DESSIN
DE GENIE CIVIL

CONFORME
AU PROGRAMME
NATIONAL

4 è Année

Option
Construction

EDITION
2025

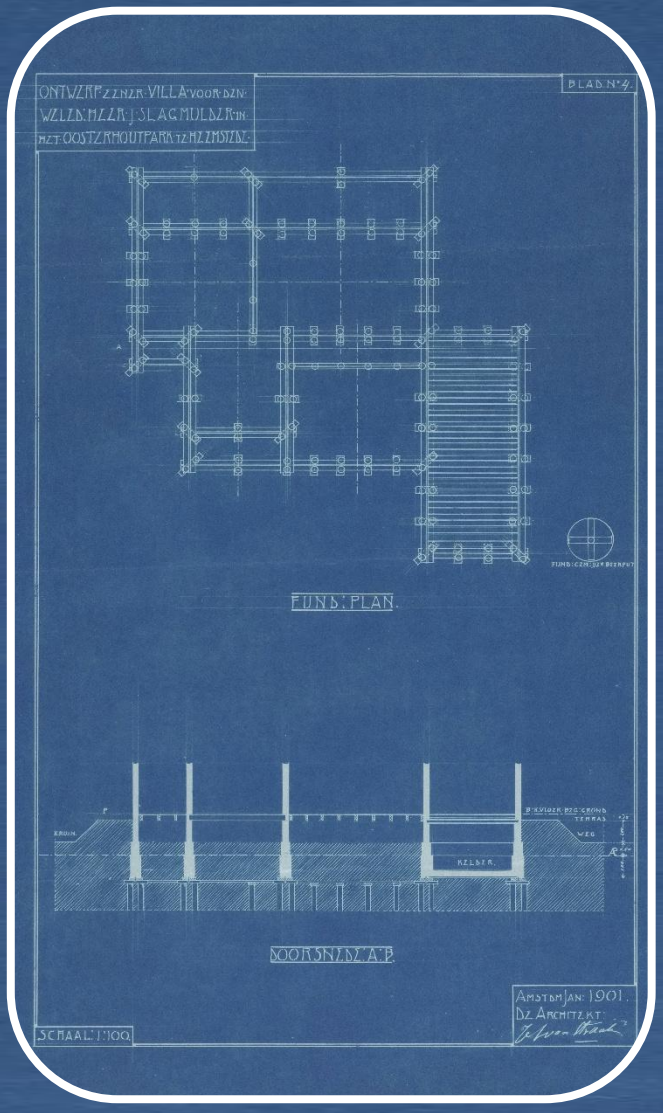




TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

1. Préface de l'Inspection Générale de l'EPST 1
   - 1.1. Une Vision Pédagogique Ancrée 1
   - 1.2. Du Savoir Théorique à la Compétence Pratique 1
   - 1.3. L'Enseignant, Architecte du Savoir-Faire 1

2. Note de l'Auteur : L'art de construire au Congo 1
   - 2.1. Articulation entre science universelle et application locale 1
   - 2.2. La primauté de la contrainte matérielle et climatique 2
   - 2.3. Intégration des facteurs socio-économiques et normatifs 2

3. Comment utiliser ce Memento pour l'Examen d'État 2
   - 3.1. Approche par compétences ciblées 2
   - 3.2. Articulation Théorie-Pratique 2
   - 3.3. Outil de Synthèse et de Consolidation 3

PARTIE I. MAÎTRISE DES MATÉRIAUX ET GÉOTECHNIQUE AVANCÉE **4**

L'invisible qui supporte tout 4

Du sol au matériau : un dialogue de contraintes 4

La carte d'identité des matériaux 4

La synthèse : l'art de l'ingénieur constructeur 4

CHAPITRE 1. BÉTON ARMÉ : CALCULS AUX ÉTATS LIMITES (ELU/ELS) **5**

1.1. Flexion composée et diagrammes d'interaction N-M 5
   - a. Introduction : le poteau qui penche sans pencher 5
   - A. Définition et sollicitations 5
   - B. Le diagramme d'interaction : la frontière de sécurité 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (6151-3648-3652) **8**

Diagramme d'interaction N-M pour une section rectangulaire en béton armé 8
   - b. Anecdotes de chantier et exercices d'application 8

1.2. Poinçonnement des dalles et semelles 10
   - a. Le risque invisible sous nos pieds 10
   - A. Définition et Mécanisme du Poinçonnement 10

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 2 : RÉF. IMG (9420-1050-9713) **12**

Schéma du cône de rupture par poinçonnement sous un poteau 12

- B. Vérification à l'État Limite Ultime (ELU) 12

1.3. Justification à l'effort tranchant et à la torsion 14

- a. Introduction : le cisaillement invisible 14
- A. Justification à l'effort tranchant (ELU) 15

FIGURE 3 : RÉF. IMG (6675-8857-4210) **17**

Fissuration due à l'effort tranchant et rôle des armatures transversales 17

- B. Prise en compte de la torsion 17

1.4. Maîtrise de la fissuration et calcul des flèches (ELS) 19

- a. L'obsession de la fissure 19
- A. Le Contrôle de la Fissuration 20
- B. Le Calcul des Flèches 20

FIGURE 4 : RÉF. IMG (8539-1906-8056) **22**

Fissuration et flèche d'une poutre en béton armé 22

- b. Scénarios et Exercices 22

CHAPITRE 2. GÉOTECHNIQUE ET FONDATIONS SPÉCIALES **24**

2.1. Interprétation des essais pressiométriques et pénétrométriques 24

- a. Le sol ne parle pas, il répond 24
- A. L'Essai Pressiométrique Ménard : Mesurer la Déformation 24
- B. L'Essai au Pénétromètre Statique (CPT) : Sonder la Résistance 24

FIGURE 5 : RÉF. IMG (7903-1026-3557) **27**

Courbes typiques des essais pressiométriques et pénétrométriques statiques 27

- Anecdote : Le sol argileux de Mbandaka et le bâtiment penché évité 27

2.2. Dimensionnement des fondations profondes (pieux et barrettes) 29

- a. L'enjeu invisible des fondations 29
- A. La Capacité Portante : Le Cœur du Calcul 30

FIGURE 6 : RÉF. IMG (5246-7501-9786) **32**

Schéma des forces agissant sur un pieu de fondation 32

- B. De la Capacité Ultime à la Capacité de Service 32

2.3. Stabilité et calcul des murs de soutènement 34

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. L'équilibre des forces silencieuses.....34
- A. Les trois modes de rupture à vérifier.....34
- B. Principe du calcul de stabilité.....35

FIGURE 7 : RÉF. IMG (3641-8342-2052).....37

Schéma des forces agissant sur un mur de soutènement poids.....37

- b. Scénarios et Exercices.....37

2.4. Techniques d'amélioration et de renforcement des sols.....39

- a. Accroche : Le piège du "bon sol".....39
- A. L'amélioration mécanique : La force brute contrôlée.....39
- B. L'amélioration par substitution ou ajout : Changer la nature du sol.....40

