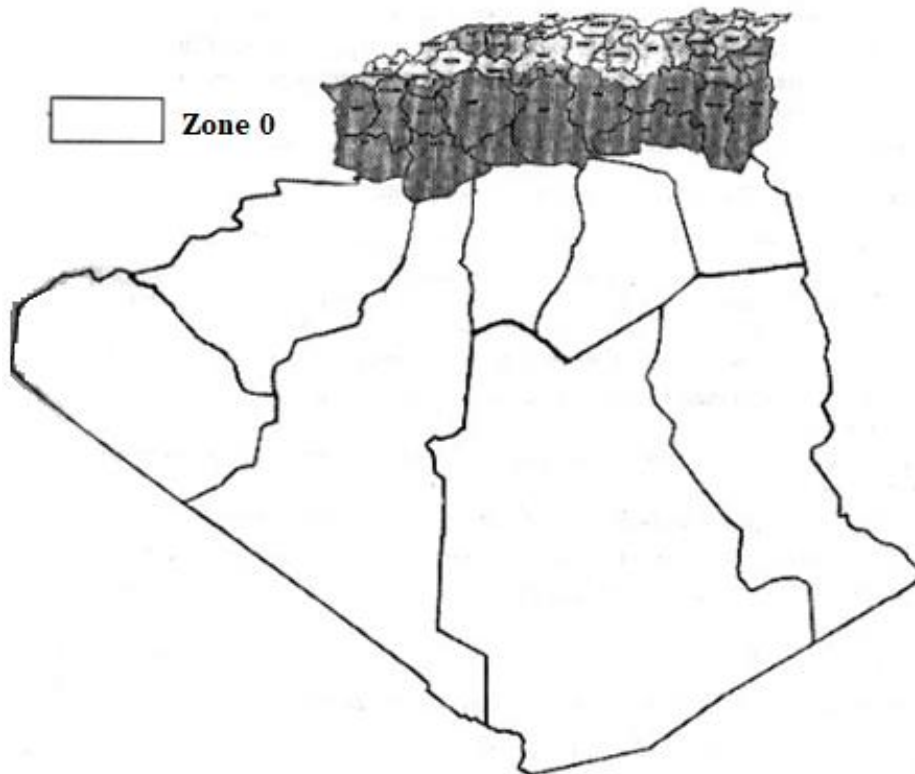
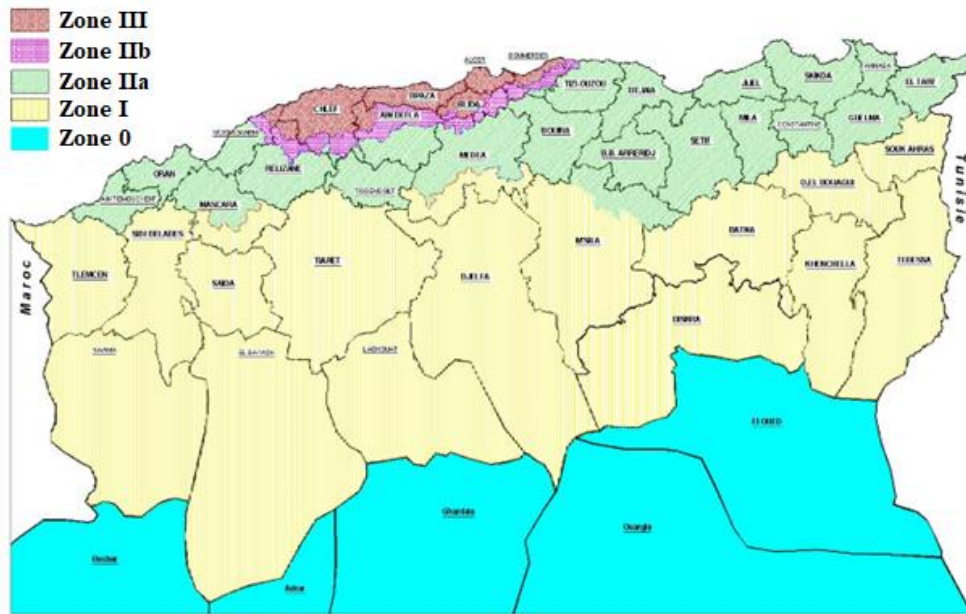


Figure 6.1 : Zones sismiques en Algérie

### 6.3.2. Classification des ouvrages selon leurs importances

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 groupes définis ci-après :

**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.

- 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 militaire, 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 des établissements publics de communications tels que les centres de télécommunications, de diffusion et de réception de l'information (radio et télévision), des relais hertziens, des tours de contrôle des aéroports et contrôle de la circulation aérienne ;
- Bâtiments de production et de stockage d'eau potable d'importance vitale ;
- Ouvrages publics à caractère culturel, ou historique d'importance nationale ;
- Bâtiments des centres de production ou de distribution d'énergie, d'importance nationale ;
- Bâtiments administratifs ou autre devant rester fonctionnels en cas de séisme.

**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 48 m.
- Ouvrages publics d'intérêt national ou ayant une importance socioculturelle et économique certaine :
  - Bâtiments de bibliothèque ou d'archives d'importance régionale, musée, ...
  - Bâtiments des établissements sanitaires autres que ceux du groupe 1A ;
  - Bâtiments de centres de production ou de distribution d'énergie autres que ceux du groupe 1A ;
  - Châteaux d'eau et réservoirs de grande à moyenne importance.

**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 ;
- Autres bâtiments pouvant accueillir au plus 300 personnes simultanément tels que, bâtiments à usage de bureaux, bâtiments industriels, ...
- Parkings de stationnement publics, ...

**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.

**6.3.3. Classification des sites**

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

- 1. Catégorie S1** (site rocheux) : Roche ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse moyenne d'onde de cisaillement ( $V_S \geq 800\text{m/s}$ ) ;
- 2. Catégorie S2** (site ferme) : Dépôts de sables et de graviers très denses et/ou d'argile sur-consolidée sur 10 à 20m d'épaisseur avec  $V_S \geq 400\text{m/s}$  à partir de 10m profondeur.
- 3. Catégorie S3** (site meuble) : Dépôts épais de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide avec  $V_S \geq 200\text{m/s}$  à partir de 10m de profondeur ;
- 4. Catégorie S4** (site très meuble) :
  - Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle avec  $V_S < 200\text{m/s}$  dans les 20 premiers mètres,
  - Dépôts d'argile molle à moyennement raide avec  $V_S < 200\text{m/s}$  dans les 20 premiers mètres.

**6.3.4. Classification des systèmes de contreventement**

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

**a) Structures en béton armé :**

- 1a.** Portiques auto-stables en béton armé sans remplissage en maçonnerie rigide ;
- 1b.** Portiques auto-stables en béton armé avec remplissage en maçonnerie rigide ;
- 2.** Système de contreventement constitué par des voiles porteurs en béton armé ;
- 3.** Structure à ossature en béton armé contreventée entièrement par noyau en béton armé ;

**4a.** Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques-voiles ;

**4b.** Système de contreventement de structures en portiques par des voiles en béton armé ;

**5.** Système fonctionnant en consoles verticale à masse réparties prédominantes ;

**6.** Système à pendules inverse.

**b) Structures en acier :**

**7.** Ossature contreventée par portiques auto-stables ductiles ;

**8.** Ossature contreventée par portiques auto-stables ordinaires ;

**9.** Ossature contreventée par palées triangulées concentriques ;

**9a.** Ossature contreventée par palées triangulées concentriques en X ;

**9b.** Ossature contreventée par palées triangulées concentriques en V ;

**10.** Ossature avec contreventements mixtes ;

**10a.** Système d'ossature contreventée par cadres ductiles et palées en X ;

**10b.** Système d'ossature contreventée par cadres ductiles et palées en V ;

**11.** Portiques fonctionnant en console verticale.

**c) Structures en maçonnerie :**

Les constructions en maçonnerie porteuse ordinaire sont interdites en zone sismique ; seule la maçonnerie porteuse chaînée est permise.

