GÉOLOGIE



CONFORME
AU PROGRAMME
NATIONAL

3ème Année

EDITION 2025

Options humanités
SCIENTIFIQUES



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

0.1. Profil d'Entrée et Prérequis Académiques 1

- 0.1.1. Maîtrise des Sciences Fondamentales 1
- 0.1.2. Compétences Logico-Mathématiques et Spatiales 1
- 0.1.3. Dispositions Intellectuelles et Méthodologiques 1

0.2. Compétences Terminales et Profil de Sortie 2

- 0.2.1. Maîtrise conceptuelle et disciplinaire 2
- 0.2.2. Compétences méthodologiques et analytiques 2
- 0.2.3. Profil de sortie : Le finaliste scientifique 2

0.3. Approche Méthodologique et Organisation 2

- 0.3.1. Didactique Bipolaire : Observation et Conceptualisation 2
- 0.3.2. Finalité Cognitive : Le Raisonnement Hypothético-Déductif 3
- 0.3.3. Ancrage Pratique : La Pédagogie du Scénario 3

0.4. Ressources Didactiques et Matérielles 3

- 0.4.1. Supports Pédagogiques Fondamentaux 3
- 0.4.2. Matériel d'Observation et de Terrain 4

PARTIE 1. ARCHITECTURE ET DYNAMIQUE INTERNE DU GLOBE **5**

a. Une planète en mouvement 5

b. Une structure en couches 5

c. La tectonique des plaques 5

d. L'objectif : décoder le moteur interne 5

CHAPITRE 1. STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE (MSVT 5.17) **6**

1.1. Méthodes d'investigation de l'intérieur du globe 6

- a. Le défi de l'exploration 6
- A. Les méthodes directes : une connaissance superficielle 6

FIGURE 1 : RÉF. IMG (9510-9506-1216) **8**

Forages profonds et xénolithes volcaniques : les indices directs de l'intérie 8

- B. Les méthodes indirectes : l'auscultation du globe 8

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 2 : RÉF. IMG (1212-9739-0739) **11**

Trajectoire des ondes sismiques à travers les couches de la Terre 11

- b. L'anecdote du prospecteur du Katanga 11

1.2. La Croûte Terrestre et ses variations 13

- a. Une fine pellicule essentielle 13
- A. La Croûte Continentale : le socle des continents 14

FIGURE 3 : RÉF. IMG (7667-8735-0702) **16**

Coupe schématique de la croûte continentale et de ses couches 16

- B. La Croûte Océanique : le plancher des mers 16

1.3. Le Manteau et la dynamique de convection 19

- a. L'analogie de la marmite 19
- A. Le moteur thermique de la Terre 19
- B. Les cellules de convection et la tectonique des plaques 19

1.4. Le Noyau : Centre métallique de la Terre 22

- a. Le cœur de la forge planétaire 22
- A. Une structure double : Noyau externe liquide et noyau interne solide 22

FIGURE 4 : RÉF. IMG (4961-4246-2790) **25**

Schéma simplifié de la structure du noyau terrestre et son champ magnétique 25

- B. La dynamo terrestre : Origine du champ magnétique 25

CHAPITRE 2. TECTONIQUE DES PLAQUES ET GÉODYNAMIQUE **28**

2.1. La dérive des continents et le modèle des plaques 28

- a. Une carte du monde en perpétuel mouvement 28
- A. L'hypothèse de Wegener : les preuves de la dérive 28

FIGURE 5 : RÉF. IMG (2356-2312-1657) **31**

Preuves de la dérive des continents proposées par Alfred Wegener 31

- B. Le modèle de la tectonique des plaques 31

FIGURE 6 : RÉF. IMG (7232-3898-9778) **34**

Les trois types de frontières entre les plaques tectoniques 34

- SCÉNARIOS ET EXERCICES 34

2.2. Les mouvements de divergence et le Rift Est-Africain 36

- a. La cicatrice de l'Afrique 36

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. La mécanique de la divergence....36
- B. Le Rift Est-Africain : un océan en devenir....36

FIGURE 7 : RÉF. IMG (6624-3613-6900)....39

Schéma simplifié de la formation d'un rift continental par divergence tectoni....39

- L'anecdote de Papa Matthieu, topographe à Goma....39

2.3. Les mouvements de convergence et de subduction....41

- a. L'illusion du choc frontal....41
- A. La Convergence : Trois scénarios de rencontre....41
- B. La Subduction : La plongée de la plaque dense....42