FIGURE 8 : RÉF. IMG (8587-4821-8194).....42

Schéma de principe du renforcement d'un sol par colonnes ballastées.....42

- C. Le renforcement par inclusion : Armer la terre.....42

PARTIE II. INGÉNIERIE DES STRUCTURES ET ORGANISATION DE CHANTIER.....46

a. Du plan à la réalité : la mission de l'ingénieur.....46

b. La physique de la stabilité : au cœur de la Résistance des Matériaux.....46

c. Le chantier : un écosystème maîtrisé.....46

d. Gérer les hommes, le temps et l'argent.....46

CHAPITRE 3. CONSTRUCTION MÉTALLIQUE ET MIXTE ACIER-BÉTON.....47

3.1. Calcul et vérification des assemblages (boulons, soudures).....47

- a. L'intégrité de la chaîne.....47
- A. La mécanique des assemblages boulonnés.....47

FIGURE 9 : RÉF. IMG (7882-7067-0461).....49

Schéma d'un assemblage boulonné simple par cisaillement et ses modes de ruine.....49

- B. La résistance des cordons de soudure.....49

FIGURE 10 : RÉF. IMG (7402-3918-4963).....52

Géométrie et section efficace d'un cordon de soudure d'angle.....52

- b. Scénarios et Exercices.....52

3.2. Stabilité des éléments : flambement, déversement et voilement.....54

- a. L'avertissement de la matière.....54

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Le Flambement : La flexion sous compression.....54

FIGURE 11 : RÉF. IMG (1666-7390-7942).....57

Représentation schématique du phénomène de flambement sur un poteau élancé.....57

- B. Le Déversement : La torsion des poutres fléchies.....57
- C. Le Voilement : La formation de plis locaux.....58

FIGURE 12 : RÉF. IMG (3391-5122-8025).....60

Illustration du déversement et du voilement sur une poutre métallique.....60

- Anecdote du chantier de Kolwezi.....60

3.3. Conception des planchers collaborants et poutres mixtes.....62

- a. L'union fait la force : une sagesse constructive.....62
- A. Le plancher collaborant : définition et principe.....62
- B. La poutre mixte : l'épine dorsale du système.....63

FIGURE 13 : RÉF. IMG (1386-1156-2623).....64

Coupe transversale d'un plancher collaborant sur une poutre mixte.....64

- Scénarios et Exercices.....64
- a. L'intuition de l'ingénieur de Lubumbashi.....64

3.4. Protection contre la corrosion et résistance au feu.....66

- a. L'acier, un colosse aux pieds d'argile.....66
- A. La lutte contre la corrosion.....66

FIGURE 14 : RÉF. IMG (4919-4771-9128).....69

Schéma des couches de protection anti-corrosion sur un profilé en acier.....69

- B. La résistance au feu.....69

CHAPITRE 4. STRUCTURES EN BOIS ET MATÉRIAUX GÉO-SOURCÉS.....72

4.1. Conception des charpentes traditionnelles et industrielles.....72

- a. Accroche : Deux logiques pour un même toit.....72
- A. La logique de la charpente traditionnelle.....72
- B. L'optimisation de la charpente industrielle.....72

4.2. Dimensionnement des éléments en bois lamellé-collé.....74

- a. Le paradoxe de la force assemblée.....74
- A. Principes fondamentaux et vérifications réglementaires.....75

FIGURE 15 : RÉF. IMG (0251-2438-7474).....76

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Structure interne d'une poutre en bois lamellé-collé et ses composants....76
- B. Formules de vérification à l'État Limite Ultime (ELU)....76

FIGURE 16 : RÉF. IMG (3969-3036-1347)....79

Schéma des sollicitations sur une poutre en flexion simple....79
- b. Scénarios et exercices d'application....79

4.3. Mise en œuvre des Briques en Terre Comprimée (BTC)....81
- a. Un retour aux sources techniques....81
- A. Préparation du Mortier et Pose....81

FIGURE 17 : RÉF. IMG (7606-7468-7637)....84

Schéma d'un mur en BTC montrant l'appareillage et les joints....84
- B. Cure et Protection du Mur....84

4.4. Durabilité et traitement du bois contre les termites et l'humidité....87
- a. L'ennemi invisible et silencieux....87
- A. Les agents de dégradation du bois....87
- B. Les stratégies de préservation....88

FIGURE 18 : RÉF. IMG (3819-1018-3733)....90

Comparaison d'une poutre traitée et non traitée après exposition....90
- C. Scénarios et Exercices....90

CHAPITRE 5. PLANIFICATION ET GESTION TECHNIQUE DE CHANTIER....93

5.1. Établissement du planning de travaux (GANTT, PERT)....93
- a. Le temps, l'ennemi invisible du bâtisseur....93
- A. Le diagramme de GANTT : le calendrier visuel du chantier....93

FIGURE 19 : RÉF. IMG (3318-5094-2466)....95

Exemple simplifié d'un diagramme de GANTT pour une petite construction....95
- B. La méthode PERT : la logique des dépendances....95

FIGURE 20 : RÉF. IMG (7403-6360-3619)....97

Schéma de principe d'un réseau PERT avec son chemin critique....97
- b. Le casse-tête du dispensaire de Lodja....97

5.2. Installation de chantier et gestion des flux logistiques....99
- a. L'organisation, une science millénaire....99

- A. Le Plan d'Installation de Chantier (PIC)..... 99

FIGURE 21 : RÉF. IMG (3612-9560-2041)..... 102

Plan type d'une installation de chantier pour un bâtiment R+3..... 102

- B. La dynamique des flux logistiques..... 102

5.3. Le Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS)..... 105

- a. La sécurité, un coût ou un investissement ?..... 105
- A. Définition et Rôle du PPSPS..... 105
- B. Contenu et Structure Essentiels..... 105

FIGURE 22 : RÉF. IMG (3425-1358-1680)..... 108

Analyse des risques sur un chantier pour le PPSPS..... 108

- C. L'Application dans le Contexte Congolais..... 108

5.4. Suivi quantitatif, qualitatif et budgétaire des travaux..... 110

- a. L'œil de l'ingénieur..... 110
- A. Le Suivi Quantitatif : Mesurer l'Avancement Réel..... 110

FIGURE 23 : RÉF. IMG (0985-6646-9677)..... 113

Outils de suivi quantitatif sur un chantier de construction à Lubumbashi..... 113

- B. Le Suivi Qualitatif : Garantir la Conformité et la Durabilité..... 113

FIGURE 24 : RÉF. IMG (7425-9125-0982)..... 116

Contrôle qualité d'un échantillon de béton sur un site à Matadi..... 116

- C. Le Suivi Budgétaire : Maîtriser les Dépenses..... 116

PARTIE III. INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT ET HYDRAULIQUE APPLIQUÉE..... 119