**12.** Structures en maçonnerie porteuse chaînée.

**d) Autres structures :**

**13.** Structures à ossatures métallique avec contreventement par diaphragme ;

**14.** Structures à ossatures métallique avec contreventement par noyau en béton armé ;

**15.** Structures à ossatures métallique avec contreventement par voiles en béton armé ;

**16.** Structures à ossatures métallique avec contreventement mixtes composé d'un noyau en béton armé et de palées et/ou portiques métalliques en périphérie ;

**17.** Structures comportant des transparences (étages souples).

**6.3.5. Classification des ouvrages selon leurs configuration**

**1.** Chaque bâtiment doit être classé selon sa configuration en plan et en élévation en bâtiment régulier ou non, selon les critères suivants :

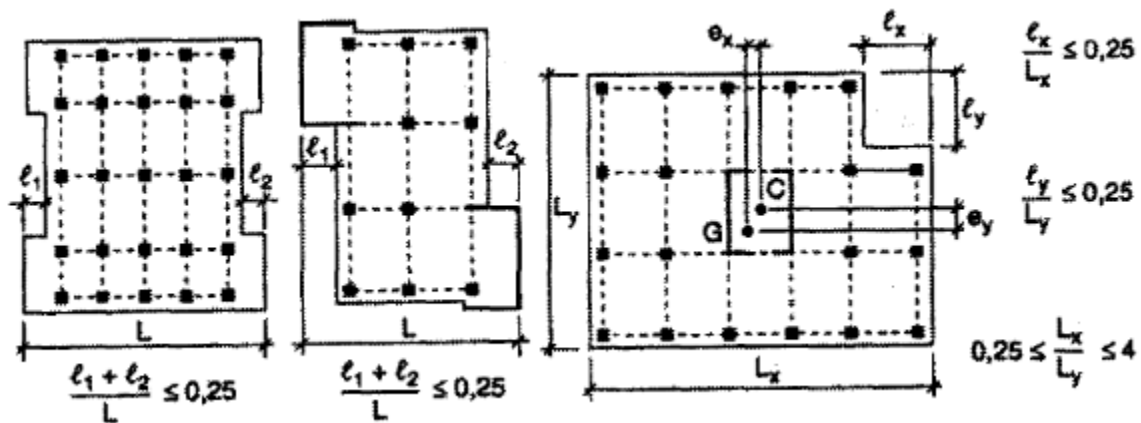
**a- Régularité en plan**

**a1-** 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.

**a2-** 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.

**a3-** 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. (**Figure 6.2**)

**a4-** 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 6.2** : Limites des décrochements en plan

### **b- Régularité en élévation**

**b1-** Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation.

**b2-** 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.

**b3-** Le rapport masse sur rigidité de deux niveaux successifs ne doit pas varier de plus de 25% dans chaque direction de calcul ;

**b4-** 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 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.

Toutefois, au dernier niveau, les éléments d'ouvrage, tels que buanderies, salle de machine d'ascenseurs etc. pourront ne pas respecter les règles b3 et b4 et être calculés conformément aux prescriptions relatives aux éléments secondaires. D'une manière générale, se reporter aux schémas de la figure 6.3.

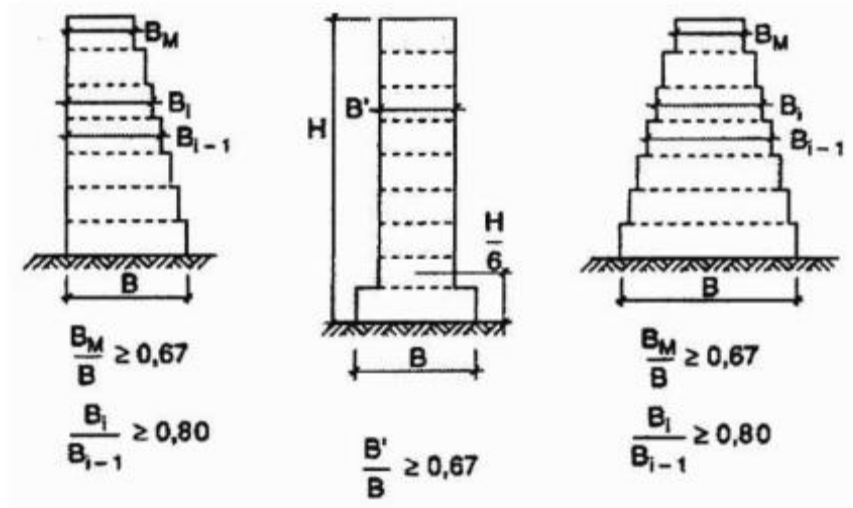


Figure 6.3 : Limites des décrochements en plan en élévation

2. Un bâtiment est classé régulier en plan si tous les critères de régularité en plan (**a1 à a4**) sont respectés. Par contre, il est classé irrégulier en plan si l'un de ces critères n'est pas satisfait ;
3. Un bâtiment est classé régulier en élévation si tous les critères de régularité en élévation (**b1 à b4**) sont respectés. Par contre, il est classé irrégulier en élévation si l'un de ces critères n'est pas satisfait ;
4. Un bâtiment est classé régulier s'il est à la fois régulier en plan et en élévation.

## **Chapitre 7**

# **Justification des structures en béton armé**

## 7.1. Introduction

En Algérie, les constructions en béton armé doivent être justifiées selon le règlement parasismique Algérien (RPA-99 version 2003). En vue de cela, ce chapitre présente les différentes justifications des structures en béton armé en fonction de ce règlement. Par le biais de ce chapitre, les combinaisons d'actions, les justifications vis-à-vis de la résistance, de l'équilibre d'ensemble, de la stabilité des fondations et la justification des joints sont présentées.

## 7.2. Combinaisons d'actions

Selon BAEL 91-99, les combinaisons de calculs à considérer sont :

### ➤ ELU

- Combinaisons fondamentales :

$$1.35G + 1.5Q \quad (7.1)$$

- Combinaisons accidentelles :

$$1.35G + 1.5Q + FA \quad (7.2)$$

### ➤ ELS

$$G + Q \quad (7.3)$$

Selon RPA 99-v2003, l'action sismique est considérée comme une action accidentelle au sens de la philosophie de calcul aux états limites. Les combinaisons d'actions à considérer pour la détermination des sollicitations et des déformations de calcul sont :

$$G + Q + E \quad (7.4)$$

$$0.8G \pm E \quad (7.5)$$

Pour les poteaux dans les ossatures auto stables, la combinaison (7.4) est remplacée par la combinaison suivante :

$$G + Q \pm 1.2E \quad (7.6)$$

Où, **G** = charges permanentes, **Q** = charges d'exploitation non pondérées, **FA** = valeur nominale de l'action accidentelle, et **E** = action du séisme représentée par ses composantes horizontales.

## 7.3. Justification vis-à-vis de la résistance, de l'équilibre d'ensemble et de la stabilité des fondations

### 7.3.1. Justification vis-à-vis de la résistance

La condition de résistance suivante doit être satisfaite pour tous les éléments structuraux, leurs assemblages ainsi que les éléments non structuraux critiques :

$$S_d \leq R_d \quad (7.7)$$

Où,  $S_d$  = sollicitation agissante de calcul résultat des combinaisons définies en 7.2, incluant éventuellement les effets du 2<sup>o</sup> ordre et  $R_d$  = sollicitation résistante de calcul de l'élément, calculée en fonction des propriétés du matériau constitutif.

### 7.3.2. Justification vis-à-vis de l'équilibre d'ensemble

Cette condition d'équilibre se réfère à la stabilité d'ensemble du bâtiment ou de l'ouvrage, soumis à des effets de renversement et/ou de glissement dus aux sollicitations résultant des combinaisons d'actions.

- Vérification vis-à-vis au renversement

Le moment stabilisant calculé en fonction du poids total de la structure ( $M_s$ ) doit être au minimum égale à **3/2** le moment de renversement causé par l'action sismique ( $M_r$ ), c-à-d :

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \frac{3}{2} \quad (7.8)$$

- Vérification vis-à-vis au glissement

1. Il faut assurer la stabilité des terrains de construction au glissement.
2. Il faut vérifier la stabilité des fondations au glissement. La justification du non-glissement d'une fondation est ainsi basée sur la vérification de l'inégalité suivante :

$$H_d \leq R_{h,d} + R_{p,d} \quad (7.9)$$

Avec :  $H_d$  = valeur de calcul de la composante horizontale de la charge transmise par la fondation superficielle au sol,  $R_{h,d}$  = valeur de calcul de la résistance au glissement de la fondation sur le terrain et  $R_{p,d}$  = valeur de calcul de la résistance frontale ou tangentielle de la fondation à l'effet de  $H_d$ .

Dans le cadre particulier des fondations dites « semi-profondes », il est également possible de prendre en compte le frottement sur les faces verticales dans le sens de l'effort  $H_d$ .

### 7.3.3. Justification vis-à-vis de la stabilité des fondations

Pour les justifications de la stabilité des fondations, il y a lieu de se réfère aux prescriptions et/ou exigences suivantes :

#### 1. Solidarisation des points d'appui

- a- Les points d'appuis d'un même bloc doivent être solidarités par un réseau bidirectionnel de longrine ou tout dispositif équivalent tendant à s'opposer au déplacement relatif de ces points d'appui dans le plan horizontal ;
- b- Les dimensions minimales de la section transversale des longrines sont :
  - 25cm x 30cm : site de catégorie  $S_2$  et  $S_3$ ,
  - 30cm x 30cm : site de catégorie  $S_4$ .

Les longrines ou le dispositif équivalent doivent être calculés à la traction. Le ferrailage minimum doit être de 0.6% de la section avec des cadres dont l'espacement est inférieur au minimum entre 20 cm et 15 fois le diamètre des armatures longitudinales ( $\emptyset_l$ ) ;

- c- La solidarisation par longrine ou dispositif équivalent est toujours exigée sauf dans le cas des semelles ancrées dans un sol rocheux sain, non fracturé (sites de catégorie  $S_1$ ) et dans le cas d'un site de catégorie  $S_2$  en zone I ;
- d- Dans le cas de structures légère (type hangar), les longrines peuvent être remplacées par le dallage travaillant en tirant ou en butors dans le sens transversal ;
- e- Dans le cas de structures lourdes (bâtiment élevés) constituées de plusieurs blocs, séparés par joints, il est recommandé de supprimer les joints au niveau des fondations si le système de fondation et la qualité du sol de fondation demeurent identiques sous les différents blocs ;
- f- Les poutres du plancher inférieur d'une construction ne peuvent être considérés comme jouant le rôle de longrines que si elles sont situées à une distance de la sous face des semelles ou massifs sur pieux inférieure à 1.20m. le cas échéant, un dallage peut remplacer les longrines lorsqu'il respecte la règle précédente.

