Procedés géneraux de construction

EDITION 2025

3ème Année

Option Construction



CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL



a

TABLE DE MATIERE

Préliminaires ..... - 1 -

1. Objectifs du cours 📐 ..... - 1 -

- 2.1. Développer une méthodologie d'analyse ..... - 1 -
- 2.2. Maîtriser les techniques d'investigation ..... - 1 -
- 2.3. Connaître les technologies de fondation ..... - 2 -
- 2.4. Garantir la pérennité et la sécurité ..... - 2 -

2. Approche Pédagogique ..... - 2 -

- 2.1. Une pédagogie basée sur le projet ..... - 2 -
- 2.2. Contextualisation aux défis géotechniques de la RDC ..... - 3 -

2. Compétences Visées ..... - 4 -

- 3.1. Investiguer : Planifier et décrire un programme de reconnaissance des sols, en choisissant les techniques d'investigation in-situ et de laboratoire appropriées. ..... - 4 -
- 3.2. Analyser : Interpréter les résultats des essais géotechniques pour classifier un sol et en déduire ses caractéristiques générales du point de vue de la construction. ..... - 5 -
- 3.3. Concevoir : Choisir le type de fondation (superficielle, semi-profonde, profonde) le plus adapté à un contexte de sol et de projet donné, en justifiant ses choix. ..... - 6 -
- 3.4. Détailler : Décrire la technologie et les procédés d'exécution des principaux types de fondations, des semelles directes aux pieux. ..... - 7 -

2. Modalités d'Évaluation 📋 ..... - 7 -

- 3.1. Études de Cas (30% de la note finale) ..... - 8 -
- 3.2. Épreuves Écrites sur Table (40% de la note finale) ..... - 8 -
- 3.3. Projet de Conception (30% de la note finale) ..... - 9 -

Chapitre 1 : La Reconnaissance Préliminaire des Sols 👮 ..... - 13 -

1.1. La Nécessité de l'Examen du Sol ..... - 13 -

1.2. L'Enquête Documentaire et de Voisinage ..... - 15 -

- 1.2.1. La Recherche Documentaire 📚 ..... - 16 -
- 1.2.2. L'Enquête de Voisinage (Enquête Riveraine) 🗣️ ..... - 17 -
- 1.2.3. Synthèse et Limitations ..... - 18 -

1.3. L'Examen Visuel du Site ..... - 20 -

- 1.3.1. Analyse de la Topographie et de la Géomorphologie 🏞️ ..... - 21 -
- 1.3.2. Indice de la Végétation 🌿 ..... - 21 -
- 1.3.3. Indice Hydrologique 💧 ..... - 22 -
- 1.3.4. Examen des Bâtiments Avoisinants 🏠 ..... - 23 -

1.4. L'Identification Manuelle des Sols ..... - 25 -

- 1.4.1. Examen Visuel et Tactile (Test organoleptique) 🖐️ ..... - 26 -

- 1.4.2. Test de Cohésion (Amasse) (État Humide) ..... - 27 -
- 1.4.3. Test de Dilatance (Réaction au Secouement) ..... - 27 -
- 1.4.4. Essai de Sédimentation (Test Bocal) 🏺 ..... - 29 -

Scenarios et Exercices ..... - 31 -

- 3. Exercices d'application ..... - 32 -
- 3. Scénarios d'assimilation ..... - 33 -

Chapitre 2 : Les Techniques de Reconnaissance in-situ 🛠️ ..... - 36 -

2.1. Les Puits et Tranchées de Reconnaissance ..... - 36 -

- 2.1.1. Les Puits de Reconnaissance (Sondages) 🕳️ ..... - 36 -
- 2.1.2. Les Tranchées de Reconnaissance ..... - 38 -

2.2. Les Forages et l'Échantillonnage (Carottage) ..... - 40 -

- 2.2.1. Techniques de Forage (Sondage) ..... - 41 -
- 2.2.2. Techniques d'Échantillonnage (Prélèvement) ..... - 42 -

2.3. Le Relevé Piézométrique ..... - 45 -

- 2.3.1. Qu'est-ce qu'un Piézomètre ? ..... - 46 -
- 2.3.2. Nappe Libre vs. Nappe Captive ..... - 46 -
- 2.3.3. Importance du Suivi Saisonnier 🌦️ ..... - 47 -

2.4. La Rédaction du Rapport de Forage (Log) ..... - 48 -

- 2.4.1. Informations Générales (En-tête) 📄 ..... - 49 -
- 2.4.2. La Coupe Stratigraphique (Le "Log") ..... - 49 -
- 2.4.3. Informations Piézométriques 💧 ..... - 50 -

Scenarios et Exercices ..... - 51 -

- 3. Exercices d'application ..... - 52 -
- 3. Scénarios d'assimilation ..... - 53 -

Chapitre 3 : Les Essais de Pénétration sur le Terrain 🔨 ..... - 57 -

3.1. Les Méthodes d'Essai Statiques ..... - 57 -

- 3.1.1. Le Pénétromètre Statique à Cône (CPT) 📉 ..... - 57 -
- 3.1.2. Avantages et Limitations du CPT ..... - 59 -

3.2. Les Méthodes d'Essai Dynamiques ..... - 61 -

- 3.2.1. Le Standard Penetration Test (SPT) 💥 ..... - 62 -
- 3.2.2. Autres Pénétromètres Dynamiques (DCP) ..... - 63 -
- 3.2.3. Avantages et Limitations du SPT ..... - 64 -

3.3. L'Interprétation des Résultats de Pénétration ..... - 66 -

- 3.3.1. Corrélation pour les Sols Grenus (Sables, Graviers) 🧱 ..... - 67 -
- 3.3.2. Corrélation pour les Sols Fins (Argiles, Limons) 🏺 ..... - 67 -

- 3.3.3. Identification des Couches Critiques ..... - 69 -

3.4. La Détermination de la Profondeur des Investigations ..... - 71 -

- 3.4.1. Le Bulbe de Contrainte 🧠 ..... - 72 -
- 3.4.2. Règles Pratiques pour la Profondeur d'Investigation ..... - 72 -

Chapitre 4 : L'Analyse du Sol en Laboratoire 🧪 ..... - 74 -

4.1. L'Analyse Granulométrique ..... - 75 -

- 4.1.1. Méthode par Tamisage 篩 ..... - 75 -
- 4.1.2. Méthode par Sédimentométrie (Analyse à l'Hydromètre) ..... - 76 -
- 4.1.3. La Courbe Granulométrique et l'Indice de Uniformité ..... - 77 -