L'artère vitale de la nation..... 119

Le dialogue avec le terrain..... 119

La maîtrise des eaux : une double facette..... 119

De la conception à la durabilité..... 119

CHAPITRE 6. CONCEPTION ET CALCUL DES OUVRAGES D'ART..... 120

6.1. Typologie et fonctionnement des ponts (poutres, dalle, arc)..... 120

- a. Le défi du franchissement..... 120
- A. Le Pont à Poutres : La Simplicité Efficace..... 120

FIGURE 25 : RÉF. IMG (8040-2783-1282)....122

Schéma de principe d'un pont à poutres et ses forces internes....122

- B. Le Pont-Dalle : La Surface Portante....122
- C. Le Pont en Arc : La Poussée Maîtrisée....122

FIGURE 26 : RÉF. IMG (7859-4411-1387)....125

Fonctionnement mécanique d'un pont en arc et transfert des charges....125

- b. Du plan à la réalité : le choix de l'ingénieur....125

6.2. Descente de charges et calcul des tabliers de ponts....127

- a. Le voyage invisible des forces....127
- A. Le principe de la descente de charges....127

FIGURE 27 : RÉF. IMG (5739-8492-1470)....129

Schéma de principe de la descente de charges sur un pont à poutres....129

- B. Le dimensionnement du tablier....129

FIGURE 28 : RÉF. IMG (2139-4452-2194)....132

Coupe transversale d'un tablier de pont en béton armé....132

- b. Scénarios et exercices....132

6.3. Dimensionnement des appuis : piles et culées....134

- a. Le rôle critique des fondations....134
- A. La Culée : Le Gardien de la Rive....134
- B. La Pile : Le Pilier Intermédiaire....135

FIGURE 29 : RÉF. IMG (4639-6920-4936)....137

Schéma des forces s'exerçant sur une culée de pont routier....137

- b. Scénarios et Exercices....137

6.4. Technologie des appareils d'appui et joints de chaussée....139

- a. Le pont qui respire....139
- A. Les appareils d'appui : les genoux de la structure....140

FIGURE 30 : RÉF. IMG (5325-1796-8363)....141

Schéma en coupe d'un appareil d'appui en élastomère fretté....141

- B. Les joints de chaussée : le souffle du tablier....141

CHAPITRE 7. VOIRIE ET RÉSEAUX DIVERS (VRD)....145

7.1. Conception géométrique des routes (tracé en plan, profil en long).....145
- a. L'art de sculpter le mouvement.....145
- A. Le Tracé en Plan : La Vision du Ciel.....145
- B. Le Profil en Long : La Gestion du Relief.....146

FIGURE 31 : RÉF. IMG (0269-2063-0364).....148

Composition d'un profil en long avec ses raccordements paraboliques.....148
- b. Anecdotes de chantier et exercices d'application.....148

7.2. Dimensionnement des structures de chaussées (souples et rigides).....150
- a. Introduction.....150
- A. La chaussée souple : une structure multicouche.....150

FIGURE 32 : RÉF. IMG (3028-2665-4520).....152

Coupe transversale d'une chaussée souple et répartition des contraintes.....152
- B. La chaussée rigide : la dalle de béton.....152

7.3. Conception des réseaux d'assainissement (eaux pluviales, eaux usées).....155
- a. Le défi de l'eau en ville.....155
- A. Le réseau d'eaux pluviales (EP) : Le dompteur de déluges.....155

FIGURE 33 : RÉF. IMG (1884-5127-1243).....157

Coupe schématique d'un système de collecte des eaux pluviales.....157
- B. Le réseau d'eaux usées (EU) : La voie de l'hygiène.....157

FIGURE 34 : RÉF. IMG (5848-2381-5054).....160

Distinction entre un réseau unitaire et un réseau séparatif.....160
- C. Scénarios et Exercices.....160

7.4. Conception des réseaux d'Adduction d'Eau Potable (AEP).....162
- a. L'eau, une question de pression et de débit.....162
- A. Les composants fondamentaux d'un réseau AEP.....163
- B. Les paramètres de dimensionnement hydraulique.....163

CHAPITRE 8. HYDRAULIQUE ET AMÉNAGEMENTS FLUVIAUX.....167

8.1. Dimensionnement des ouvrages de franchissement (dalots, buses).....167
- a. Accroche introductive.....167
- A. L'évaluation du débit de projet ().....167
- B. Le choix et le calcul hydraulique de l'ouvrage.....168

FIGURE 35 : RÉF. IMG (2397-3068-9234)....170

Schéma d'un dalot sous une route avec son bassin versant....170

- b. Scénarios et Exercices....170

8.2. Principes de conception des petits barrages en terre....172

- a. La fausse simplicité d'un ouvrage en terre....172
- A. Le choix du site et des matériaux....173
- B. Les composants structurels clés....173

FIGURE 36 : RÉF. IMG (4098-3405-6739)....175

Coupe transversale schématique d'un barrage en terre et ses composants essent....175

- C. Le dimensionnement de l'évacuateur de crues....175

8.3. Techniques de protection des berges contre l'érosion....177

- a. L'érosion, un adversaire silencieux....177
- A. Les Techniques Végétales (Génie Biologique)....178
- B. Les Techniques Lourdes (Génie Civil)....178

FIGURE 37 : RÉF. IMG (4201-0798-0028)....180

Comparaison schématique des techniques de protection de berge....180

- Scénarios et Exercices....180
- b. Le défi du fleuve Congo à Mbandaka....180

8.4. Drainage des infrastructures et rabattement de nappe....182

- a. La terre n'est pas une éponge parfaite....182
- A. Le drainage : évacuer l'eau de surface et d'infiltration....182
- B. Le rabattement de nappe : assécher le sous-sol temporairement....183

FIGURE 38 : RÉF. IMG (2560-0291-1164)....184

Schéma de principe du drainage et du rabattement de nappe phréatique....184

- b. Scénarios et Exercices....184

PARTIE IV. PATHOLOGIE, RÉHABILITATION ET CADRE LÉGAL....187

L'art du diagnostic....187

La science de la réparation....187

Le gendarme réglementaire....187

La synthèse de l'ingénieur....187

CHAPITRE 9. PATHOLOGIE ET RÉHABILITATION DES STRUCTURES....188

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

9.1. Diagnostic des désordres (fissures, tassements, corrosion).....188
- a. Le bâtiment vivant.....188
- A. Les Fissures : Les "cicatrices" du béton.....188
- B. Les Tassements : Le dialogue avec le sol.....188

FIGURE 39 : RÉF. IMG (1834-9140-5323).....190

Lecture et interprétation des différents types de fissures sur un mur.....190
- C. La Corrosion des armatures : Le cancer du béton armé.....190

9.2. Techniques de renforcement des éléments en béton armé.....192
- a. Un principe ancestral.....192
- A. Le renforcement par ajout de matière (chemisage).....192
- B. Le renforcement par matériaux composites (plats et tissus).....193

9.3. Pathologies courantes des fondations et reprises en sous-œuvre.....195
- a. L'avertissement des anciens.....195
- A. Identifier les symptômes et poser le diagnostic.....195