## **2. Disposition constructive**

Les systèmes de fondations doivent être réalisés selon les méthodes et les dispositions techniques contenues dans les DTR en vigueur. Les dispositions constructives à adopter en présence de potentiels d'instabilité (liquéfaction, terrains instables) seront celles recommandées à l'issue d'une étude spécifique requise en pareille situation.

## **3. Vérification de la capacité portante**

Les systèmes de fondations doivent être justifiés selon les méthodes contenues dans les DTR de conception et de calcul en vigueur, moyennant les modifications suivantes :

- **Fondations superficielles** : les fondations superficielles sont dimensionnées selon les combinaisons d'actions présentées en équations (7.4) et (7.5). Compte tenu de l'application à la résistance ultime du sol ( $q_u$ ) d'un coefficient de sécurité de 2.0.
- **Fondations profondes** : les fondations profondes sont dimensionnées selon les combinaisons d'actions présentées en équations (7.4) et (7.5). Compte tenu de l'application de coefficient de sécurité partiels (voir chapitre 5 du DTR BC 2.332).

## **4. Vérification de la stabilité au renversement**

Quel que soit le type de fondations, il faut vérifier que l'excentrement ( $e$ ) de la résultante des forces verticales gravitaires et des forces sismiques reste à l'intérieur de la moitié centrale de la base des éléments de fondation résistant au renversement ( $e = M/N \leq$

B/4). Avec  $M$  et  $N$  sont le moment et l'effort normal agissant sur la fondation et  $B$  est la largeur de la fondation.

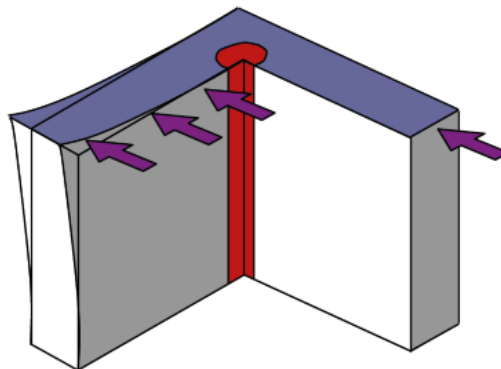
#### 7.4. Définition et justification des joints

En situation sismique, il est nécessaire de prévoir un joint sismique avec une distance minimale entre deux bâtiments voisins, permettant d'éviter l'entrechoquement. Pour un bâtiment de forme complexe, il peut être intéressant de le découper par des joints sismiques afin de ne plus avoir que des parties structurelles de forme simple. Pour créer et dimensionner un joint sismique, des exigences minimales doivent être respectées.

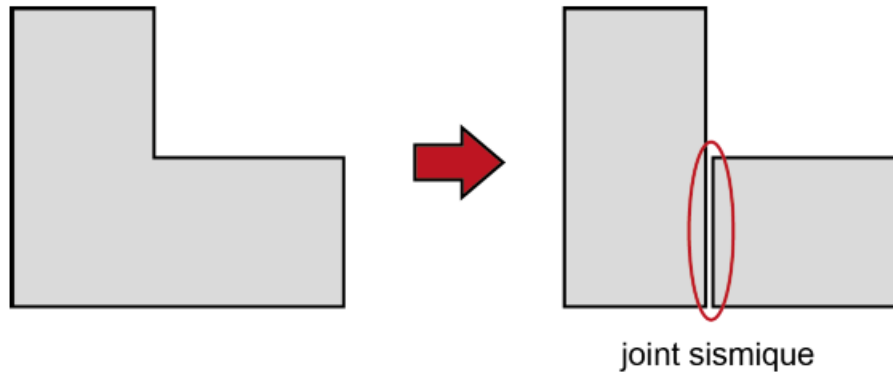
Un joint sismique est l'espace laissé libre entre deux bâtiments ou deux parties d'un même bâtiment afin de dissocier complètement le comportement sismique des structures ainsi séparées. La présence du joint sismique permet de concevoir, de calculer et de dimensionner de manière indépendante les deux structures pour la situation sismique. Les joints sismiques sont utilisés principalement dans les cas suivants :

- Pour deux bâtiments au voisinage l'un de l'autre ;
- Lorsque la configuration en plan d'un bâtiment est complexe, le comportement sismique peut être aggravé par les phénomènes de torsion, le comportement modal distinct des différentes parties d'un niveau et les concentrations locales de charges qui en découlent (**Figure 7.1**). Dans ce cas, il peut être intéressant de transformer la configuration en plan par deux (ou plus) configurations plus simples, souvent rectangulaires, séparés par des joints sismiques (**Figure 7.2**). Le bâtiment est alors constitué par deux (ou plus) structures dynamiquement indépendantes.

La réalisation d'un joint sismique séparant un bâtiment en deux unités distinctes d'un point de vue dynamique améliore le comportement sismique d'ensemble. Elle peut par contre s'avérer assez délicate à combiner avec les exigences de circulation, d'étanchéité et d'isolation thermique.



**Figure 7.1** : Comportement sismique différent pour les deux branches d'un plan en L

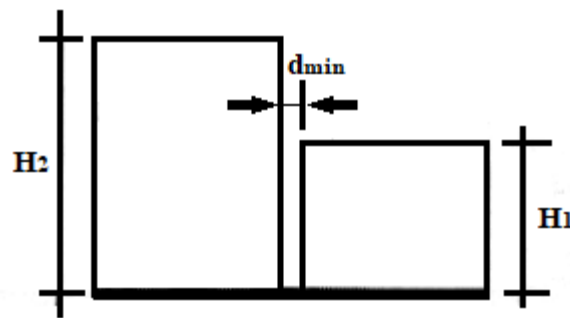


**Figure 7.2 :** D'une configuration en plan complexe (irrégulière) vers deux configurations simples (régulières) par l'adjonction d'un joint sismique

Deux blocs doivent être séparés par des joints sismiques (**Figure 7.3**) dont la largeur minimale ( $d_{min}$ ) satisfait la condition suivante :

$$d_{min} = 15\text{mm} + (\delta_1 + \delta_2)\text{mm} \geq 40\text{mm} \quad (7.10)$$

Où,  $\delta_1$  et  $\delta_2$  = 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 7.3 :** Joint sismique entre deux blocs indépendants

## **Chapitre 8**

# **Spécifications des éléments de structures**

## 8.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter les différentes spécifications pour les éléments structuraux principaux et secondaires ainsi que les spécifications qui concernent les matériaux à savoir le béton et l'acier. Avant de présenter ces spécifications, il faut distinguer entre les éléments structuraux principaux et secondaires. D'après le règlement parasismique Algérien RPA-99 version 2003, les éléments principaux sont les éléments qui interviennent dans la résistance aux actions sismiques d'ensemble ou dans la distribution de ces actions au sein de l'ouvrage. D'autres part, les éléments qui n'interviennent pas dans la résistance aux actions sismiques d'ensemble ou dans leur distribution peuvent être considérés comme des éléments secondaires.

## 8.2. Spécifications pour les éléments principaux

### 8.2.1. Spécifications pour les poteaux

#### 8.2.1.1. Coffrage

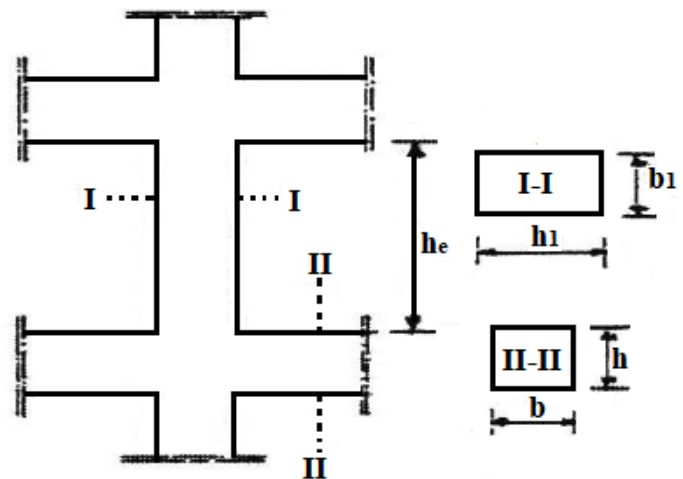
Les poteaux doivent être coulés sur toute leur hauteur ( $h_e$ ) en une seule fois. Les dés de calage sont interdits.

Les dimensions de la section transversale des poteaux doivent satisfaire les conditions suivantes (**Figure 8.1**) :

- $\min (b_1, h_1) \geq 25\text{cm}$  en zones I et II ;
- $\min (b_1, h_1) \geq 30\text{ cm}$  en zone III ;
- $\min (b_1, h_1) \geq h_e/20$  ;
- $1/4 < b_1/h_1 < 4$ .