4.2. La Détermination des Limites d'Atterberg ..... - 79 -

- 4.2.1. Les États de Consistance des Sols Fins ..... - 80 -
- 4.2.2. Les Limites Conventionnelles ..... - 80 -
- 4.2.3. L'Indice de Plasticité et de Consistance ..... **Error! Bookmark not defined.**

4.3. La Détermination des Caractéristiques Physiques ..... - 81 -

- 4.3.1. Mesure de la Teneur en Eau Naturelle (wn) 💧 ..... - 82 -
- 4.3.2. Détermination du Poids Volumique (γ) ..... - 82 -
- 4.3.3. Détermination de la Densité des Grains Solides (Gs ou ρs) ..... - 83 -
- 4.3.4. Calcul des Paramètres Dérivés ..... - 83 -

4.4. L'Essai de Cisaillement ..... - 84 -

- 4.4.1. Le Critère de Rupture de Mohr-Coulomb ..... - 85 -
- 4.4.2. Essai à la Boîte de Casagrande (Boîte de Cisaillement Direct) 📏 ..... - 85 -
- 4.4.3. Essai Triaxial ➗ ..... - 87 -

Scenarios et Exercices ..... - 89 -

- 3. Exercices d'application ..... - 90 -
- 3. Scénarios d'assimilation ..... - 91 -

RESSOURCES COMPLEMENTAIRES 📚 ..... - 95 -

I. Questions et réponses d'approfondissement ..... - 95 -

II. Confusions et erreurs fréquentes à éviter ..... - 104 -

- 3.1. Confondre "Terre Végétale" et "Bon Sol" ..... - 104 -
- 3.2. Penser que "Sol Dur" signifie "Sol Portant" ..... - 104 -
- 3.3. Ignorer l'impact de l'eau (Nappe Phréatique) ..... - 105 -
- 3.4. Se fier au "Tout-Venant" pour le Béton Structurel ..... - 105 -
- 3.5. Utiliser le même dosage de mortier pour tous les usages ..... - 106 -
- 3.6. Croire que le "Bon Sol" est un horizon unique ..... - 107 -
- 3.7. Confondre "Prise" et "Durcissement" du béton ..... - 107 -

III. La fiche de révision prête à l'emploi ..... - 108 -

- 3.1. Les Deux Familles de Sols ⚖️ ..... - 108 -
- 3.2. L'Eau dans le Sol : L'Ennemi n°1 💧 ..... - 109 -
- 3.3. Check-list de la Reconnaissance des Sols 📋 ..... - 109 -
- 3.4. Les Composants du Béton et du Mortier 🧱 ..... - 110 -
- 3.5. Distinction Fondamentale : Mortier vs. Béton ..... - 111 -
- 3.6. Les 3 Piliers d'un Bon Béton (La Règle d'Or) 🏛️ ..... - 112 -
- 3.7. Vocabulaire Technique Clé (Top 10 à Maîtriser) ..... - 113 -

Chapitre 5 : Conception Générale des Fondations 🏗️ ..... - 117 -

5.1. Les Critères de Conception d'une Fondation ..... - 117 -

- 5.1.1. Les Critères Techniques : Analyse du Sol et de la Structure ..... - 117 -
- 5.1.2. L'Interaction Sol-Structure (ISS) ..... - 119 -
- 5.1.3. Les Critères Économiques : L'Optimisation des Coûts ..... - 120 -
- 5.1.4. Les Critères d'Exécution : Faisabilité et Contraintes de Chantier ..... - 121 -

5.2. La Descente des Charges et la Répartition des Contraintes ..... - 122 -

- 5.2.1. Définition et Calcul des Charges Permanentes (G) ..... - 123 -
- 5.2.2. Définition et Calcul des Charges d'Exploitation (Q) ..... - 123 -
- 5.2.3. Prise en Compte des Charges Climatiques (W, S) ..... - 125 -
- 5.2.4. Le Principe de la Descente de Charges ..... - 126 -
- 5.2.5. Combinaisons d'Actions (ELU et ELS) ..... - 127 -
- 5.2.6. Calcul de la Contrainte au Sol (Sigma_sol) ..... - 127 -

5.3. La Notion de Tassement (Absolu et Différentiel) ..... - 129 -

- 5.3.1. Le Tassement Absolu (ou Total) ..... - 130 -
- 5.3.2. Le Tassement Différentiel ..... - 130 -
- 5.3.3. Causes des Tassements Différentiels ..... - 132 -
- 5.3.4. Limites Admissibles des Tassements ..... - 133 -
- 5.3.5. Solutions Constructives pour Maîtriser les Tassements ..... - 134 -

5.4. La Sécurité vis-à-vis du Poinçonnement et du Glissement ..... - 135 -

- 5.4.1. La Vérification au Poinçonnement du Sol (Capacité Portante) ..... - 136 -
- 5.4.2. Le Poinçonnement du Béton (Semelle par le Poteau) ..... - 136 -
- 5.4.3. Identification des Efforts Horizontaux (H) ..... - 137 -
- 5.4.4. La Vérification de la Stabilité au Glissement ..... - 138 -
- 5.4.5. Dispositions Constructives contre le Glissement ..... - 139 -

Scenarios et Exercices ..... - 141 -

- 5.5. Exercices à compléter ..... - 142 -
- 5.6. Exercices de raisonnement ..... - 143 -
- 5.7. Scénarios d'assimilation ..... - 143 -

Chapitre 6 : Les Fondations Directes ou Superficielles 🏛 ..... - 146 -
6.1. Les Semelles en Béton ou en Maçonnerie ..... - 146 -
- 6.1.1. La Semelle Isolée sous Poteau ..... - 146 -
- 6.1.2. La Semelle Filante (ou Continue) sous Mur ..... - 147 -
- 6.1.3. Les Semelles Croisées (ou sur Poteaux Rapprochés) ..... - 148 -
- 6.1.4. Principe de Ferraillage des Semelles en Béton Armé ..... - 149 -
- 6.1.5. Les Semelles en Maçonnerie (Fondations Cyclopéennes ou en Moellons) ..... - 150 -
- 6.1.6. Accessoires : Béton de Propreté et Chaînages (Longrines) ..... - 151 -

6.2. Le Radier Général pour les Sols de Faible Portance ..... - 153 -
- 6.2.1. Définition et Principe de Fonctionnement du Radier ..... - 154 -
- 6.2.2. Critères de Choix d'un Radier Général ..... - 154 -
- 6.2.3. Cas Spécifique : Sols Volcaniques Agressifs (Contextualisation Kivu) ..... - 155 -
- 6.2.4. Types de Radiers ..... - 155 -
- 6.2.5. Problématique de Sous-Pression Hydrostatique (Poussée d'Archimède) ..... - 156 -
- 6.2.6. Conception et Ferraillage d'un Radier ..... - 156 -