FIGURE 40 : RÉF. IMG (1692-4671-8094).....198

Diagramme des fissures structurelles sur une façade de maison.....198
- B. Les solutions curatives : la reprise en sous-œuvre.....198

FIGURE 41 : RÉF. IMG (3325-9365-9555).....201

Schéma de principe d'une reprise en sous-œuvre par micropieux.....201
- a. L'anecdote de Papa Kabasele à Mbuji-Mayi.....201

9.4. Analyse des causes d'effondrement des bâtiments.....203
- a. Introduction : L'enquête après la catastrophe.....203
- A. Les erreurs de conception (phase d'étude).....203
- B. Les malfaçons d'exécution (phase de chantier).....204
- C. Les causes externes et le vieillissement de l'ouvrage.....204

CHAPITRE 10. DROIT DE LA CONSTRUCTION ET MARCHÉS DE TRAVAUX.....207

10.1. Rôles et responsabilités des acteurs du projet de construction.....207
- a. L'orchestre de la construction.....207
- A. Le Maître d'Ouvrage (MOA) : Le Visionnaire.....207
- B. Le Maître d'Œuvre (MOE) : Le Cerveau Technique.....207

FIGURE 42 : RÉF. IMG (0310-3868-7905).....209

Schéma fonctionnel de la relation entre Maître d'Ouvrage et Maître d'Œuvre.....209
- C. L'Entreprise de Construction : Le Bras Armé.....209

FIGURE 43 : RÉF. IMG (8525-0390-3450).....211

Les responsabilités de l'Entreprise sur un chantier de construction.....211
- b. Anecdote : La Clinique de l'Espoir à Kananga.....211

10.2. Rédaction des pièces écrites (CCTP, DQE, BPU).....213
- a. La parole s'envole, les écrits restent.....213
- A. Le CCTP : Le "Mode d'Emploi" Technique du Chantier.....213
- B. Le BPU et le DQE : Le "Portefeuille" Chiffré du Projet.....214

FIGURE 44 : RÉF. IMG (8359-5269-3152).....216

L'articulation logique des pièces écrites du marché de travaux.....216
- b. L'anecdote de l'ingénieur de Kananga.....216

10.3. Procédures de passation des marchés publics en RDC.....218
- a. Le cadre légal comme fondation d'un projet.....218
- A. L'Appel d'Offres Ouvert (AOO) : La Voie Royale.....218

FIGURE 45 : RÉF. IMG (6225-8399-7085).....220

Schéma du processus d'un Appel d'Offres Ouvert en RDC.....220
- B. Les Procédures Dérogatoires : Les Exceptions qui Confirment la Règle.....220

10.4. Opérations de réception des travaux et gestion des garanties.....223
- a. La fin d'un chantier, un nouveau commencement.....223
- A. La réception des travaux : Un acte juridique fondamental.....223
- B. Les garanties légales : La vie de l'ouvrage après la livraison.....225

FIGURE 46 : RÉF. IMG (3541-2067-2399).....227

Chronologie des garanties légales après la réception d'un ouvrage.....227
- Anecdote pratique : Le toit qui fuit à Bukavu.....227

Annexe A. Lexique Technique du BTP (Français - Lingala - Swahili).....229
- A. Matériaux de Construction Fondamentaux.....229
- B. Éléments du Gros Œuvre.....230
- C. Actions et Verbes Techniques du Chantier.....231
- D. Acteurs et Outils Spécifiques.....231

Annexe B. Tables de dimensionnement (armatures, profilés métalliques).....232
- A. Armatures pour béton armé (aciers HA).....232

- B. Profilés métalliques laminés à chaud.....234

Annexe C. Abréviations et Sigles usuels de la Construction.....236

- A. Documents et Acteurs du Projet.....236
- B. Matériaux et Techniques d'Exécution.....237
- C. Normes et Unités de Mesure.....239

Annexe D. Bibliographie et Normes de Référence.....239

- A. Normes Techniques de Référence.....239
- B. Bibliographie Scientifique et Technique.....241

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

PRÉLIMINAIRES

1. Préface de l'Inspection Générale de l'EPST

1.1. Une Vision Pédagogique Ancrée

Ce memento de construction matérialise une orientation pédagogique claire, alignée sur les exigences du programme national de l'EPST. Il outille l'enseignant pour former une nouvelle génération de constructeurs congolais. Ces derniers doivent répondre avec compétence aux défis infrastructurels du pays, des projets hydroélectriques du Kongo Central aux vastes chantiers routiers du Grand Kasaï. La rigueur scientifique est ici mise au service d'une finalité nationale.

1.2. Du Savoir Théorique à la Compétence Pratique

La maîtrise des concepts fondamentaux précède toute application réussie sur le terrain. Ce manuel structure la progression didactique. Il assure la transition fluide entre les principes scientifiques (résistance des matériaux, mécanique des sols) et leur mise en œuvre concrète sur un chantier. Chaque notion est un jalon essentiel vers l'autonomie technique et l'acuité professionnelle de l'élève-ingénieur.

1.3. L'Enseignant, Architecte du Savoir-Faire

L'enseignant est le principal acteur de cette démarche éducative. Il dispose ici d'un support de cours rigoureux et standardisé. Sa mission est de contextualiser ces savoirs, d'illustrer les formules par des exemples tirés des réalités locales, de la construction sur sol argileux à l'Équateur à la gestion des matériaux de carrière à Lubumbashi. Il transforme la connaissance en compétence tangible.

---

2. Note de l'Auteur : L'art de construire au Congo

2.1. Articulation entre science universelle et application locale

La pratique de l'ingénieur s'articule autour d'une dualité. D'une part, les lois de la physique et de la résistance des matériaux sont universelles. D'autre part, leur application est conditionnée par les réalités locales. L'acte pédagogique en construction consiste à transposer les principes théoriques globaux à des

problématiques spécifiques au contexte congolais. La géotechnique du Kasaï n'est pas celle du Kwilu ; la logistique à Mbandaka impose des choix structurels différents de ceux de Lubumbashi.

2.2. La primauté de la contrainte matérielle et climatique

Les contraintes matérielles et climatiques dictent la conception. La nature des sols latéritiques, l'hygrométrie de la Cuvette Centrale ou l'agressivité saline près de Moanda sont des données d'entrée cardinales. Elles gouvernent le calcul de structure et le choix des matériaux. Chaque notion théorique présentée est à confronter à cette matérialité. L'objectif est de former des praticiens qui optimisent des solutions avec les ressources effectivement disponibles sur le terrain, de l'Équateur au Kongo Central.

2.3. Intégration des facteurs socio-économiques et normatifs

L'acte de construire incorpore finalement une dimension socio-économique et normative. Le dimensionnement d'un projet à Kisangani tient compte de la qualification de la main-d'œuvre locale et des cadres réglementaires en vigueur. Un pragmatisme économique est essentiel. L'ingénieur doit justifier ses choix techniques par la sécurité, la durabilité, la viabilité financière et la conformité normative. Cette approche forge un professionnel complet, conscient des implications techniques et sociétales de ses décisions.