FIGURE 8 : RÉF. IMG (0027-4828-3217)....44

Coupe schématique d'une zone de subduction de type océan-continent....44

- C. La Collision : Quand deux continents se heurtent....44

2.4. Les mouvements de coulissage et les failles transformantes....46

- a. L'image de la tension accumulée....46
- A. Mécanisme des failles transformantes....47

FIGURE 9 : RÉF. IMG (5007-9530-2737)....49

Schéma d'une faille transformante dextre et senestre....49

- B. Failles transformantes continentales et océaniques....49

CHAPITRE 3. PÉTROLOGIE : LES MATÉRIAUX DE L'ÉCORCE....52

3.1. Les Minéraux : Constituants élémentaires....52

- a. L'alphabet de la Terre....52
- A. Définition d'un Minéral....52

FIGURE 10 : RÉF. IMG (7809-0078-1214)....53

Structure atomique ordonnée d'un minéral versus structure désordonnée d'un verre....53

- B. Propriétés d'Identification....53

3.2. Les Roches Magmatiques : Témoins de l'activité interne....55

- a. Le message caché des pierres....55
- A. Origine et Double Famille....56

FIGURE 11 : RÉF. IMG (3057-8072-1191)....58

Classification des roches magmatiques selon leur lieu de refroidissement....58

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. La Texture : L'Alphabet du Géologue....58

FIGURE 12 : RÉF. IMG (6239-8947-5036)....61

Comparaison des textures grenue (granite) et microlithique (basalte)....61

- Un souvenir "brillant" de Lwiro....61

3.3. Les Roches Sédimentaires : Archives de la surface....63

- a. Les archives géologiques du fleuve Congo....63
- A. La Sédimentogenèse : De la Particule au Dépôt....64
- B. La Diagenèse : La Transformation en Roche....64

FIGURE 13 : RÉF. IMG (6276-7522-1991)....66

Classification des roches sédimentaires selon leur origine et leur composition....66

- C. L'Importance des Roches Sédimentaires....66

3.4. Les Roches Métamorphiques : La transformation à l'état solide....68

- a. Une roche n'est jamais définitive....68
- A. Les moteurs de la transformation : Pression, Température et Fluides....69
- B. Les deux grands contextes métamorphiques....69

FIGURE 14 : RÉF. IMG (6842-6848-1449)....72

Diagramme Pression-Température des Faciès Métamorphiques....72

- C. La Foliation : L'écriture de la contrainte....73

PARTIE 2. SISMOLOGIE ET RISQUES NATURELS I....76

La Terre, une planète vivante....76

La mécanique des plaques tectoniques....76

Des ondes sismiques aux risques naturels....76

Le cas du Rift Est-Africain et de la RDC....76

CHAPITRE 4. FONDEMENTS DE LA SISMOLOGIE (MSVT 5.18)....77

4.1. Origine et mécanisme des séismes....77

- a. L'imperceptible tension....77
- A. L'accumulation des contraintes tectoniques....77
- B. Le mécanisme de la rupture : le rebond élastique....77
- C. Foyer (hypocentre) et épicentre....78

4.2. Localisation et répartition des séismes....80

- a. La Terre, une fausse tranquille....80

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. L'anatomie d'un séisme : hypocentre et épicentre....80
- B. La triangulation, ou comment pister un séisme....81

FIGURE 15 : RÉF. IMG (2894-4622-2352)....83

Schéma de la méthode de triangulation pour localiser un épicentre....83

- C. Une répartition géographique très inégale....83

FIGURE 16 : RÉF. IMG (6188-2092-1354)....85

Carte mondiale de la sismicité et des plaques tectoniques....85

- Anecdote : Le silence suspect du volcan Nyiragongo....85

4.3. Les ondes sismiques : Propagation et enregistrement....87

- a. Le scalpel invisible de la Terre....87
- A. Les types d'ondes et leur propagation....87

FIGURE 17 : RÉF. IMG (3781-6913-2312)....89

Propagation des ondes sismiques P (compression) et S (cisaillement)....89

- B. L'enregistrement : le sismogramme....89

FIGURE 18 : RÉF. IMG (1908-9681-8795)....92

Lecture d'un sismogramme simple et arrivée des différentes ondes sismiques....92

- C. Le matériel d'enregistrement....92

4.4. Classification des séismes....94

- a. Les tremblements et leurs origines....94
- A. Classification selon la cause....94
- B. Classification selon la profondeur du foyer....95