➤ Pour les poteaux circulaires :

- $D \geq 25\text{cm}$  en zone I ;
- $D \geq 30\text{cm}$  en zone II ;
- $D \geq 35\text{cm}$  en zone III ;
- $D \geq h_e/15$ .



**Figure 8.1** : Coffrage des poteaux

### 8.2.1.2. Ferrailage

#### ❖ Armatures longitudinales

Les armatures longitudinales doivent être à haute adhérence, droites et sans crochets :

- Leur pourcentage minimal sera de :
  - 0.7% en zone I ;
  - 0.8% en zone II ;
  - 0.9% en zone III.
- Leur pourcentage maximal sera de :
  - 4% en zone courante ;
  - 6% en zone de recouvrement.
- Le diamètre minimum est de **12mm**
- La longueur minimale des recouvrements est de :
  - 40 Ø en zone I et II ;
  - 50 Ø en zone III.
- La distance entre les barres verticales dans une face du poteau ne doit pas dépasser :
  - 25 cm en zone I et II ;
  - 20 cm en zone III.

Les jonctions par recouvrement doivent être faites si possible, à l'extérieur des zones nodales (zones critiques).

La zone nodale est constituée par le nœud poutre-poteaux proprement dit et les extrémités des barres qui y concourent. Les longueurs à prendre en compte pour chaque barre sont données dans la figure 8.2.

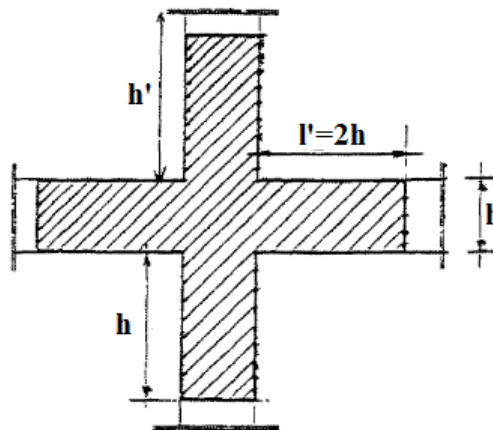


Figure 8.2 : Zone nodale

Avec :

$$h' = \max (h_e/6; b_1; h_1; 60\text{cm}) \quad (8.1)$$

### ❖ Armatures transversales

Les armatures transversales des poteaux sont calculées à l'aide de la formule suivante :

$$\frac{A_t}{t} = \frac{\rho_a V_u}{h_1 f_e} \quad (8.2)$$

Où  $V_u$  = effort tranchant de calcul,  $h_1$  = hauteur totale de la section brute,  $f_e$  = limite élastique des armatures transversales,  $\rho_a$  = coefficient correcteur qui tient compte du mode fragile de la rupture par effort tranchant et  $t$  = espacement des armatures transversales dont la valeur est déterminée dans la formule (8.1).

➤ La valeur maximum de l'espacement ( $t$ ) est fixée comme suit :

- Dans la zone nodale :
  - $t \leq \min(10\Phi_1 ; 15\text{cm})$  en zone I et IIa ;
  - $t \leq 10\text{cm}$  en zone IIb et III.
- Dans la zone courante :
  - $t' \leq 15 \Phi_1$  en zone I et IIa ;
  - $t' \leq \min(b_1/2 ; h_1/2 ; 10\Phi_1)$  en zone IIb et III.

Où  $\Phi_1$  = diamètre minimal des armatures longitudinales du poteau.

➤ La quantité d'armatures transversales minimale  $A_t/tb_1$  en % est donnée comme suit :

- 0.3% si  $\lambda_g \geq 5$  ;
- 0.8% si  $\lambda_g \leq 3$  ;
- Si  $3 < \lambda_g < 5$  ; interpoler entre les valeurs limites précédentes.

Où  $\lambda_g$  = élancement géométrique du poteau.

## 8.2.2. Spécifications pour les poutres

### 8.2.2.1. Coffrage

Les poutres doivent respecter les dimensions suivantes (**Figure 8.3**) :

- $b \geq 20\text{cm}$  ;
- $h \geq 30\text{cm}$  ;
- $h/b \leq 4$  ;
- $b_{\max} \leq 1.5h + b_1$  ;
- $h$  peut être ramené à 20cm dans les ouvrages contreventés par voiles.

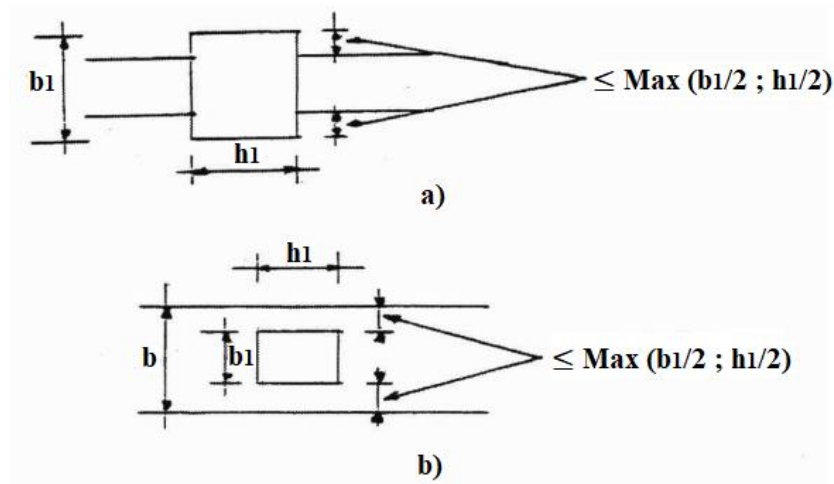


Figure 8.3 : Dimensions à respecter par les poutres

### 8.2.2.2. Ferrailage

#### ➤ Armatures longitudinales

- Le pourcentage total minimum des aciers longitudinaux sur toute la longueur de la poutre est de 0.5% en toute section.
- Le pourcentage total maximum des aciers longitudinaux est de :
  - 4% en zone courante
  - 6% en zone de recouvrement
- Les poutres supportant de faibles charges verticales et sollicitées principalement par les forces latérales sismiques doivent avoir des armatures symétriques avec une section en travée au moins égale à la moitié de la section sur appui.
- La longueur minimale de recouvrement est de :
  - 40  $\emptyset$ , en zone I et IIa
  - 50  $\emptyset$ , en zone IIb et III
- L'ancrage des armatures longitudinales supérieures et inférieures dans les poteaux de rive et d'angle doit être effectué conformément à la figure 8.4 avec des crochets à 90°. Cette même figure comporte les autres dispositions constructive et quantité minimales d'armatures.
- Les cadres du nœud disposés comme armatures transversales des poteaux, sont constitué de 2 U superposés formant un carré ou un rectangle (là où les circonstances s'y prêtent, des cadres traditionnels peuvent également être utilisés).
- Les directions de recouvrement de ces U doivent être alternées (voir détail Fig. 8.4). Néanmoins, il faudra veiller à ce qu'au moins un côté fermé des U d'un cadre

soit disposé de sorte à s'opposer à la poussée au vide des crochets droits des armatures longitudinales des poutres.

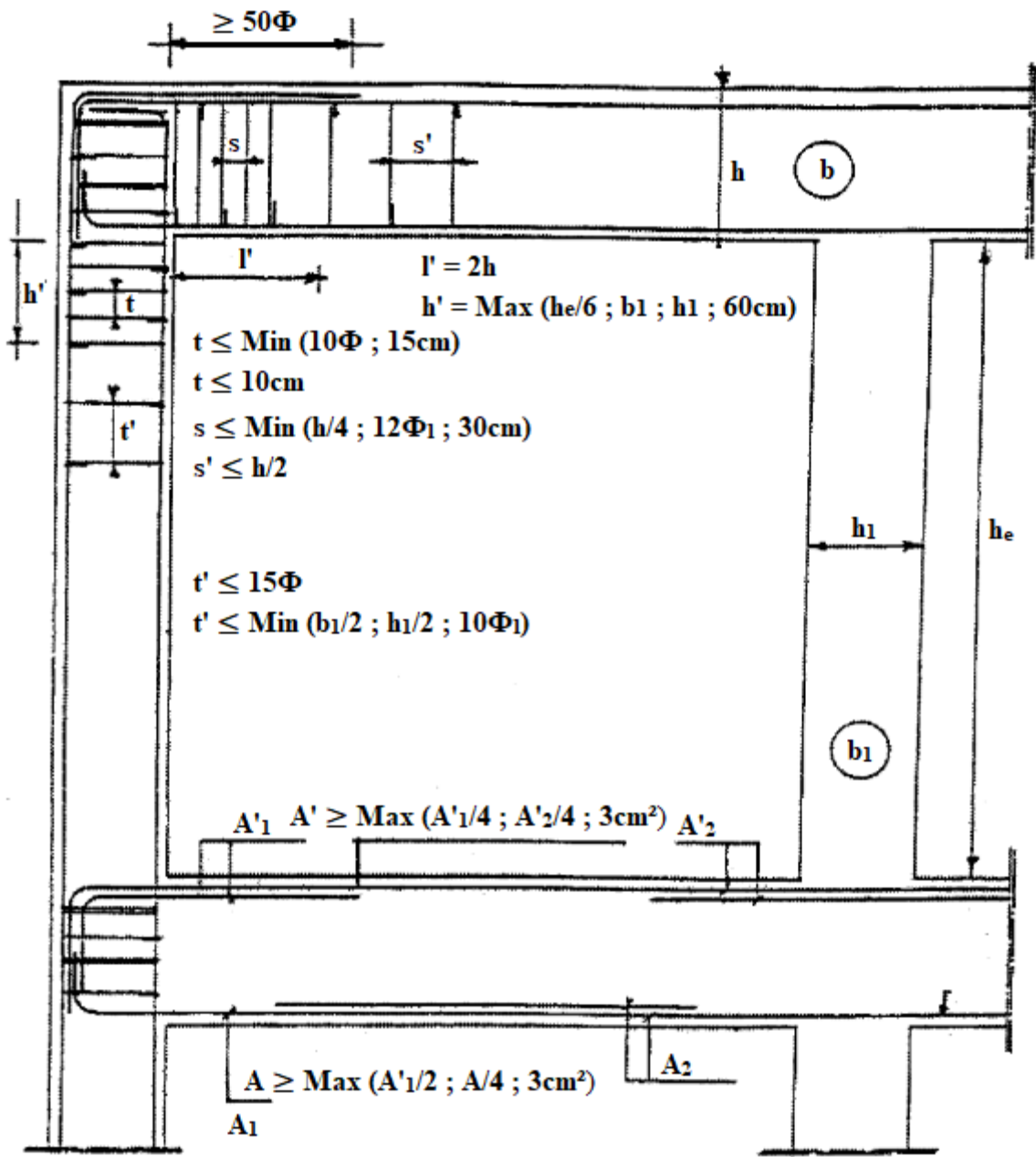
- On doit avoir un espacement maximum de 10cm entre deux cadres et un minimum de trois cadres par nœud.