---

3. Comment utiliser ce Memento pour l'Examen d'État

3.1. Approche par compétences ciblées

Une lecture linéaire de cet ouvrage est contre-productive. Son architecture thématique est alignée sur les domaines de compétences évalués par l'Examen d'État. Chaque chapitre synthétise un bloc de savoir-faire technique. L'enseignant identifie les notions fondamentales et les utilise comme base pour des séances de révision ciblées. La finalité est de transformer la connaissance passive en compétence active et mobilisable.

3.2. Articulation Théorie-Pratique

Chaque rappel théorique est systématiquement suivi d'applications pratiques. Cette dualité structurelle favorise la transition du concept abstrait au problème concret, miroir de la logique de l'épreuve. L'enseignant dispose ainsi d'un support pour entraîner les élèves à décomposer un énoncé type examen en

étapes techniques identifiables. Le memento sert de pont entre la connaissance pure et la méthodologie de résolution.

3.3. Outil de Synthèse et de Consolidation

Finalement, ce memento opère comme un instrument de consolidation des acquis. Il ne se substitue pas aux manuels de cours fondamentaux dispensés durant l'année. Sa fonction est de réactiver les connaissances et de les structurer en vue d'une épreuve à temps limité. La consultation régulière des fiches techniques et des formules essentielles ancre les réflexes opératoires indispensables le jour de l'examen.

Partie I. Maîtrise des Matériaux et Géotechnique Avancée

L'invisible qui supporte tout

Sous chaque bâtiment repose une vérité géologique. Le sol n'est pas une surface inerte ; il est un matériau vivant, complexe, avec ses propres lois mécaniques. Les sols argileux du Kwilu gonflent avec la pluie et se rétractent à la sécheresse. Les sables du littoral près de Moanda se tassent différemment sous une charge. Ignorer cette réalité, c'est programmer la fissure, le tassement, voire l'effondrement.

Du sol au matériau : un dialogue de contraintes

Cette interaction entre le terrain et la structure dicte la conception. Un sol de faible portance, comme on en trouve dans certaines zones marécageuses de l'Équateur, exige des fondations profondes ou larges. Ces fondations imposent ensuite des contraintes spécifiques aux poteaux et aux poutres qui les surmontent. Le choix d'un béton ou d'un acier découle directement de ce dialogue technique. La géotechnique commande, la structure répond.

La carte d'identité des matériaux

Au-delà de leur apparence, les matériaux possèdent des propriétés intrinsèques. La résistance à la compression du béton, la limite d'élasticité de l'acier, la durabilité du bois face aux termites de la Tshopo, tout cela se quantifie. Connaître un matériau, c'est maîtriser sa fiche technique complète. C'est anticiper son comportement sous l'effet de la chaleur, de l'humidité et des charges calculées pour un pont à Matadi.

La synthèse : l'art de l'ingénieur constructeur

L'ingénieur est cet assembleur de savoirs. Son rôle est de faire correspondre parfaitement les caractéristiques du sol avec les performances des matériaux choisis. Construire une route durable dans les Kasaï sur des sols difficiles ou un immeuble à Goma en zone sismique demande cette double expertise. La sécurité des usagers et la pérennité de l'ouvrage sont le fruit de cette compétence fondamentale.

Chapitre 1. Béton Armé : Calculs aux États Limites (ELU/ELS)

1.1. Flexion composée et diagrammes d'interaction N-M

a. Introduction : le poteau qui penche sans pencher

Un des faits les plus contre-intuitifs en génie civil est la sollicitation cachée des poteaux. Un poteau ne subit que rarement une compression pure et parfaitement centrée. Le vent soufflant sur un immeuble à Matadi, ou une poutre volontairement excentrée à Mbuji-Mayi, induit systématiquement un moment fléchissant. L'effort normal N se combine alors à ce moment de flexion M.

Cette combinaison, la flexion composée, est la situation de charge la plus fréquente pour les éléments verticaux comme les poteaux et les murs de soutènement. Le calcul de leur résistance ne peut donc se réduire à une simple compression. Il doit évaluer la sécurité de la section face au couple d'efforts (N, M) agissant simultanément.

A. Définition et sollicitations

La flexion composée représente la superposition d'un effort normal N (compression ou traction) et d'un moment fléchissant M. Concrètement, la résultante des forces appliquées sur une section n'est pas sur son centre de gravité. Cette distance est l'excentricité e. Elle est le rapport direct entre le moment et l'effort : $e = M / N$.

Un poteau d'angle d'un bâtiment à Kisangani est un exemple parfait. Il supporte les charges verticales des planchers (effort N) et les moments transmis par les poutres de rive (moment M). Le dimensionnement à l'État Limite Ultime (ELU) garantit la non-rupture de la section sous la combinaison la plus défavorable de ces efforts.

B. Le diagramme d'interaction : la frontière de sécurité

Le diagramme d'interaction $N - M$ est la carte d'identité de la résistance d'une section en béton armé. Il définit une zone de sécurité dans un plan où l'axe vertical représente l'effort normal résistant (N_{Rd}) et l'axe horizontal le moment résistant (M_{Rd}). Tout couple de sollicitations (N_{Sd}, M_{Sd}) qui se trouve à l'intérieur de cette courbe est admissible.

Un point situé à l'extérieur signifie la ruine de la section. La construction mathématique de ce diagramme passe par l'étude de l'équilibre des forces

internes (béton et acier) pour différentes positions de l'axe neutre dans la section. Chaque position définit un point unique (M_{Rd}, N_{Rd}) sur la courbe frontière.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 1 : Réf. IMG (6151-3648-3652)