6.3. Les Techniques de Creusement et de Protection des Fouilles ..... - 157 -
- 6.3.1. Classification des Fouilles ..... - 157 -
- 6.3.2. Stabilité des Talus : Fouilles sans Blindage ..... - 157 -
- 6.3.3. Étude de Cas : Stabilité des Latérites (Contextualisation Kwango) ..... - 158 -
- 6.3.4. Techniques de Blindage pour Fouilles Profondes ou Instables ..... - 158 -
- 6.3.5. Gestion de l'Eau dans les Fouilles (Épuisement) ..... - 159 -
- 6.3.6. Normes de Sécurité Impératives sur Chantier ..... - 159 -

6.4. Le Remblayage et le Compactage Autour des Fondations ..... - 160 -
- 6.4.1. Objectifs du Remblayage ..... - 160 -
- 6.4.2. Choix des Matériaux de Remblai ..... - 160 -
- 6.4.3. L'Importance Cruciale du Compactage ..... - 161 -
- 6.4.4. Méthodologie de Compactage par Couches Successives ..... - 161 -
- 6.4.5. Équipements de Compactage ..... - 162 -
- 6.4.6. Contrôle de la Qualité du Compactage ..... - 162 -

Scenarios et Exercices ..... - 162 -
- 6.5. Exercices à compléter ..... - 162 -
- 6.6. Exercices de raisonnement ..... - 163 -
- 6.7. Scénarios d'assimilation ..... - 164 -

Chapitre 7 : Les Fondations sur Puits et Pieux ⛓ ..... - 167 -
7.1. Le Domaine d'Application des Fondations sur Puits ..... - 167 -
- 7.1.1. Identification de la Couche Portante ("Bon Sol") ..... - 167 -

- 7.1.2. La Fenêtre de Pertinence (Profondeur et Coût) ..... - 167 -
- 7.1.3. Comparaison Technique avec le Radier Général ..... - 168 -
- 7.1.4. Comparaison Technique avec les Pieux ..... - 168 -
- 7.1.5. Types de Structures Adaptées ..... - 169 -
- 7.1.6. Analyse des Contraintes Économiques et d'Exécution ..... - 169 -

7.2. La Technologie des Puits et le Blindage des Fouilles ..... - 169 -
- 7.2.1. Définition Technique et Classification ..... - 169 -
- 7.2.2. Méthodes de Creusement (Terrassement) ..... - 170 -
- 7.2.3. Le Blindage : Une Exigence de Sécurité Impérative ..... - 171 -
- 7.2.4. Techniques de Blindage pour Puits ..... - 171 -
- 7.2.5. Problématique de la Nappe Phréatique ..... - 172 -
- 7.2.6. Le Bétonnage du Puits ..... - 172 -

7.3. Le Principe de Fonctionnement des Pieux ..... - 173 -
- 7.3.1. Le Transfert des Charges en Profondeur ..... - 173 -
- 7.3.2. Le Fonctionnement en Pointe (Pieu-Pointe) ..... - 173 -
- 7.3.3. Le Fonctionnement en Frottement Latéral (Pieu Flottant) ..... - 174 -
- 7.3.4. Le Fonctionnement Mixte (Pointe et Frottement) ..... - 175 -
- 7.3.5. Le Groupe de Pieux et le Chevêtre ..... - 175 -
- 7.3.6. Le Risque de Frottement Négatif ..... - 175 -

7.4. La Technologie des Différents Types de Pieux ..... - 176 -
- 7.4.1. Classification Principale (Mode de Mise en Œuvre) ..... - 176 -
- 7.4.2. Pieux en Bois (Pieux Battus) ..... - 177 -
- 7.4.3. Pieux Préfabriqués en Béton Armé (Pieux Battus) ..... - 177 -
- 7.4.4. Pieux Métalliques (Pieux Battus) ..... - 178 -
- 7.4.5. Le Cas Spécifique du Pieu Franki (Battu-Moulé dans le Sol) ..... - 178 -

Scenarios et Exercices ..... - 179 -
- 7.5. Exercices à compléter ..... - 179 -
- 7.6. Exercices de raisonnement ..... - 180 -
- 7.7. Scénarios d'assimilation ..... - 181 -

Chapitre 8 : Les Procédés Spéciaux de Génie Civil ..... - 184 -

8.1. Les Techniques d'Amélioration des Sols ..... - 184 -
- 8.1.1. Objectifs de l'Amélioration des Sols ..... - 184 -
- 8.1.2. Le Compactage Dynamique ..... - 184 -
- 8.1.3. Le Préchargement et la Consolidation par Drains Verticaux ..... - 185 -
- 8.1.4. Les Injections de Coulis (Grouting) ..... - 186 -
- 8.1.5. Les Colonnes Ballastées (Vibro-Remplacement) ..... - 186 -

8.2. Le Rabattement de la Nappe Phréatique ..... - 187 -
- 8.2.1. Distinction Exhaure vs. Rabattement ..... - 187 -
- 8.2.2. Le Risque de Boulance (Danger de l'Exhaure) ..... - 187 -
- 8.2.3. Technologie des Pointes Filtrantes (Wellpoints) ..... - 188 -
- 8.2.4. Technologie des Puits Filtrants (Puits Profonds) ..... - 188 -
- 8.2.5. Impacts et Risques du Rabattement ..... - 188 -

8.3. L'Utilisation des Enceintes de Palplanches ..... - 189 -
- 8.3.1. Définition et Types de Palplanches ..... - 189 -
- 8.3.2. Méthodes de Mise en Œuvre ..... - 189 -
- 8.3.3. Fonction d'Étancheité (Le "Batardeau") ..... - 190 -
- 8.3.4. Stabilité de l'Enceinte (Soutènement) ..... - 190 -

8.4. La Problématique des Reprises en Sous-Œuvre ..... - 190 -
- 8.4.1. Objectifs de la Reprise en Sous-Œuvre (RSO) ..... - 191 -
- 8.4.2. Le Principe Fondamental : Transfert de Charge et Phasage ..... - 191 -
- 8.4.3. La Méthode "Plots en Sous-Œuvre" (ou "Puits et Longrines") ..... - 191 -
- 8.4.4. La Technique des Micro-Pieux ..... - 192 -
- 8.4.5. Précautions Impératives et Surveillance (Monitoring) ..... - 192 -

Scenarios et Exercices ..... - 193 -
- 8.5. Exercices à compléter ..... - 193 -
- 8.6. Exercices de raisonnement ..... - 193 -
- 8.7. Scénarios d'assimilation ..... - 194 -