FIGURE 19 : RÉF. IMG (3744-6466-1844)....97

Schéma illustrant les trois types de foyers sismiques en profondeur....97

- SCÉNARIOS ET EXERCICES....98

CHAPITRE 5. MESURE ET GÉOGRAPHIE DES SÉISMES (MSVT 5.18)....100

5.1. Mesure des séismes : Magnitude (Richter) et Intensité (MSK)....100

- a. Une question de puissance et de ressenti....100
- A. La Magnitude : l'énergie objective du foyer....100
- B. L'Intensité : les effets subjectifs en surface....101

FIGURE 20 : RÉF. IMG (5379-6446-5659)....103

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Degrés de l'échelle d'intensité MSK et leurs effets observés.....103
- b. Le paradoxe du séisme ressenti.....103

5.2. Sismicité de la République Démocratique du Congo.....105
- a. Une terre de contrastes sismiques.....105
- A. Le Rift Est-Africain : Moteur de la sismicité congolaise.....105

FIGURE 21 : RÉF. IMG (4975-3857-1463).....107

Carte de la sismicité de la RDC et du Rift Albertin.....107
- B. Zones à Risque et Types de Séismes.....107

FIGURE 22 : RÉF. IMG (6406-5618-4632).....110

Mécanisme d'une faille normale dans un contexte d'extension tectonique.....110
- c. Scénarios et Exercices.....110

5.3. Le risque sismique dans la région des Grands Lacs.....112
- a. Le souvenir du séisme de Bukavu.....112
- A. Le Rift Est-Africain : une fracture continentale active.....112

FIGURE 23 : RÉF. IMG (6309-0758-9274).....114

Carte du Rift Est-Africain et des failles actives du Kivu.....114
- B. Mécanismes et aléas induits.....114

FIGURE 24 : RÉF. IMG (4308-1569-4011).....115

Schéma simplifié d'une faille normale et la formation d'un graben.....115
- b. Scénarios et Exercices.....116

CHAPITRE 6. PRÉVENTION ET GESTION DES RISQUES SISMIQUES (MSVT 5.18).....118

6.1. Conséquences des séismes.....118
- a. Une terre faussement tranquille.....118
- A. Les effets directs (ou primaires).....118

FIGURE 25 : RÉF. IMG (5914-7122-7598).....119

Phénomène de liquéfaction du sol lors d'un tremblement de terre.....119
- B. Les effets induits (ou secondaires).....119

6.2. Prévision et surveillance sismique.....121
- a. La quête de l'anticipation sismique.....121
- A. Prédiction contre Prévision : une distinction capitale.....122

- B. Les instruments de la surveillance moderne.....122

FIGURE 26 : RÉF. IMG (8895-6664-7264).....124

Schéma simplifié d'un réseau de surveillance sismique dans une zone active.....124

- Scénarios et Exercices.....124
- Une nuit de veille à l'Observatoire de Goma.....124

6.3. Prévention active : Construction parasismique et éducation des populations.....126

- a. L'anticipation comme science de survie.....126
- A. Les principes de la construction parasismique.....126

FIGURE 27 : RÉF. IMG (1563-9958-5306).....128

Schéma d'un bâtiment moderne avec ses dispositifs parasismiques visibles.....128

- B. L'éducation des populations : le premier rempart.....128

FIGURE 28 : RÉF. IMG (0859-2295-7164).....131

Infographie simple sur les gestes à adopter pendant un séisme.....131

- b. Scénarios et Exercices.....131

PARTIE 3. GÉORESSOURCES ET GÉOLOGIE ÉCONOMIQUE DE LA RDC.....134

a. Un paradoxe géologique congolais.....134

b. La diversification des matières premières.....134

c. De la roche à la ressource économique.....134

d. L'arsenal méthodologique du géologue.....134

CHAPITRE 7. RESSOURCES HYDROLOGIQUES (MSVT 5.19).....135

7.1. Le réseau hydrographique du Bassin du Congo.....135

- a. Le fleuve comme lien et comme frontière.....135
- A. Architecture générale de la cuvette centrale.....135
- B. Les axes fluviaux majeurs et leurs régimes.....135