Diagramme d'interaction N-M pour une section rectangulaire en béton armé

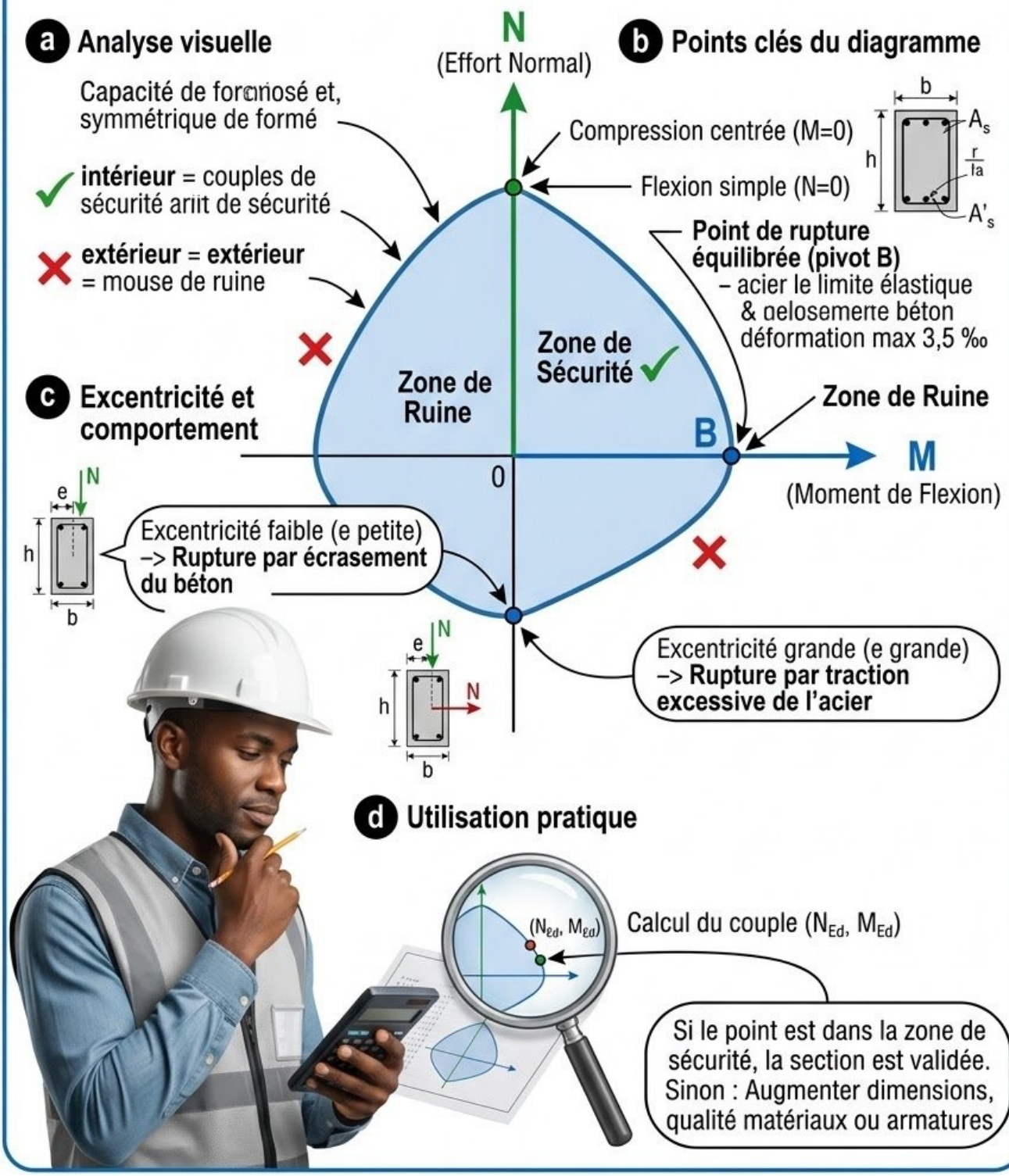


Figure 1 : Réf. IMG (6151-3648-3652)

Diagramme d'interaction N-M pour une section rectangulaire en béton armé

a. Analyse visuelle

Le diagramme présente une courbe fermée, symétrique par rapport à l'axe des efforts normaux N. La zone intérieure matérialise l'ensemble des couples (M, N) que la section peut supporter sans rompre. L'extérieur de la courbe est la zone de ruine. C'est un outil de vérification graphique immédiat.

b. Points clés du diagramme

Le point le plus haut de la courbe correspond à la compression centrée ($M = 0$). Les points sur l'axe horizontal représentent la flexion simple ($N = 0$). Le point de rupture équilibrée (pivot B) est celui où l'acier atteint sa limite élastique en même temps que le béton atteint sa déformation maximale de 3,5 ‰.

c. Excentricité et comportement

Une excentricité faible (e petite) place le point de sollicitation dans la partie supérieure du diagramme, menant à une rupture par écrasement du béton. Une grande excentricité le place dans la partie inférieure, provoquant une rupture par traction excessive de l'acier. Le diagramme traduit donc visuellement l'influence de cette excentricité.

d. Utilisation pratique

L'ingénieur calcule le couple de sollicitations de calcul (N_{Ed}, M_{Ed}) et le place sur le graphique. Si le point est dans la zone de sécurité, la section est validée. Sinon, il doit augmenter les dimensions du poteau, la qualité des matériaux ou la quantité d'armatures.

■ ■ ■

b. Anecdotes de chantier et exercices d'application

L'ingénieur Mwamba, fraîchement diplômé, travaillait sur les plans d'un petit immeuble R+3 à Lubumbashi. Il avait dimensionné les poteaux centraux en compression simple, une erreur classique. Son chef de chantier, un aîné expérimenté du Kasaï, lui a simplement demandé : "Et le poids de tes balcons en porte-à-faux, tu le fais tenir avec la prière ?". Mwamba a tout de suite compris. Chaque balcon créait un moment de flexion considérable au droit des

poteaux de façade. Ces poteaux n'étaient pas en compression simple, mais en flexion composée. Il a dû refaire ses calculs en urgence, en utilisant les diagrammes d'interaction $N-M$ pour vérifier que les sections résistaient à la fois à l'effort normal N et au moment M généré par les balcons.

Exercice 1 : Vérification d'un poteau de coin

Énoncé : Un poteau d'angle d'un bâtiment à Goma est soumis à un effort normal ultime $N_{Ed}=850\,\text{kN}$ et un moment fléchissant ultime $M_{Ed}=90\,\text{kNm}$. Le diagramme d'interaction de la section indique que pour un effort normal de $850\,\text{kN}$, le moment résistant maximal est $M_{Rd}=115\,\text{kNm}$. La section est-elle conforme ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier les sollicitations de calcul** Les efforts appliqués sont : $N_{Ed}=850\,\text{kN}$ et $M_{Ed}=90\,\text{kNm}$.
2. **Étape 2 : Identifier la résistance de la section** Le diagramme nous donne la capacité de la section. Pour un effort normal de $850\,\text{kN}$, le moment maximal que le poteau peut supporter est $M_{Rd}=115\,\text{kNm}$.
3. **Étape 3 : Comparer la sollicitation à la résistance** Il faut vérifier si le point (N_{Ed}, M_{Ed}) est dans la zone de sécurité. On compare le moment agissant au moment résistant : $M_{Ed}=90\,\text{kNm} < M_{Rd}=115\,\text{kNm}$.
4. **Étape 4 : Conclure** Puisque le moment appliqué est inférieur au moment résistant pour le même niveau d'effort normal, le point de sollicitation se trouve à l'intérieur du diagramme d'interaction. La section est donc validée.

Exercice 2 : Calcul de l'excentricité d'une charge

Énoncé : Un des piliers en béton armé du futur pont sur la rivière Kwilu doit supporter une charge verticale permanente des tabliers de $N_{Ed}=5000\,\text{kN}$. Sous l'effet du vent, une force horizontale de $F_W=200\,\text{kN}$ s'applique au niveau du tablier, à 8 mètres au-dessus de la base du pilier. Calculez le moment fléchissant à la base et l'excentricité de la charge.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Calcul du moment fléchissant à la base (M_{Ed})** Le moment est le produit de la force par le bras de levier.

$$M_{Ed}=F_W\times h=200\,\text{kN}\times 8\,\text{m}=1600\,\text{kNm}$$

2. **Étape 2 : Calcul de l'excentricité (e)** L'excentricité est le rapport du moment sur l'effort normal.