RESSOURCES COMPLEMENTAIRES ..... - 198 -

I. Questions et réponses d'approfondissement ..... - 198 -

II. Confusions et erreurs fréquentes à éviter ..... - 203 -
- 3.1. Sur la Conception et l'Analyse du Sol (Chapitre 5 & 6) ..... - 203 -
- 3.2. Sur l'Exécution et les Fondations Profondes (Chapitre 6, 7 & 8) ..... - 205 -

III. La fiche de révision prête à l'emploi ..... - 207 -
- 3.1. Étape 1 : Analyse et Conception (Chapitre 5) ..... - 207 -
- 3.2. Étape 2 : Sélection de la Technologie de Fondation (Chapitres 6 & 7) ..... - 208 -
- 3.3. Étape 3 : Gestion des Chantiers Complexes (Chapitres 6 & 8) ..... - 210 -

ANNEXES ..... - 213 -

I. Tableau de Classification des Sols i
- 1. Sols Grenus (ou Pulvérulents) i
- 2. Sols Fins (ou Cohérents) ii
- 3. Sols Organiques et Spéciaux (Inaptes à la Construction) iv

II. Guide des Essais Géotechniques v

- 1. Essais In-Situ (Réalisés sur le terrain)..... v
- 2. Essais de Laboratoire (Réalisés sur échantillons prélevés) vii

III. Catalogue des Technologies de Fondations 🏠 ix

- 1. Fondations Superficielles (Directes)..... ix
- 2. Fondations Semi-Profondes xi
- 3. Fondations Profondes xi
- 4. Procédés Spéciaux (Fondations et Améliorations) xiii

IV. Lexique Illustré de la Géotechnique 📖 xiv

- 3.1. Termes Relatifs au Sol et à l'Eau xiv
- 3.2. Termes Relatifs aux Fondations xvi
- 3.3. Termes Relatifs aux Travaux Spéciaux..... xviii



Préliminaires

1. Objectifs du cours

Ce cours a pour objectif de confronter le futur technicien aux problématiques fondamentales du génie civil, en partant de l'élément premier et le plus incertain : le sol. L'ambition est de développer une méthodologie d'analyse rigoureuse qui, partant de l'examen du terrain, aboutit au choix et à la conception de la solution de fondation la plus appropriée. L'élève devra maîtriser les techniques d'investigation des sols et acquérir une connaissance approfondie des différentes technologies de fondations, des plus superficielles aux plus profondes, pour garantir l'assise et la pérennité de tout ouvrage.

2.1. Développer une méthodologie d'analyse

L'ingénierie des fondations est une discipline de gestion du risque. Ce cours vise à équiper l'élève d'une procédure systématique pour réduire l'incertitude géotechnique. Cette méthodologie repose sur un triptyque essentiel : Investiguer, Analyser, Concevoir. L'élève apprendra à définir un programme de reconnaissance des sols adapté à l'envergure d'un projet, à interpréter les résultats bruts des essais pour en extraire les paramètres mécaniques pertinents (capacité portante, modules de déformation), et enfin à utiliser ces paramètres pour choisir et dimensionner une solution de fondation qui assure la sécurité de l'ouvrage tout en optimisant les coûts. L'objectif est de former un technicien capable de justifier chaque décision de conception par une analyse factuelle du sous-sol.

2.2. Maîtriser les techniques d'investigation

Il est impossible de concevoir une fondation fiable sans comprendre les outils qui permettent de "lire" le sol. L'élève devra acquérir une maîtrise conceptuelle et pratique des principales méthodes d'investigation. Cela inclut la capacité de différencier les essais *in-situ*, qui testent le sol dans son environnement naturel (comme les essais au pénétromètre statique CPT et dynamique SPT), des essais *de laboratoire*, qui analysent les propriétés physiques et mécaniques d'échantillons prélevés (comme l'analyse granulométrique, les limites d'Atterberg, l'essai triaxial et l'essai œdométrique). L'objectif est de savoir prescrire les bons essais en fonction du contexte géologique (sable, argile, roche) et du type de projet (bâtiment léger, ouvrage d'art).

2.3. Connaître les technologies de fondation

Une fois le sol analysé, le technicien doit disposer d'un catalogue de solutions techniques. Ce cours vise à fournir une connaissance approfondie de l'éventail complet des technologies de fondations. Cela commence par les fondations superficielles (semelles filantes sous murs, semelles isolées sous poteaux, radier général pour les sols médiocres) et se poursuit avec les fondations semi-profondes (puits blindés pour atteindre un bon sol à moyenne profondeur). Enfin, le cours détaillera les fondations profondes (pieux battus, pieux forés) en expliquant leurs mécanismes de portance (travail en pointe, en frottement latéral, ou mixte) et leurs domaines d'application respectifs, pour être capable de sélectionner la technologie la plus adaptée à chaque défi de chantier.

2.4. Garantir la pérennité et la sécurité

La compétence ultime visée est la capacité à concevoir une infrastructure durable. L'élève devra comprendre que la fondation est l'interface entre l'ouvrage et le terrain, et que son rôle est de gérer les interactions entre les deux. L'objectif est de garantir la sécurité à l'État Limite Ultime (ÉLU), en s'assurant que le sol ne subira pas de rupture par poinçonnement. Simultanément, il devra garantir la fonctionnalité à l'État Limite de Service (ÉLS), en maîtrisant le phénomène de tassement, et plus particulièrement le tassement différentiel, qui est la cause principale des fissures et des désordres structurels. Cette double vérification (rupture et déformation) est le cœur de la responsabilité du constructeur.

2. Approche Pédagogique

Fondé sur une démarche de résolution de problèmes, l'enseignement suivra le parcours logique de l'ingénieur géotechnicien et de l'ingénieur en structures. Chaque chapitre s'ouvrira sur une problématique concrète (Comment connaître la nature d'un sol ? Comment fonder un bâtiment sur un terrain médiocre ?) pour ensuite en explorer les solutions techniques. L'apprentissage sera illustré par des études de cas tirées des défis constructifs spécifiques à la RDC, comme la construction sur les sols argileux de la Cuvette Centrale ou la réalisation de fondations pour un pont sur la Lulua.

2.1. Une pédagogie basée sur le projet

Ce cours adopte une approche inductive. Plutôt que de présenter un catalogue de théories abstraites, chaque concept sera introduit comme la

réponse à un défi concret de chantier. L'élève suivra le cheminement intellectuel de l'ingénieur, de la réception du plan d'architecte à la rédaction de la note de calcul de fondation. Ce parcours logique impose une séquence d'apprentissage rigoureuse :

1. **Compréhension du Projet :** Analyse de la structure (type de bâtiment, descente de charges estimative).
2. **Hypothèse et Investigation :** Formulation des questions (Où est le bon sol ? Y a-t-il de l'eau ?) et définition du programme de reconnaissance (sondages, essais) pour y répondre.
3. **Analyse des Données :** Dépouillement des résultats d'essais et traduction en paramètres de calcul (cohésion 'c', angle de frottement 'ϕ', module œdométrique 'E').
4. **Synthèse et Conception :** Identification des solutions technologiques possibles (ex: radier vs. puits vs. pieux).
5. **Optimisation et Justification :** Pré-dimensionnement des options, analyse comparative (coût, délais, risques d'exécution) et sélection de la solution optimale à défendre.