➤ Armatures transversales

- La quantité d'armatures transversales minimales est donnée par :

$$A_t = 0.003 s b \quad (8.3)$$

- L'espacement maximum entre les armatures transversales (s) est déterminé comme suit :
  - Dans la zone nodale et en travée si les armatures comprimées sont nécessaires : minimum de  $(h/4, 12 \varnothing_1)$  ;
  - En dehors de la zone nodale :  $s \leq h/2$ .
- La valeur du diamètre  $\varnothing_1$  des armatures longitudinales à prendre est le plus petit diamètre utilisé, et dans le cas d'une section en travée avec armatures comprimées, c'est le diamètre le plus petit des aciers comprimés ;
- Les premières armatures transversales doivent être disposées à 5cm au plus du nu de l'appui ou de l'encastrement.



Détail d'un cours d'armatures transversales de la zone nodale



2 U superposés (avec alternance dans l'orientation)

Figure 8.4 : Dispositions constructives des portiques

### 8.2.3. Spécifications pour les murs et les voiles de contreventement

#### 8.2.3.1. Coffrage

Les éléments sont considérés comme voiles s'ils satisfaisant à la condition  $l \geq 4a$  (Figure 8.5).

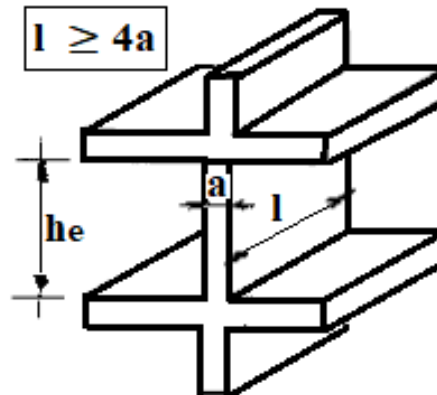


Figure 8.5 : Coupe de voile en élévation

L'épaisseur minimale est de 15 cm. De plus, l'épaisseur doit être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage  $h_e$  et des conditions de rigidité aux extrémités comme indiqué à la figure 8.6.

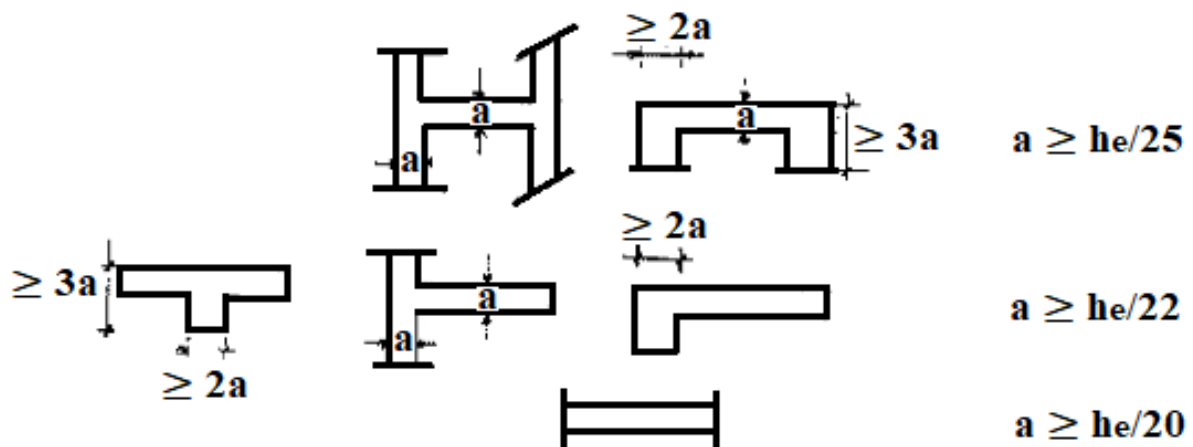


Figure 8.6 : Coupe de voile en plan

Pour les calculs de l'inertie des voiles, il est admis de considérer l'influence des murs perpendiculaires. La longueur du mur prise en compte de chaque côté devrait être la plus petite des valeurs indiquées sur la figure 8.7.

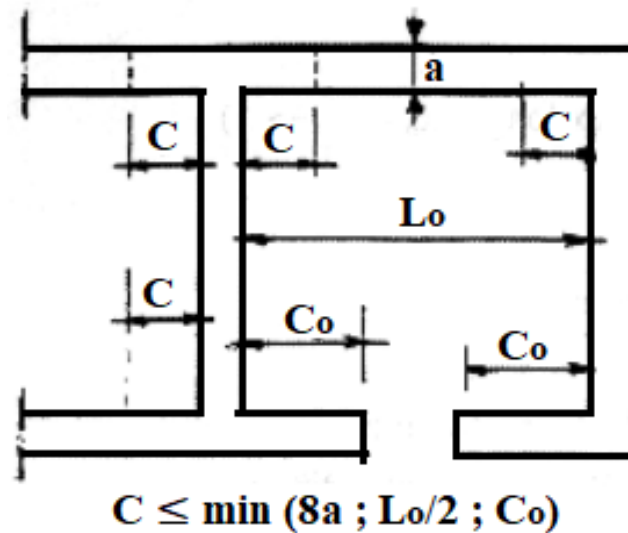


Figure 8.7 : Prise en compte des murs en retour

### 8.2.3.2. Contraintes limites de cisaillement dans les linteaux et les trumeaux

La contrainte de cisaillement dans le béton ( $\tau_b$ ) est limitée à  $0.2f_{c28}$ .

### 8.2.3.3. Ferrailages des linteaux

#### ➤ **Premier cas** : si $\tau_b \leq 0.06f_{c28}$

Les linteaux sont calculés en flexion simple, avec les efforts moment (M) et effort tranchant (V). On devra disposer :

- Des aciers longitudinaux de flexion ( $A_l$ )
- Des aciers transversaux ( $A_t$ )
- Des aciers en partie courante (aciers de peau) ( $A_c$ )

#### ➤ **Deuxième cas** : si $\tau_b > 0.06f_{c28}$

Dans ce cas, il y a lieu de disposer les ferrailages longitudinaux (supérieurs et inférieurs), transversaux et en zone courante (armatures de peau) suivant les minimums réglementaires.

Les efforts (M, V) sont repris suivant des bielles diagonales (de compression et de traction) Suivant l'axe moyen des armatures diagonales  $A_D$  à disposer obligatoirement (**voir figure 8.8**)

#### ➤ **Armatures minimales**

Les taux minimaux de chaque type d'armatures sont indiqués sur la figure 8.8.