FIGURE 29 : RÉF. IMG (3357-8268-4155).....137

Schéma simplifié du réseau hydrographique du Bassin du Congo.....137

- b. Scénarios et Exercices.....137

7.2. Les lacs et les réservoirs naturels.....139

- a. Une simple flaque d'eau ?.....139
- A. Origine géologique des cuvettes lacustres.....139

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 30 : RÉF. IMG (1290-7746-6940) **142**

Coupe schématique d'un lac tectonique du Graben Est-Africain 142

- B. Le lac comme système hydrologique 142

7.3. Les eaux souterraines et les aquifères 144

- a. L'eau que l'on ne voit pas 144
- A. Porosité et Perméabilité : Les deux clés du stockage 145
- B. Aquifères et formations associées 145

FIGURE 31 : RÉF. IMG (2476-5226-1558) **147**

Coupe schématique d'un système aquifère et des couches géologiques associées 147

- L'anecdote du forage de Bolobo 147

7.4. Enjeux de gestion et protection des ressources en eau 149

- a. L'eau, une évidence fragile 149
- A. Les pressions anthropiques et naturelles sur les ressources hydriques 149

FIGURE 32 : RÉF. IMG (7866-3060-4606) **152**

Schéma des principales sources de contamination d'une nappe phréatique 152

- B. La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) 152

FIGURE 33 : RÉF. IMG (1148-0838-1868) **154**

Diagramme simplifié des piliers de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau 154

- Scénarios et Exercices 154
- Une question de débit à Matadi 154

CHAPITRE 8. RESSOURCES ÉNERGÉTIQUES ET COMBUSTIBLES (MSVT 5.19) **157**

8.1. Le potentiel hydroélectrique 157

- a. Le paradoxe de l'eau et de l'ombre 157
- A. Les Facteurs Géographiques du Potentiel Hydroélectrique 157
- B. La Puissance Théorique et le Site d'Inga 157

FIGURE 34 : RÉF. IMG (2419-7480-5316) **160**

Schéma de principe d'un barrage hydroélectrique et de ses composantes géologi 160

- b. Anecdote : La sagesse du chef de village à Zongo 160

8.2. Les hydrocarbures : Pétrole et Gaz 162

- a. Une énergie d'origine biologique 162
- A. La genèse : de la matière organique au kérogène 163

FIGURE 35 : RÉF. IMG (4774-7482-1269)....165

Schéma de la formation des hydrocarbures en milieu sédimentaire anoxique....165

- B. Le système pétrolier : migration et piégeage....165

FIGURE 36 : RÉF. IMG (6294-1913-2157)....167

Structure d'un piège pétrolier de type anticlinal classique....167

- Le flair du géologue dans le Graben Albertine....167

8.3. Autres ressources énergétiques : Fossiles solides et énergies nouvelles....169

- a. Le paradoxe de l'énergie visible et invisible....169
- A. Les combustibles fossiles solides : Charbon et Schistes bitumineux....169

FIGURE 37 : RÉF. IMG (2365-1297-9646)....172

De la tourbière au charbon, les étapes de la carbonisation naturelle....172

- B. Les énergies nouvelles et renouvelables : Le potentiel géologique congolais....172

CHAPITRE 9. RESSOURCES MINÉRALES ET MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION (MSVT 5.19)....175

9.1. La Ceinture Cuprifère et les métaux stratégiques....175

- a. Le trésor caché de nos téléphones....175
- A. La Ceinture Cuprifère : Un arc minéral unique....175

FIGURE 38 : RÉF. IMG (2413-9031-9028)....177

Carte schématique de l'arc cuprifère du Katanga et ses villes minières....177

- B. Le Cuivre (Cu) et le Cobalt (Co) : Une association précieuse....177

FIGURE 39 : RÉF. IMG (3089-8262-7679)....180

Échantillons bruts de malachite et d'hétérogénite provenant du Lualaba....180

- C. Scénarios et Exercices....180

9.2. Les substances précieuses : Diamant et Or....182

- a. Une lueur dans le tamis....182
- A. Le Diamant, cristal du manteau terrestre....182
- B. L'Or, métal des fluides hydrothermaux....182