2.2. Contextualisation aux défis géotechniques de la RDC

La pertinence du cours est assurée par son ancrage profond dans les réalités géologiques et constructives congolaises. Les études de cas théoriques seront systématiquement complétées par des scénarios contextualisés :

- **Les Sols Argileux Gonflants :** Analyse des latérites et des sols argileux (ex: régions du Kasaï, Kwango). L'élève devra concevoir des fondations pour une maison individuelle (RDC) capable de résister aux cycles de retrait (saison sèche) et de gonflement (saison des pluies) qui détruisent les constructions légères mal fondées.
- **Les Sols Compressibles (Organiques) :** Étude de cas sur la construction en zone alluviale ou marécageuse (ex: Cuvette Centrale, plaine de la Ruzizi). L'élève devra analyser un rapport de sol montrant une forte épaisseur de vase ou d'argile molle (faible portance, tassements élevés) et justifier pourquoi une fondation superficielle est proscrite, en orientant son choix vers des solutions profondes (pieux flottants) ou des techniques d'amélioration de sol.

- **Les Sols Volcaniques Hétérogènes :** Analyse des défis de construction à Goma et Bukavu (Kivu). L'élève sera confronté à la forte hétérogénéité des sols (mélange de cendres, de scories peu denses, et de bancs de lave dure) et devra intégrer le paramètre sismique dans le choix et le dimensionnement des fondations, en privilégiant des systèmes monolithiques (radiers) ou des liaisons robustes (longrines).
- **Les Sols Sableux Lâches :** Étude de la construction de grands ouvrages à Kinshasa (Gombe). L'élève analysera la problématique des sables du Batéké, en évaluant les risques de tassement sous fortes charges et la nécessité de recourir à des pieux longs travaillant majoritairement en frottement latéral.
- **Les Sols et l'Eau :** Analyse d'un projet de pont (ex: sur la Lulua ou l'Inkisi). L'élève devra planifier la construction des piles en rivière, en choisissant entre un rabattement de nappe ou la mise en œuvre d'un batardeau en palplanches pour travailler à sec.

2. Compétences Visées

Au terme de cette année, l'élève détiendra les compétences suivantes :

3.1. Investiguer : Planifier et décrire un programme de reconnaissance des sols, en choisissant les techniques d'investigation in-situ et de laboratoire appropriées.

Cette compétence fondamentale conditionne l'ensemble du projet. L'élève doit devenir capable de poser les bonnes questions au terrain avant d'esquisser la moindre solution.

3.1.1. Définir une campagne de reconnaissance

L'élève saura rédiger un plan d'investigation. En fonction de la taille de l'ouvrage (simple R+1 ou bâtiment R+10) et de la géologie attendue, il sera capable de justifier l'emplacement, le nombre et la profondeur des points de sondage. Il comprendra qu'un sondage doit descendre bien plus bas que la fondation elle-même, jusqu'à atteindre le "bon sol" ou, à défaut, une profondeur suffisante (ex: 1,5 fois la largeur du bâtiment) pour sortir du bulbe de contrainte.

3.1.2. Prescrire les essais in-situ pertinents

L'élève maîtrisera le "menu" des essais de terrain. Il saura qu'un essai au pénétromètre dynamique (SPT) est adapté pour évaluer la compacité des

sables (en fournissant un indice N_spt et un échantillon), tandis qu'un essai au pénétromètre statique (CPT) est plus précis pour détecter les couches d'argile molles et mesurer en continu la résistance de pointe. Il saura également quand un essai pressiométrique (Ménard) est nécessaire pour obtenir des modules de déformation fiables en vue d'un calcul de tassement précis.

3.1.3. Prescrire les essais de laboratoire essentiels

L'élève saura que l'échantillon de sol prélevé sur site n'a de valeur qu'une fois analysé. Il pourra prescrire et interpréter les essais de base : l'analyse granulométrique (pour classer le sol), les limites d'Atterberg (pour mesurer l'indice de plasticité I_P et distinguer un limon d'une argile), la teneur en eau (w) et l'essai Proctor (pour définir l'optimum de compactage des remblais).

3.2. Analyser : Interpréter les résultats des essais géotechniques pour classifier un sol et en déduire ses caractéristiques générales du point de vue de la construction.

Une fois les données brutes collectées, l'élève doit être capable de les transformer en informations techniques exploitables.

3.2.1. Établir une coupe géotechnique (Log)

L'élève sera capable de synthétiser les résultats de plusieurs sondages pour dessiner un profil stratigraphique du site. Ce profil montrera la succession des différentes couches de sol (ex: 0m à -2m : Remblai / -2m à -6m : Argile molle / > -6m : Sable dense) et la position de la nappe phréatique.

3.2.2. Classifier le sol (Classification LCPC/USCS)

À partir des résultats de la granulométrie et des limites d'Atterberg, l'élève saura utiliser le diagramme de plasticité pour nommer le sol selon les normes (ex: "Sable argileux - SC", "Limon peu plastique - ML", "Argile très plastique - CH"). Cette classification lui donnera immédiatement une indication sur les risques associés (ex: CH = risque de gonflement et de tassement).

3.2.3. Estimer les paramètres de calcul

L'élève apprendra à extraire les valeurs quantitatives clés des rapports d'essais. Il pourra déterminer la contrainte admissible (σ_{adm} en kPa ou bars) pour un dimensionnement à l'ELS. Il pourra également identifier les paramètres de résistance pure (la cohésion 'c' et l'angle de frottement 'ϕ') pour les calculs de stabilité à l'ELU, ainsi que les modules de déformation

(Module œdométrique Eoed, Module pressiométrique E_M) pour les calculs de tassement.

3.3. Concevoir : Choisir le type de fondation (superficielle, semi-profonde, profonde) le plus adapté à un contexte de sol et de projet donné, en justifiant ses choix.

C'est la compétence de synthèse. L'élève doit agir en ingénieur en proposant une solution technique optimale.