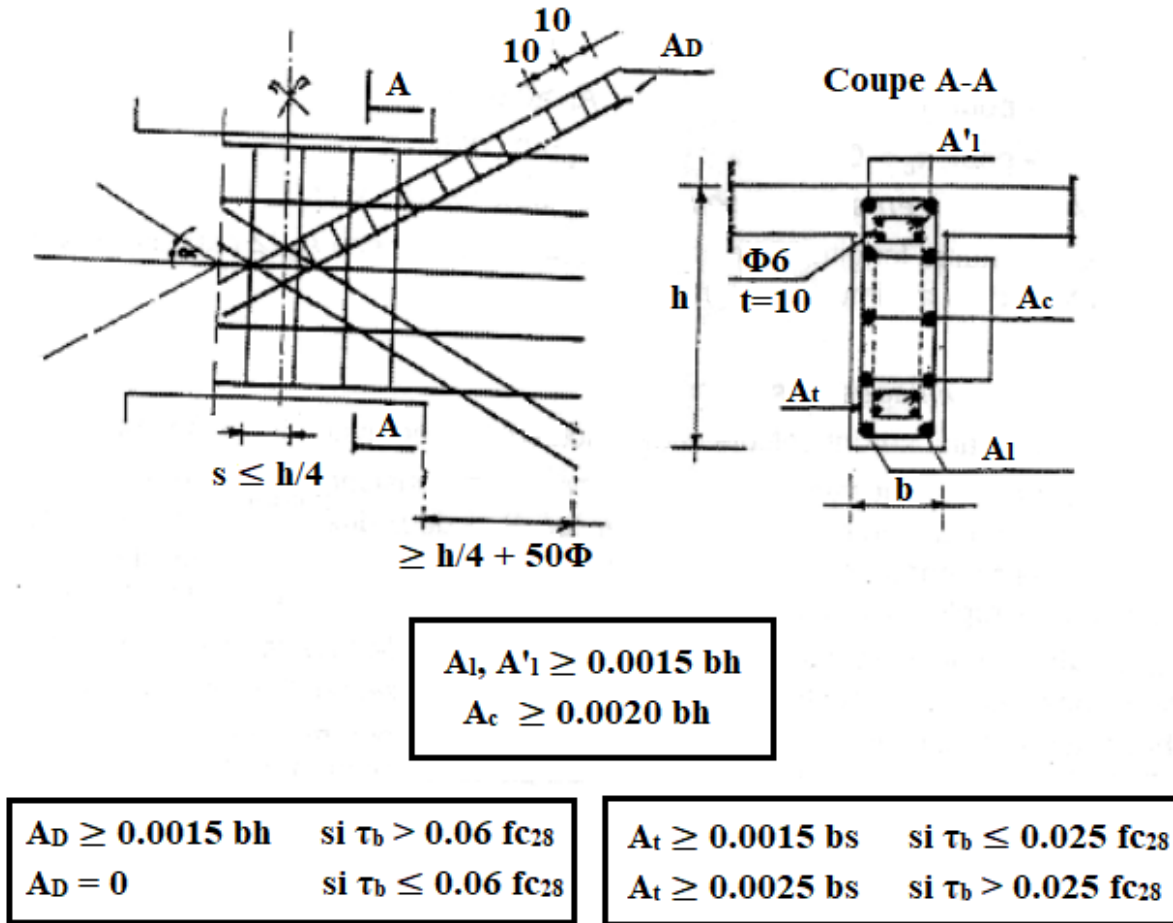


Figure 8.8 : Armatures des linteaux

#### 8.2.3.4. Ferrailages des trumeaux

Les trumeaux seront calculés en flexion composée avec effort tranchant.

Moyennant la satisfaction des conditions de dimensionnement fixées en 8.1.3.1. et la disposition de contreventement en voiles dans deux directions orthogonales, le calcul des trumeaux se fera exclusivement dans la direction de leur plan moyen en appliquant les règles classiques de béton armé (cf. DTR-B.C. 2.41 « CBA 93 »).

Si la deuxième condition n'est pas respectée, il y a lieu de faire le calcul de vérification dans les deux directions ; le calcul dans la deuxième direction (Direction orthogonale à la direction du plan moyen) doit alors se faire en suivant les règles du DTR-B.C. 2.42 « Règles de conception des parois et murs en béton ». Le calcul se fera dans ce cas pour des bandes verticales de largeur  $d$  :

$$d \leq \min (h_e/2, 2l'/3) \quad (8.4)$$

Où  $l'$  = longueur de la zone comprimée et  $h_e$  = hauteur entre nus de planchers du trumeau considéré.

On devra disposer les ferrailages suivants :

- Des aciers verticaux ;
- Des aciers horizontaux.

➤ **Aciers verticaux**

Lorsqu'une partie du voile est tendue sous l'action des forces verticales et horizontales, l'effort de traction doit être pris en totalité par les armatures, le pourcentage minimum des armatures verticales sur toute la zone tendue est de 0.20%.

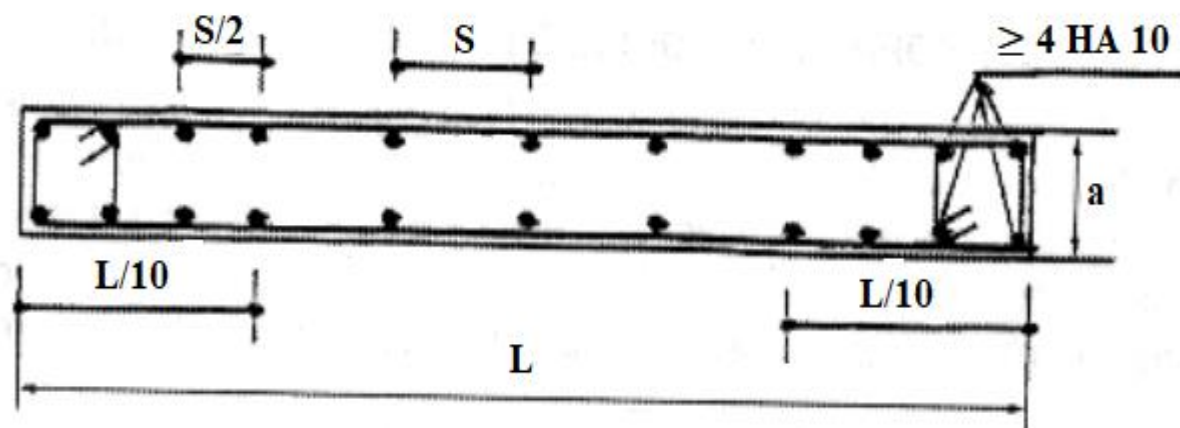
Il est possible de concentrer des armatures de traction à l'extrémité du voile ou du trumeau, la section totale d'armatures verticales de la zone tendue devant rester au moins égale à 0.20% de la section horizontale du béton tendu.

Les barres verticales des zones extrêmes devraient être ligaturées avec des cadres horizontaux dont l'espacement ne doit pas être supérieur à l'épaisseur du voile.

Si des efforts importants de compression agissent sur l'extrémité, les barres verticales doivent respecter les conditions imposées aux poteaux.

Les barres verticales du dernier niveau doivent être munies de crochets à la partie supérieure. Toutes les autres barres n'ont pas de crochets (jonction par recouvrement).

A chaque extrémité du voile (trumeau), l'espacement des barres doit être réduit de moitié sur 1/10 de la largeur du voile (**figure 8.9**). Cet espacement d'extrémité doit être au plus égal à 15 cm.



**Figure 8.9 :** Disposition des armatures verticales dans les voiles

➤ **Aciers horizontaux**

Les barres horizontales doivent être munies de crochets à  $135^\circ$  ayant une longueur de  $10\emptyset$ .

Dans le cas où il existe des talons de rigidité, les barres horizontales devront être ancrées sans crochets si les dimensions des talons permettent la réalisation d'un ancrage droit.

### ➤ Règles communes

Le pourcentage minimum d'armatures verticales et horizontales des trumeaux, est donné comme suit :

- Globalement dans la section du voile 0.15%
- En zone courante 0.10 %

L'espacement des barres horizontales et verticales doit être inférieur à la plus petite des deux valeurs 1.5a et 30cm.

Les deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins 4 épingles au mètre carré.

Dans chaque nappe, les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieur.

Le diamètre des barres verticales et horizontales des voiles (à l'exception des zones d'about) ne devrait pas dépasser 1/10 de l'épaisseur du voile.

Les longueurs de recouvrement doivent être égales à :

- $40\varnothing$  pour les barres situées dans les zones où le renversement du signe des efforts est possible ;
- $20\varnothing$  pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les combinaisons possibles de charges.

Le long des joints de reprise de coulage, l'effort tranchant doit être pris par les aciers de couture, cette quantité d'aciers doit s'ajouter à la section d'aciers tendus nécessaires pour équilibrer les efforts de traction dus aux moments de renversement.

#### 8.2.4. Dispositions propres aux dalles et aux diaphragmes

Il doit exister un chaînage périphérique continu (**voir figure 8.10**), d'au moins  $3\text{cm}^2$  de section d'acier et un chaînage au croisement de chaque élément de contreventement avec le plancher, de section minimale  $1.5\text{cm}^2$  et respectant la règle de  $0.28L$  dans le cas de contreventement par voile, et de  $0.50L$ , dans le cas de contreventement par portiques,  $L$  étant la largeur chaînée exprimée en mètres.