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{1600\,\text{kNm}}{5000\,\text{kN}} = 0,32\,\text{m}$$

3. **Étape 3 : Interprétation** La charge résultante s'applique avec une excentricité de 32 cm par rapport à l'axe du pilier. Cette valeur, non négligeable, confirme que le pilier doit être impérativement calculé en flexion composée.

1.2. Poinçonnement des dalles et semelles

a. Le risque invisible sous nos pieds

Pendant la construction du Grand Marché de Kinshasa, des milliers de poteaux ont été érigés pour supporter les dalles. Chaque poteau, sous l'effet des charges, exerce une pression concentrée sur une petite surface de la dalle. Ce phénomène est le point de départ d'un risque majeur en génie civil.

Cette concentration de force peut littéralement "percer" le béton, à la manière d'un clou traversant une feuille de carton. La rupture n'est ni progressive ni visible à l'œil nu avant le drame. Elle est brutale, localisée, et peut entraîner un effondrement en chaîne de la structure.

A. Définition et Mécanisme du Poinçonnement

Le poinçonnement est une rupture par cisaillement localisé du béton autour d'un poteau ou d'une charge concentrée. La fissure se développe à environ 45 degrés à partir de la face du poteau, formant un cône ou un tronc de pyramide de rupture. L'intégrité de la dalle dépend de sa capacité à résister à cet effort tranchant sur un contour bien défini.

Ce contour est appelé le périmètre critique. Pour les calculs à l'État Limite Ultime (ELU), le premier périmètre critique, noté u_1, est situé à une distance de $2d$ des faces du poteau, où d représente la hauteur utile de la dalle. C'est sur cette surface virtuelle que la vérification de la résistance du béton au cisaillement s'effectue.

Figure 2 : Réf. IMG (9420-1050-9713)

Schéma du cône de rupture par poinçonnement sous un poteau

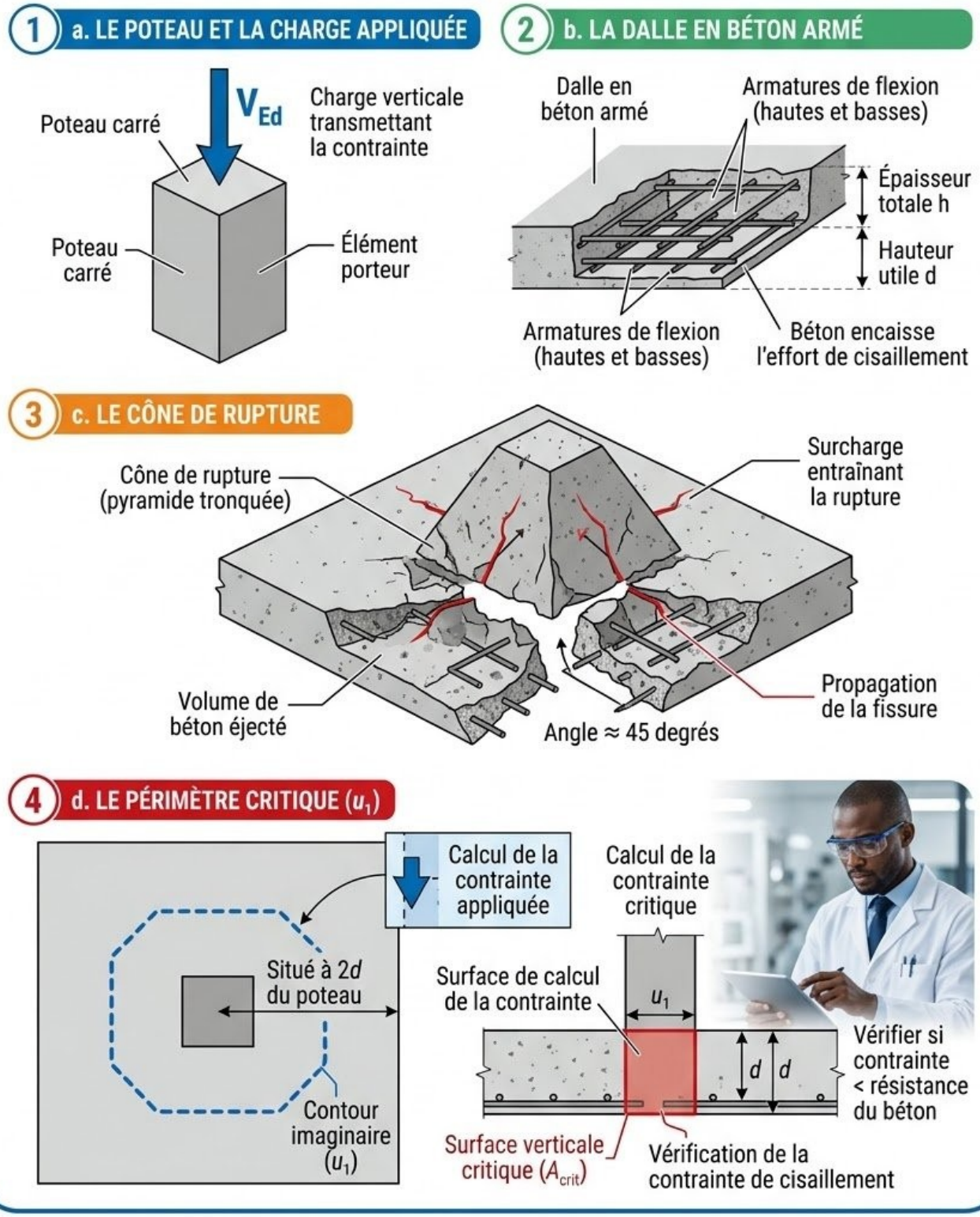


Figure 2 : Réf. IMG (9420-1050-9713)

Schéma du cône de rupture par poinçonnement sous un poteau

a. Le poteau et la charge appliquée

L'élément porteur, ici un poteau carré, transmet une charge verticale V_{Ed} à la dalle. Cette force est le point de départ de la contrainte de poinçonnement. Elle est la cause directe de la potentielle rupture.

b. La dalle en béton armé

La dalle, d'une épaisseur totale h et d'une hauteur utile d, reçoit cette charge. Sa capacité à diffuser cette force sur une plus grande surface est essentielle. Le béton seul encaisse la majeure partie de cet effort de cisaillement.

c. Le cône de rupture

En cas de surcharge, la rupture se matérialise par un cône (ou une pyramide tronquée) qui se sépare du reste de la dalle. La fissure typique se propage avec un angle avoisinant les 45 degrés, délimitant le volume de béton éjecté.

d. Le périmètre critique (u_1)

Ce contour imaginaire, situé à $2d$ du poteau, est la zone de calcul. C'est sur la surface verticale de ce périmètre que l'on vérifie si la contrainte de cisaillement appliquée reste inférieure à la résistance du béton.