3.3.1. Appliquer l'arbre de décision

L'élève maîtrisera l'arbre de décision logique :

1. Le bon sol est-il à faible profondeur (< 3m) ? ➔ **Fondations superficielles** (semelles ou radier).
2. Le bon sol est-il à profondeur moyenne (3m à 8m) ? ➔ **Fondations semi-profondes** (puits) ou **Amélioration de sol** (colonnes ballastées).
3. Le bon sol est-il très profond (> 8-10m) ou le sol est-il trop hétérogène ? ➔ **Fondations profondes** (pieux).

3.3.2. Effectuer une analyse comparative

L'élève sera capable de ne pas se limiter à une seule solution. Pour un sol médiocre en surface, il évaluera les avantages et inconvénients de plusieurs options (ex: un radier général vs. un réseau de semelles sur puits). Son analyse comparera la sécurité technique (maîtrise des tassements différentiels), la faisabilité (présence d'eau, accès au site, compétences locales) et l'économie globale du projet (volume de béton, complexité des travaux).

3.3.3. Pré-dimensionner les solutions

Pour que la comparaison soit valable, l'élève saura réaliser un pré-dimensionnement rapide. Il maîtrisera la formule de base de la contrainte au sol ($S_{semelle} = N_{service}/\sigma_{admissible}$) pour les semelles, et comprendra le principe de calcul de la portance d'un pieu (somme de la résistance de pointe et du frottement latéral).

3.4. Détailler : Décrire la technologie et les procédés d'exécution des principaux types de fondations, des semelles directes aux pieux.

Une conception n'est valable que si elle est constructible. L'élève doit maîtriser les aspects "chantier" de sa conception.

3.4.1. Maîtriser les phasages d'exécution

L'élève pourra décrire les étapes séquentielles de la réalisation d'une fondation. Pour une semelle, il décrira la séquence : Implantation ➔ Terrassement (fouille) ➔ Coulage du béton de propreté ➔ Pose du ferraillage (avec cales) ➔ Coffrage (si nécessaire) ➔ Coulage du béton structurel ➔ Vibration ➔ Cure du béton.

3.4.2. Gérer les risques de chantier

L'élève sera capable d'identifier les points de vigilance majeurs sur un chantier de fondation. Il connaîtra l'importance absolue du **blindage** des fouilles profondes pour la sécurité. Il saura que le **bétonnage dans l'eau** est proscrit et qu'il faut utiliser un **tube plongeur** pour les pieux ou les puits. Il comprendra l'importance critique du **compactage par couches** du remblai autour des fondations pour éviter l'affaissement futur des dallages.

3.4.3. Connaître les technologies spéciales

L'élève sera initié aux procédés avancés. Il pourra expliquer le principe d'un **rabattement de nappe** (par pointes filtrantes ou puits profonds) pour travailler à sec. Il comprendra le fonctionnement d'un **batardeau** en palplanches. Enfin, il saisira la complexité d'une **reprise en sous-œuvre** (RSO), notamment la méthode des plots alternés ou l'utilisation de micro-pieux pour renforcer un bâtiment existant.

2. Modalités d'Évaluation 📋

L'évaluation mesurera la capacité de l'élève à analyser une situation géotechnique et à proposer une solution de fondation pertinente. Elle se composera d'études de cas basées sur des rapports de forage simplifiés, d'épreuves écrites testant la connaissance des technologies de fondation, et de projets de conception où l'élève devra dessiner et justifier le système de fondation d'un bâtiment simple.

3.1. Études de Cas (30% de la note finale)

L'évaluation principale se fera sous forme d'études de cas simulées. L'élève recevra un dossier technique simplifié comprenant :

- Les plans d'architecte d'un ouvrage (ex: un R+3, un petit pont, un réservoir).
- Un rapport géotechnique fictif mais réaliste (ex: log de sondage SPT, résultats d'essais Atterberg, position de la nappe) contextualisé à une région de la RDC. L'élève devra, en temps limité, produire une note technique qui :

1. Analyse le rapport de sol et identifie les risques (tassement, gonflement, liquéfaction...).
2. Propose deux (2) solutions de fondation techniquement viables (ex: Option A : Radier, Option B : Pieux).
3. Effectue un pré-dimensionnement sommaire de chaque option.
4. Rédige une conclusion argumentée pour recommander l'une des deux solutions, en justifiant son choix sur des critères techniques et économiques.

3.2. Épreuves Écrites sur Table (40% de la note finale)

Deux examens écrits (mi-parcours et final) évalueront la maîtrise des connaissances techniques et technologiques. Ces épreuves comporteront :

- **Questions de connaissance :** Définir et expliquer des concepts clés (ex: "Quelle est la différence entre cohésion et angle de frottement ?", "Expliquer le phénomène de consolidation").
- **Exercices d'application :** Calculer des paramètres de base (ex: Indice de Plasticité, contrainte admissible à partir d'un essai pressiométrique).
- **Schémas techniques :** Légender ou dessiner des coupes de principe (ex: "Dessiner le ferraillage correct d'une semelle isolée", "Schématiser un pieu travaillant en frottement négatif").
- **Questions de technologie :** Décrire une procédure de chantier (ex: "Quelles sont les étapes et les risques du creusement d'un puits de 5m de profondeur ?").

3.3. Projet de Conception (30% de la note finale)

En fin de cycle, l'élève réalisera un projet de conception individuel ou en binôme. Sur la base d'un dossier complet (plans architecturaux et rapport géotechnique détaillé), il devra produire un dossier de fondation complet incluant :

- Une note d'hypothèses géotechniques justifiant les paramètres de sol retenus.
- Un plan de fondation (vue en plan) à l'échelle, montrant l'implantation complète du système retenu (semelles et longrines, radier, ou chevêtres sur pieux).
- Des coupes techniques détaillées montrant l'ancrage des fondations dans les couches de sol, les dimensions et les niveaux (fond de fouille, niveau d'arase).
- Une note de synthèse justifiant la solution retenue, les méthodes d'exécution préconisées et les points de contrôle qualité critiques pour le chantier.
- Une évaluation de la participation en classe et de la pertinence des interventions lors des corrections d'exercices sera également prise en compte pour ajuster la note finale.

Éditions Donel C.
Direction Éditoriale et Conception Générale :
MURHULA BAZIKANGE M.
Pour contacts, mon site web :
https://murhulabazikange.com/

© 2025, Donel Consulting, Kin. RDC
Tous droits réservés.