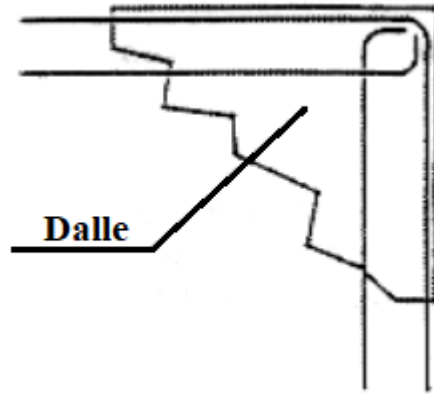


Figure 8.10 : Chaînage des dalles et des diaphragmes

### 8.3. Spécifications pour les éléments secondaires

Les dispositions constructives à prendre en sus de celles de règles traditionnelles sont les suivantes :

#### 8.3.1. Poutres, poutrelles et dalles

Il faut s'assurer d'une bonne liaison de l'élément porté sur l'élément porteur par l'intermédiaire d'armatures réalisant la continuité mécanique du ferrailage.

Cette continuité mécanique peut être assurée soit par la continuité des aciers inférieures, soit par des chapeaux équilibrant au moins 0.15 de la valeur du moment ( $M_0$ ), soit par des barres relevées ancrées sur appuis.

#### 8.3.2. Poteaux

La continuité mécanique des armatures doit être assurée aux extrémités de poteaux (**voir figure 8.11**).

De plus, les armatures transversales aux extrémités du poteau sur la hauteur  $b$  doivent avoir un espacement maximal à ne pas dépasser, soit le minimum de ( $12\phi_1$ ,  $0.5 a$ ,  $30 \text{ cm}$ ).

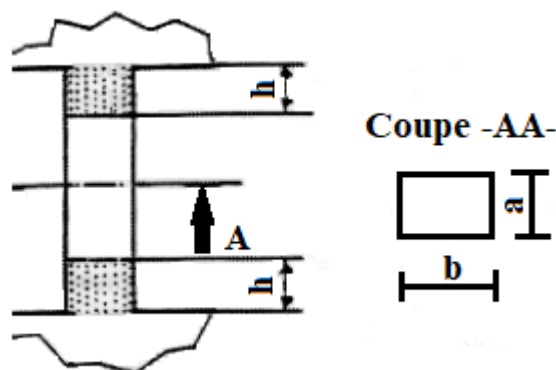


Figure 8.11 : Zones de continuité mécanique des armatures des poteaux secondaires

### 8.3.3. Murs secondaires

Un mur secondaire comporte au minimum les chaînages verticaux CV, les chaînages CL de linteaux et les chaînages horizontaux CH suivants :

- CV : 3HA Ø 10 ou 4HAØ8 cadres Ø6 espacés de 10cm ;
- CL : deux armatures HAØ8 ;
- Les chaînages CH sont définis dans la section **8.1.4**.

L'emplacement des chaînages CV et CL est celui défini par les règles traditionnelles sauf qu'il n'y a pas obligation de prévoir des chaînages CV à l'intersection des murs.

## 8.4. Spécifications concernant les matériaux

### 8.4.1. Béton

D'après le RPA99-v2003, pour les éléments principaux, le béton mis en œuvre doit avoir une résistance  $f_{c28}$  au moins égale à 20MPa et au plus égale à 45MPa. D'autre part, l'Eurocode tolère l'utilisation du béton jusqu'à 90MPa.

Les valeurs des modules d'élasticité doivent être conformes à celles fixées par le CBA.

### 8.4.2. Acier

Excepté pour les armatures transversales, les armatures pour béton armé des éléments principaux doivent être à haute adhérence, avec une limite d'élasticité spécifiée inférieure ou égale à 500MPa. D'autre part, l'Eurocode limite l'utilisation des aciers jusqu'à 600MPa.

L'allongement total relatif sous charge maximale spécifiée doit être supérieur ou égale à 5%.

# **Conclusion**

## **Conclusion**

Le présent polycopié permet aux étudiants de recevoir des connaissances concernant les différentes techniques et règles existantes dans le domaine de construction. A travers son contenu, ce polycopié de cours présente des informations importantes en tout ce qui concerne les techniques d'élaboration d'un projet de construction, de préparation des chantiers et de réalisation des ouvrages en béton armé, métalliques ou mixtes. D'autre part, ce document donne une vue générale sur la réglementation dans le domaine de construction. Le règlement parasismique Algérien RPA-99 version 2003 a pris une grande partie dans les derniers chapitres, où les règles de conception, les critères de classification, les justifications et les spécifications des éléments de structures en béton armé ont été mise en évidence.

# **Bibliographie**

## Bibliographie

1. Abdelaziz Yazid. (2018, Novembre 13). Notes de cours : Ouvrages métalliques. Academia.  
[https://www.academia.edu/17891796/G%C3%A9n%C3%A9ralit%C3%A9s\\_sur\\_les\\_ouvrages\\_m%C3%A9talliques](https://www.academia.edu/17891796/G%C3%A9n%C3%A9ralit%C3%A9s_sur_les_ouvrages_m%C3%A9talliques)
2. Amar K. (2015/2016). Cours ossatures bâtiment, Université Hassiba Ben Bouali de Chlef. Algérie.
3. Andy. Coffrage alu : comment réaliser un coffrage métallique ?. (2018, Janvier 19). Bricolo Blogger. <https://www.bricolo-blogger.com/post/2018/01/19/coffrage-alu-comment-realiser-un-coffrage-metallique>
4. ARPE, URCAUE et DEDD. (2009, Mai). Document de travail : Choix du site. France.
5. Assemblages soudés : Soudure - Généralités. (2018, Novembre 13). Notech. <https://notech.franceserv.com/soudure-generalites.html>
6. Béton armé aux états limites. (2018, Novembre 2018). Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9ton\\_arm%C3%A9\\_aux\\_%C3%A9tats\\_limites](https://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9ton_arm%C3%A9_aux_%C3%A9tats_limites)  
26/11/2018
7. Béton armé. (2018, Novembre 26). Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9ton\\_arm%C3%A9#%C3%89volution\\_des\\_r%C3%A8gles\\_de\\_calcul](https://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9ton_arm%C3%A9#%C3%89volution_des_r%C3%A8gles_de_calcul)
8. Blindage complet pour une protection de 100%, via planches, appuis et étrépillons en bois. (2021, Juin 01). CYPE Ingenieros, S.A. [http://www.algerie.prix-construction.info/renovation/Structure\\_et\\_gros\\_oeuvre/Transformations\\_et\\_reparation/Reprises\\_en\\_sous-oeuvre/GAO040\\_Blindage\\_de\\_fouilles\\_excavees\\_pour\\_0\\_2.html](http://www.algerie.prix-construction.info/renovation/Structure_et_gros_oeuvre/Transformations_et_reparation/Reprises_en_sous-oeuvre/GAO040_Blindage_de_fouilles_excavees_pour_0_2.html)
9. Bruno et Angel. Les bétons : Comment réaliser un coffrage avant le coulage du béton ?. (2013, Juin 05). BILP. <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-generalites/materiel-materiaux/beton/realisation-coffrage>
10. Caissons de blindage. (2018. Octobre 15). SBH. <https://www.sbh-verbau.de/fr/blindage/caissons-de-blindage/caisson-standard-avec-profil-de-transformation.html>
11. Chabbi C. (2018, Novembre 26). Les normes (2/3) : normes et construction. LABELS Construction. Le blog de Christophe Chabbi. <http://www.chabbi.fr/2012/12/les-normes-2-sur-3-normes-et-construction/#respond>

12. Chapitre D : Terrassement, Cahier des Charges-Type (CCT) relatif aux voiries en région de Bruxelles Capitale, 2015.
13. Claude K et François P. Gestion des terres végétales, Exigences du service des routes, FVE – Séminaire, 16 novembre 2010, Tolochenaz, Suisse.
14. Claude KÜNDIG, François PETRICCIOLI, Gestion des Terres Végétales, Exigences du Services des Routes, FVE - Séminaire du 16 novembre 2010 à Tolochenaz.
15. Coffrage. (2009, Mars 24). Ciment Wikibis. <http://www.ciment.wikibis.com/coffrage.php>
16. Collectif Eyrolles. (2013). Structures métalliques Ouvrages simples. Guide technique et de calcul d'éléments structurels en acier. Eyrolles. France.
17. Comité éditorial. (2018, août 20). Phases des projets dans le BTP et l'ingénierie, AEC&ITMEDIA. <https://www.blog-logiciel-btp.com/les-phases-d-un-projet-de-construction-vue-d-aigle-a-vue-de-fourmi>
18. Comment réaliser un bornage et un piquetage pour une construction ?. (2018, Octobre 20). LEROY MERLIN. <https://www.leroymerlin.fr/campus/gros-oeuvre/comment-realiser-un-bornage-et-un-piquetage-pour-une-construction.html>
19. Construction : La réglementation technique du bâtiment en Algérie. (2021, Janvier 20). <https://www.mhuv.gov.dz/fr/construction/>
20. Corbion J. (2016, Juin). Le savoir... fer — Glossaire du haut fourneau. Ed. 5. HUILIER. Florange. France.
21. Cours de pratique professionnelle : Les étapes du projet. (2018, Octobre 15). AAPQ. <https://formation.aapq.org/etape.php>
22. Egis eau. (2009, Mai). Prédimensionnement des Ouvrages du Terminal Conteneurs de Jarry Sud, Programme des Investigations Géophysiques et Géotechniques, Guadeloupe.
23. Étapes pour la réalisation d'un projet de construction. (2018, Octobre 14). Luc Fortin Architecte. <https://www.lucfortinarchitecte.ca/etapes-de-processus-de-construction/>
24. Fondations semi-profondes. (2021, Janvier 17). Ooreka Maison. <https://construction-maison.ooreka.fr/astuce/voir/580107/fondations-semi-profondes>
25. Fouilles remplies d'eau, que faire ?. (2018, Octobre 20). M Habitat. [https://www.m-habitat.fr/terrassement-et-fondation/fouilles-et-fondations/fouilles-remplies-d-eau-que-faire-3215\\_A](https://www.m-habitat.fr/terrassement-et-fondation/fouilles-et-fondations/fouilles-remplies-d-eau-que-faire-3215_A)
26. Fresnel D, (2018, Novembre 26). Généralités du béton, Université Lumière (ULUM). Academia.