B. Vérification à l'État Limite Ultime (ELU)

La sécurité vis-à-vis du poinçonnement est assurée si la contrainte de cisaillement agissante τ_{Ed} est inférieure ou égale à la contrainte de cisaillement résistante du béton $\tau_{Rd,c}$.

La contrainte agissante est calculée par la formule :

$$\tau_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d}$$

Dans cette expression : - V_{Ed} est l'effort tranchant de calcul. - u_1 est la longueur du périmètre critique. - d est la hauteur utile moyenne de la dalle. - β est un

coefficient qui majore l'effort pour tenir compte de l'excentricité des charges (par exemple, pour un poteau de rive ou de coin).

Si la contrainte agissante τ_{Ed} dépasse la capacité du béton seul, il devient impératif de prévoir des armatures de poinçonnement. Ces aciers (étriers, lits d'armatures soudées) "recousent" les fissures potentielles et augmentent la capacité portante de la jonction poteau-dalle.

Anecdote : Le chantier prudent de la Cité du Fleuve

Sur le chantier d'une des tours de la Cité du Fleuve à Kinshasa, l'ingénieur en chef, un ancien de l'IBTP de Bukavu, inspectait les plans des dalles-champignons. Ces dalles sans poutres, très esthétiques, sont particulièrement sensibles au poinçonnement. Il remarqua que l'espacement prévu entre certains poteaux était légèrement inférieur aux standards, ce qui concentrait davantage les charges.

Au lieu de valider hâtivement, il a demandé à son équipe une revérification complète des calculs de poinçonnement. Le résultat confirma ses craintes : la contrainte τ_{Ed} flirtait dangereusement avec la limite admissible $\tau_{Rd,c}$. Sa décision fut simple et efficace : augmenter localement le ferraillage de la dalle autour des poteaux concernés en ajoutant des armatures de poinçonnement spécifiques. Un simple calcul a prévenu un risque structurel majeur.

Exercice 1 : La semelle de fondation à Mbuji-Mayi

Énoncé : Une entreprise du Kasaï-Oriental doit fonder un poteau de 30x30 cm qui transmet une charge de $V_{Ed} = 800\,\text{kN}$. La semelle isolée a une hauteur utile $d = 0.45\,\text{m}$. Vérifiez si la semelle résiste au poinçonnement sans armatures spécifiques. On prendra une contrainte résistante du béton $\tau_{Rd,c} = 1.4\,\text{MPa}$.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Calcul du périmètre critique** u_1 Le périmètre est situé à $2d$ du poteau carré.
   $u_1 = 2 \times (0.30 + 0.30) + 2 \times \pi \times (2 \times 0.45) = 1.2 + 5.65 = 6.85\,\text{m}$.

2. **Étape 2 : Calcul de la contrainte agissante** τ_{Ed} On utilise la formule de base avec $\beta = 1$ (charge centrée).

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = \frac{800 \times 10^3}{(6850) \cdot (450)} = 0.26\,\text{MPa}$$

3. **Étape 3 : Comparaison et Conclusion** On compare la contrainte agissante à la contrainte résistante. $\tau_{Ed} = 0.26\,\text{MPa}$ est bien inférieur à $\tau_{Rd,c} = 1.4\,\text{MPa}$. La semelle est donc largement en sécurité vis-à-vis du poinçonnement. Aucune armature de poinçonnement n'est nécessaire.

Exercice 2 : La dalle-champignon à Mbandaka

Énoncé : Un poteau d'angle de 40x40 cm dans un bâtiment à Mbandaka, province de l'Équateur, supporte une dalle-champignon. La charge transmise est $V_{Ed} = 450\,\text{kN}$ et la hauteur utile de la dalle est $d = 0.22\,\text{m}$. Pour un poteau d'angle, le coefficient de majoration est $\beta = 1.4$. La contrainte résistante du béton est $\tau_{Rd,c} = 1.2\,\text{MPa}$. La dalle est-elle correcte ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Calcul du périmètre critique** u_1 Pour un poteau d'angle, le périmètre est différent.
   $u_1 = (0.40 + 2 \times 0.22) + (0.40 + 2 \times 0.22) = 0.84 + 0.84 = 1.68\,\text{m}$.

2. **Étape 2 : Calcul de la contrainte agissante** τ_{Ed} On applique la formule avec le coefficient $\beta = 1.4$.

$$\tau_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d} = \frac{1.4 \times 450 \times 10^3}{(1680) \cdot (220)} = 1.70\,\text{MPa}$$

3. **Étape 3 : Comparaison et Conclusion** On compare les deux contraintes. $\tau_{Ed} = 1.70\,\text{MPa}$ est supérieur à $\tau_{Rd,c} = 1.2\,\text{MPa}$. La dalle n'est pas sécuritaire. Le béton seul ne peut résister. Il est obligatoire de mettre en place des armatures de poinçonnement pour reprendre l'excédent d'effort.

1.3. Justification à l'effort tranchant et à la torsion

a. Introduction : le cisaillement invisible

Même si une poutre en béton armé semble massive et monolithique, elle subit des forces invisibles qui tentent de la cisailler, de la couper en deux comme une machette sur une canne à sucre. Cet effort, appelé effort tranchant, est une

menace silencieuse mais redoutable pour la stabilité d'une structure. La rupture par effort tranchant est fragile et brutale.

Ajoutons à cela la torsion, cette force qui essaie de "tordre" la poutre comme on essore un linge mouillé à Bukavu. La justification consiste à s'assurer que l'acier et le béton travaillent ensemble pour résister à ces deux agressions simultanées, garantissant ainsi que l'édifice reste debout, du Kongo Central à la Province Orientale.

A. Justification à l'effort tranchant (ELU)

L'effort tranchant ultime V_u sollicite une poutre en béton et génère une contrainte de cisaillement. La première vérification consiste à s'assurer que le béton seul ne s'écrase pas sous cette contrainte. La contrainte tangente conventionnelle τ_u est calculée.

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 d}$$

Avec : - V_u : l'effort tranchant à l'état limite ultime (ELU). - b_0 : la largeur de la poutre. - d : la hauteur utile de la section de poutre.

Cette valeur doit rester inférieure à une contrainte limite $\acute{\tau}_u$ pour éviter la rupture par écrasement des bielles de béton. Cette contrainte limite dépend de la résistance du béton (f_{c28}) et du coefficient de sécurité ($\gamma_b = 1.5$).

$$\tau_u \leq \acute{\tau}_u \text{ avec } \acute{\tau}_u = min\left(0.20\frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 5\,\text{MPa}\right)$$

Si cette condition n'est pas respectée, la poutre doit être redimensionnée. Si elle est respectée, des armatures transversales (étriers ou cadres) sont obligatoires pour "coudre" les fissures de cisaillement.

Figure 3 : Réf. IMG (6675-8857-4210)

Fissuration due à l'effort tranchant et rôle des armatures transversales