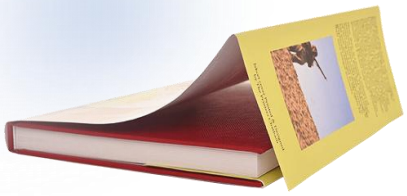
Pour l'excellence de l'éducation en RDC,
Tous les manuels scolaires en un seul endroit,
sur ce site web :
https://manuels-scolaires-rdc.com/

Pour plus de détails, scannez ceci :

PARTIE I

L'Examen du Sol – Le Dialogue avec le Terrain

Cette partie fondamentale est entièrement consacrée à l'investigation géotechnique. Avant de concevoir le moindre ouvrage, il est impératif de « dialoguer » avec le terrain pour comprendre sa nature, sa résistance et son comportement. La maîtrise de ces techniques d'examen est la clé pour prévenir les sinistres et garantir la sécurité des constructions.



Chapitre 1 : La Reconnaissance Préliminaire des Sols 🕵️

La première phase de l'examen des sols fait appel à l'enquête et à l'observation, des méthodes peu coûteuses qui fournissent des informations précieuses avant toute investigation lourde.

1.1. La Nécessité de l'Examen du Sol

L'étude de sol constitue une obligation technique et morale fondamentale qui conditionne la viabilité, la durabilité et la sécurité de tout ouvrage de construction. Ce prérequis absolu ne relève pas d'une simple formalité administrative mais d'une démarche d'ingénierie préventive indispensable. L'omission de cette étape engage directement la responsabilité du constructeur et du concepteur en cas de sinistre, car elle revient à ériger une structure sur une base inconnue.

L'objectif premier de l'examen du sol est d'identifier la **capacité portante** du terrain, c'est-à-dire la contrainte maximale que le sol peut supporter sans subir de rupture par poinçonnement ou de tassements excessifs. Une structure, quelle que soit sa taille, transmet des charges (poids propre, charges d'exploitation, charges climatiques) qui convergent vers les fondations. Si le sol sous-jacent est incapable de reprendre ces charges uniformément, des désordres structurels majeurs apparaissent.

Les sinistres dus à une appréciation erronée du terrain sont variés et souvent catastrophiques. Le **tassement différentiel** est le risque le plus courant : une partie du bâtiment s'enfonce plus qu'une autre car elle repose sur une couche de sol plus compressible (argile molle, remblai non compacté). Ce phénomène induit des contraintes internes sévères dans la structure, provoquant des fissures en diagonale (fissures de cisaillement) dans les murs, le blocage des portes et fenêtres, et, dans les cas extrêmes, la dislocation des éléments porteurs.

Dans des contextes géologiques spécifiques à la République Démocratique du Congo, ces risques sont exacerbés.

1. **Sols argileux gonflants (Kasaï, Kinshasa) :** Certaines argiles, comme les smectites, subissent des variations de volume considérables en fonction de la teneur en eau. Elles gonflent pendant la saison des pluies (exerçant une poussée verticale sur les fondations) et se rétractent en saison sèche (provoquant un tassement). Cette alternance détruit la stabilité des fondations superficielles.

2. **Sols compressibles (Mbandaka, zones alluviales du fleuve Congo) :** Les vastes zones marécageuses ou inondables sont constituées de limons organiques et de tourbes, matériaux à très faible portance et haute compressibilité. Construire sur ces sols sans fondations profondes (pieux) ou traitement de sol (consolidation, substitution) mène inévitablement à un enfoncement généralisé.
3. **Sols latéritiques (Kwango) :** Bien que souvent considérés comme de bons sols de fondation lorsqu'ils sont compactés (la "pierre rouge"), les latérites peuvent présenter des profils d'altération très hétérogènes. Une couche de latérite dure en surface peut masquer une poche d'argile ramollie en profondeur.
4. **Zones sismiques (Kivu) :** Dans l'Est du pays, l'étude de sol doit impérativement évaluer le risque de **liquéfaction des sols**. Sous l'effet d'un séisme, certains sols sableux saturés d'eau perdent brutalement toute leur résistance et se comportent comme un liquide, entraînant l'effondrement des bâtiments qui y reposent.
5. **Sols karstiques (Kongo Central) :** La présence de roches calcaires solubles près de Matadi ou Lukala crée un risque de cavités souterraines (dolines). Une charge de bâtiment appliquée au-dessus d'une cavité non détectée peut provoquer un effondrement soudain du sol (fontis).

L'étude de sol n'est donc pas une dépense superflue mais un investissement qui optimise le projet. Elle permet de dimensionner les fondations de manière juste et économique :

- **Éviter le surdimensionnement :** Connaissant la portance réelle, on évite de concevoir des semelles inutilement larges ou des pieux trop profonds, réalisant ainsi des économies substantielles sur le béton et l'acier.
- **Choisir le bon type de fondation :** L'étude oriente le choix entre des fondations superficielles (semelles isolées, filantes, radier) ou profondes (pieux, micropieux, puits). Un mauvais choix initial entraîne des coûts de reprise exorbitants.

En conclusion, l'examen du sol est l'acte premier de la construction responsable. Il fournit les données d'entrée indispensables à tout calcul de structure et garantit que l'ouvrage repose sur une assise stable, capable de traverser le temps et de résister aux contraintes environnementales.

CHAPITRE 1 : LA RECONNAISSANCE PRÉLIMINAIRE DES SOLS

PROCEDER GENERALE DE CONSTRUCTION
3EME CONSTRUCTION

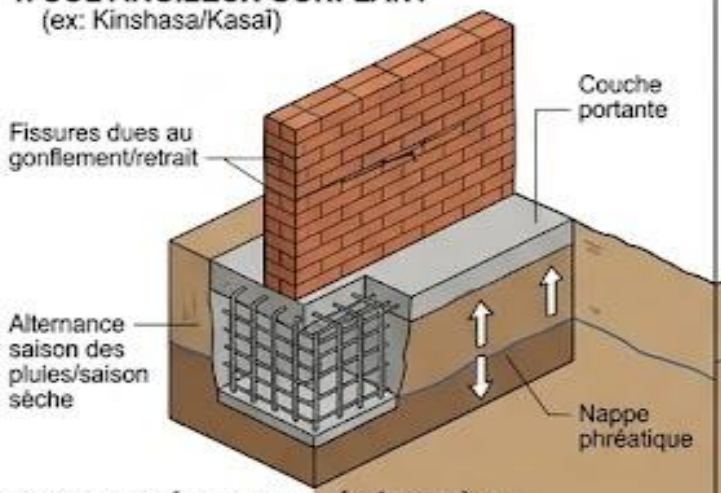
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE ET PROFESSIONNEL (RDC)

SECTION 1 : ENQUÊTE ET OBSERVATION SUR SITE (SONDAGE MANUEL)