- [https://www.academia.edu/7960768/G%C3%A9n%C3%A9ralit%C3%A9\\_du\\_b%C3%A9ton\\_HISTORIQUE](https://www.academia.edu/7960768/G%C3%A9n%C3%A9ralit%C3%A9_du_b%C3%A9ton_HISTORIQUE)
27. Gérard C. La maison de A à Z : Le vocabulaire de la construction. Ed. 5. Editions Alternatives. Paris, France, 2003.
  28. Gestion de chantier, tout ce qu'il faut savoir. (2021, Mai 30). BATI ADVISOR. <https://batiadvisor.fr/gestion-de-chantier-tout-ce-qui-faut-savoir/>
  29. Innogeo, (2018, Octobre 15). Méthodes Géophysiques Électromagnétiques Em31, Em34, Em38, Em61 pour la Recherche de Karsts, Dolines, Lentilles de Sables ou d'Argile, Structures et Objets Enterrés. [https://innogeo.fr/files/innogeo\\_fiche\\_technique\\_em.pdf](https://innogeo.fr/files/innogeo_fiche_technique_em.pdf)
  30. La semelle isolée : Fondation superficielle pour poteau. (2019, Décembre 23). Tout sur le béton. <https://www.toutsurlebeton.fr/mise-en-oeuvre/la-semelle-isolee-fondation-superficielle-pour-poteau/>
  31. Langa, Manitra, Bruno et Fanoa. La technique d'implantation. (2015, Avril 26). <https://constructionbois.bilp.fr/guide-construction-bois/fondations-supports/preparation-fondation/technique-implantation>
  32. Le boulonnage des éléments en acier. (2018, Novembre 20). Planète TP. [http://www.planete-tp.com/IMG/pdf/Le\\_boulonnage\\_cle024ca5.pdf](http://www.planete-tp.com/IMG/pdf/Le_boulonnage_cle024ca5.pdf)
  33. Le fond de fouille : la base de toute fondation. (2019, Décembre 23). Tout sur le béton. <https://www.toutsurlebeton.fr/mise-en-oeuvre/le-fond-de-fouille-la-base-de-toute-fondation/>
  34. Le radier de fondation en béton : Le radier béton. (2019, Décembre 24). Tout sur le béton. <https://www.toutsurlebeton.fr/mise-en-oeuvre/le-radier-de-fondation-en-beton/>
  35. Lefebvre J P. Organisation des chantiers de bâtiments. (2009, Aout 10). Techniques de l'Ingénieur. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/techniques-du-batiment-organiser-son-chantier-43802210/organisation-des-chantiers-de-batiments-c114/>
  36. Lemdani M A, Cours implantation, 2<sup>ème</sup> année module Construction, EPAU. Algérie.
  37. Les différents blindages. (2018, Octobre 15). Wiki TP. <http://www.wikitp.fr/terrassement-en-trancheacutes/les-differents-blindages3865886>
  38. Les fondations. (2018, Juin 05). BILP. <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/ouvrage/fondations/>

39. Les fouilles en puits. (2018, Octobre 20). M Habitat. [https://www.m-habitat.fr/terrassement-et-fondation/fouilles-et-fondations/les-fouilles-en-puits-3237\\_A](https://www.m-habitat.fr/terrassement-et-fondation/fouilles-et-fondations/les-fouilles-en-puits-3237_A)
40. Les fouilles en puits. (2021, Janvier 20). M Habitat. [https://www.m-habitat.fr/terrassement-et-fondation/fouilles-et-fondations/les-fouilles-en-puits-3237\\_A](https://www.m-habitat.fr/terrassement-et-fondation/fouilles-et-fondations/les-fouilles-en-puits-3237_A)
41. Les moyens d'investigations géotechniques. (2021, Mai 30). Groupe Fondasol. <https://www.fondasol.fr/prestations/moyens-investigations-geotechniques.php>
42. Les ouvrage de fondation : Typologie des fondations profondes. (2018, Octobre 06). [http://lycee-cherioux.fr/Mooc/fondations/~gen/fondation\\_web.publi/web/co/Fondations\\_18.html](http://lycee-cherioux.fr/Mooc/fondations/~gen/fondation_web.publi/web/co/Fondations_18.html)
43. Les puits sur votre propriété. (2014, février 04). Ontario. <https://www.ontario.ca/fr/page/les-puits-sur-votre-propriete>
44. Les techniques et matériels de blindage de tranchées. (2014, Janvier 13). La Vie des Réseaux. <http://www.laviedesreseaux.fr/Consultez-nos-themes-reseaux/Autres/Les-techniques-et-materiels-de-blindage-de-tranchees>
45. Les terrassements, déblais, remblais, talus, préparation du terrain. (2018, Octobre 15). E-Monsite. <http://votrejardin.e-monsite.com/pages/pages-membres/fiches-techniques/les-terrassements-deblais-remblais-talus-preparation-de-terrain.html>
46. MCC – Direction des immobilisations. (2005, Juin 01). Processus d'Elaboration d'un Projet de Construction. Culture et Communication Québec. Canada.
47. Méthodes courantes d'évaluation - Annexe A.2 – Évolution des règlements des ponts en BA ou en BP, version 2.0 du 17 août 2010.
48. Nachtergal C. Agenda du bâtiment. Ed. 23. De Boeck, Belgique, 1988.
49. Normes et réglementations. (2018, Novembre 24). Bati pole. <http://www.batipole.com/normes-reglementations.html>
50. Normes techniques. (2018, novembre 26). Logis neuf. <https://www.logisneuf.com/norme-technique-immobiliere.html>
51. Notes sur les pratiques techniques : Les terrassements. (2018, Octobre 20). <https://notech.franceserv.com/terrassements.html>
52. Olivier B. (2017, Février 10). Fondations superficielles. Techniques de l'ingénieur. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/calcul-et-suivi-d-ouvrages-geotechniques-42219210/fondations-superficielles-c246/glissement-des-fondations-superficielles-c246v2niv10005.html>

53. Patrick G. Coffrages. (2018, Avril). InfoCiments. <https://www.infociments.fr/betons/coffrages>
54. Pierre-Olivier Martin, Dimensionnement d'un joint sismique d'après l'Eurocode 8, CTICM, Avril 2020.
55. Pieu moulé barrette. (2018, Octobre 06). Archi ExpO. <https://www.archiexpo.fr/prod/franki-foundations-belgium/product-61404-1122055.html>
56. Piquetage du terrain. (2018, Octobre 20). M Habitat. [https://www.m-habitat.fr/preparer-son-projet/preparation-du-terrain/piquetage-du-terrain-921\\_A](https://www.m-habitat.fr/preparer-son-projet/preparation-du-terrain/piquetage-du-terrain-921_A)
57. Positionnement des armatures dans le béton armé. (2019, Aout 26). Tout sur le béton. <https://www.toutsurlebeton.fr/mise-en-oeuvre/le-positionnement-des-armatures-dans-le-beton-arme/>
58. Préparation du chantier. (2018, Octobre 20). Programme Solidarité Eau. [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/parasismique/croix-rouge-fr-construction-et-rehabilitation/Pagesweb/Etapes\\_construction/Prepa\\_de\\_chantier/preparation\\_chantier.html#plan\\_installation](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/parasismique/croix-rouge-fr-construction-et-rehabilitation/Pagesweb/Etapes_construction/Prepa_de_chantier/preparation_chantier.html#plan_installation)
59. Réglementation. (2021, Janvier 20). Le moniteur. <https://www.lemoniteur.fr/reglementation/>
60. RPA-99 version 2003. (2003). Règles Parasismiques Algériennes, Centre National de Recherche Appliquée en Génie-Parasismique, Alger.
61. Spécialiste en blindage de tranchées et matériels topographiques. FET Blindage. (2018, Octobre 15). Doc Player. <https://docplayer.fr/81059270-Specialiste-en-blindage-de-tranchees-et-materiels-topographiques.html>
62. Tacka G J-M. (2018, Octobre 03). Cours Pratique sur la Technique d'Elaboration des Projets, Super Docs. <https://www.doc-etudiant.fr/Methodologie/Outils-d-analyse/Cours-Techniques-delaboration-de-projets-185222.html>
63. Techniques et Mise en Œuvre : Maçonnerie. (2018, Octobre 06). Socli. <https://www.socli.fr/fr/produits-services/techniques-mise-en-oeuvre/maconnerie/ouvrages-beton-arme>