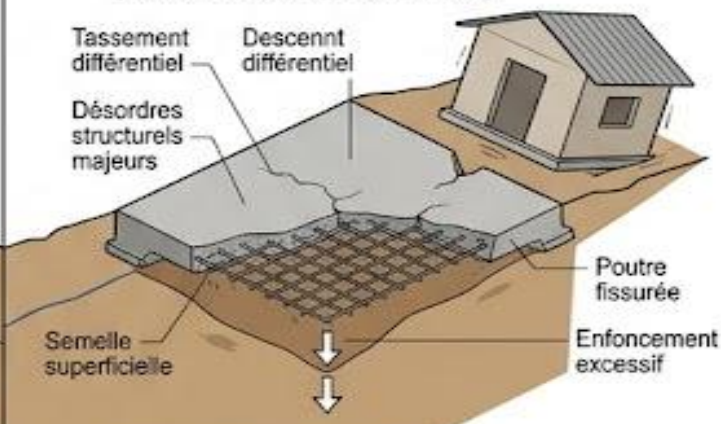


SECTION 2 : TYPES DE SOLS PROBLÉMATIQUES EN RDC & RISQUES GÉOTECHNIQUES

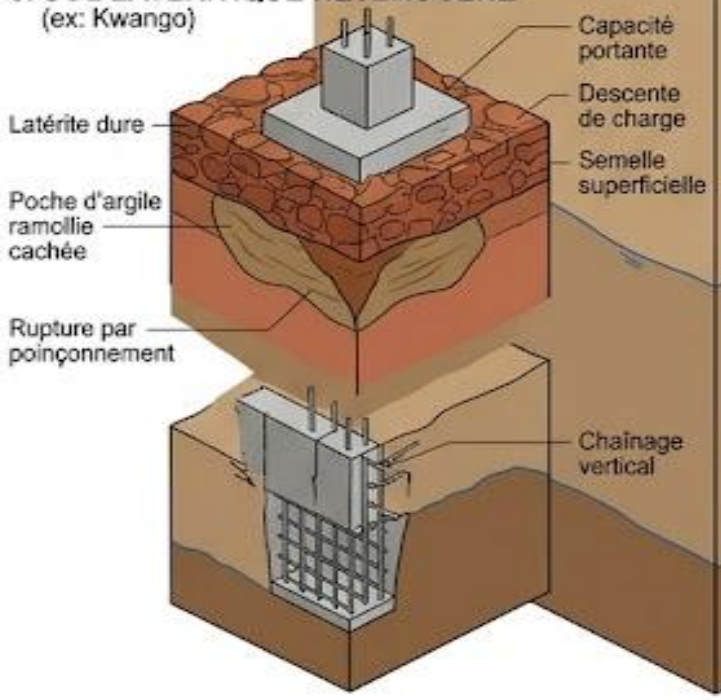
1. SOL ARGILEUX GONFLANT
(ex: Kinshasa/Kasaï)



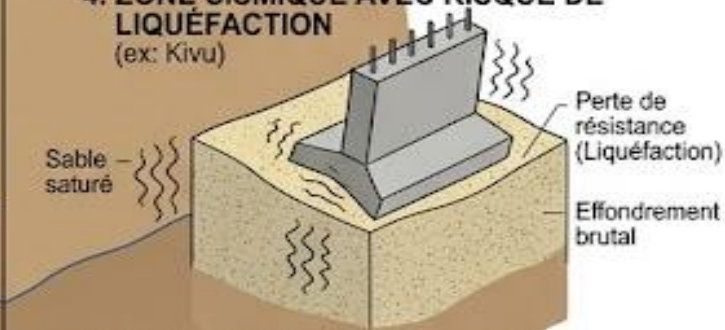
2. SOL COMPRESSIBLE
(ex: Mbandaka, zones alluviales)



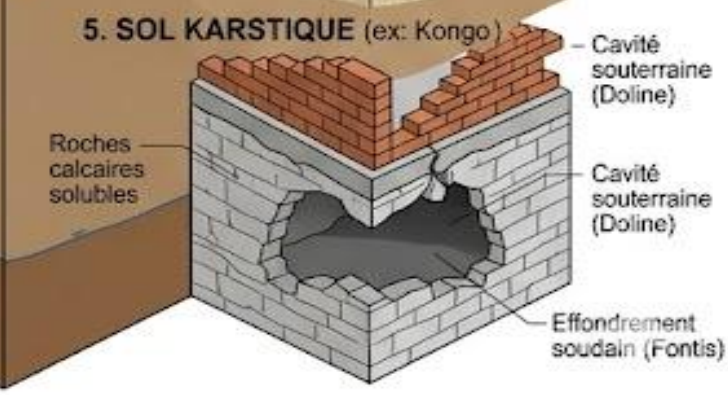
3. SOL LATÉRITIQUE HÉTÉROGÈNE
(ex: Kwango)



4. ZONE SISMIQUE AVEC RISQUE DE LIQUÉFACTION
(ex: Kivu)



5. SOL KARSTIQUE (ex: Kongo)



1.2. L'Enquête Documentaire et de Voisinage

Avant de déployer des moyens de forage coûteux, une investigation efficace commence par une phase de recherche documentaire et d'enquête de terrain. Cette étape, souvent appelée "desk study" (étude de bureau), vise à compiler toutes les informations existantes sur le site et son environnement immédiat. Son objectif est de formuler une première hypothèse géotechnique et d'orienter la future campagne de reconnaissance in-situ.

1.2.1. La Recherche Documentaire

Cette phase consiste à collecter et analyser des documents techniques, géologiques et historiques.

- **Cartes Géologiques et Pédologiques :** Les cartes éditées par les services géologiques nationaux (comme le Centre de Recherches Géologiques et Minières - CRGM) ou des instituts de recherche fournissent le cadre géologique régional. Elles indiquent la nature des formations rocheuses mères, les types de sols attendus (alluvions, éluvions, colluvions), la présence de failles ou de zones particulières.
- **Photos Aériennes et Images Satellitaires :** L'analyse de l'imagerie (disponible via des plateformes comme Google Earth ou des services spécialisés) permet d'étudier la géomorphologie du site, de repérer les anciens lits de rivières (paléochenaux), les zones de glissement de terrain actives ou anciennes, les zones inondables (identifiables par la couleur de la végétation ou la réflectance du sol) et l'urbanisation environnante.
- **Dossiers de Projets Voisins :** C'est une source d'information capitale. Si des constructions ont été réalisées à proximité, il est très probable que des études de sol aient été menées. Obtenir ces rapports (auprès des archives publiques, des entreprises de construction ou des bureaux d'études) fournit des logs de forage et des résultats d'essais directement pertinents pour le site concerné.
- **Historique du Site :** Il est crucial de savoir si le terrain a été modifié par l'homme. Était-ce une ancienne carrière, une décharge, une zone remblayée ? Les remblais non contrôlés sont une source majeure de sinistres, car leur compactage est hétérogène et leur tassement imprévisible.