FIGURE 40 : RÉF. IMG (4813-0133-4580)....185

Schéma de formation des gisements d'or primaire et secondaire (alluvial)....185

- b. Le poids de la décision à Mbuji-Mayi....185

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

9.3. Les métaux technologiques : Coltan, Cassitérite, Lithium.....187
- a. Le paradoxe de la poche.....187
- A. Le Coltan : de la pegmatite au smartphone.....187
- B. La Cassitérite : l'alliée de l'étain.....187

FIGURE 41 : RÉF. IMG (1087-4647-3686).....189

Échantillon de coltan brut sur sa gangue de pegmatite quartzeuse.....189
- C. Le Lithium : l'énergie de demain.....189

FIGURE 42 : RÉF. IMG (6475-9586-7827).....190

Schéma simplifié d'un filon de pegmatite et de son gisement alluvionnaire.....190
- b. Anecdote : Le trésor de Manono.....190

9.4. Les matériaux de construction et minéraux industriels.....192
- a. Les ressources invisibles du quotidien.....192
- A. Catégories et gisements principaux en RDC.....192
- B. Le cycle du calcaire au ciment.....193

ANNEXES.....197

A.1. Échelle des Temps Géologiques.....197
- A. Principes Fondamentaux de la Chronostratigraphie.....197
- B. Hiérarchie des Unités Géochronologiques.....197
- C. Méthodes de Datation Absolue (Géochronologie).....198
- D. Structure Détaillée de l'Échelle des Temps Géologiques.....199

A.2. Lexique Géologique Illustré.....200
- A. Classification des Roches.....200
- B. Structures Tectoniques.....203

A.3. Carte Géologique Simplifiée de la RDC.....204
- A. Le Socle Précambrien (Archéen et Protérozoïque).....204
- B. Les Couvertures Sédimentaires Phanérozoïques.....206
- C. La Tectonique Cénozoïque : Le Rift Est-Africain.....206

A.4. Guide d'Identification des Minéraux Communs.....207
- A. Propriétés Physiques Fondamentales.....207
- B. Propriétés Mécaniques.....208
- C. Propriétés Diagnostiques Spécifiques.....209

A.5. Bibliographie et Webographie Sélectives.....210
- A. Ouvrages de Référence en Géologie Générale.....210

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Géologie du Congo et de l'Afrique : Publications Clés.....211
- C. Approfondissements Thématiques.....211
- D. Ressources Numériques et Bases de Données.....212

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

PRÉLIMINAIRES

0.1. Profil d'Entrée et Prérequis Académiques

0.1.1. Maîtrise des Sciences Fondamentales

L'accès à ce cursus de géologie de troisième année présuppose un corpus de connaissances solides et validées en sciences fondamentales. Une maîtrise des concepts de chimie générale et inorganique est indispensable pour l'étude de la minéralogie et de la pétrogenèse. Les principes de physique, notamment en mécanique et en thermodynamique, fournissent les clés de compréhension des processus tectoniques et magmatiques. Simultanément, des notions fondamentales de biologie sont requises pour aborder avec efficience la paléontologie et la biostratigraphie.

0.1.2. Compétences Logico-Mathématiques et Spatiales

Au-delà des savoirs disciplinaires, des aptitudes spécifiques sont attendues. La géologie est une science quadridimensionnelle (3D + temps) qui exige une excellente capacité d'abstraction et de visualisation spatiale. L'élève doit pouvoir interpréter des objets tridimensionnels (plis, failles) à partir de représentations en deux dimensions (cartes, coupes). Cette compétence s'appuie sur une maîtrise fonctionnelle des outils mathématiques, incluant la géométrie dans l'espace, la trigonométrie et l'analyse vectorielle de base.

0.1.3. Dispositions Intellectuelles et Méthodologiques

Finalement, le profil idéal intègre des dispositions intellectuelles et une méthodologie de travail rigoureuse. Le raisonnement hypothético-déductif constitue le pilier de toute investigation géologique. L'aptitude à l'observation fine, la capacité à collecter méthodiquement des données sur le terrain et à les analyser critiquement en laboratoire sont primordiales. L'élève doit également démontrer une capacité de synthèse lui permettant de relier des phénomènes observés à différentes échelles, du cristal microscopique à la dynamique des plaques lithosphériques.

0.2. Compétences Terminales et Profil de Sortie

0.2.1. Maîtrise conceptuelle et disciplinaire

L'achèvement de ce cycle d'études sanctionne une maîtrise approfondie des grands modèles théoriques de la géologie. Le finaliste articule avec précision les théories de la tectonique des plaques, les lois de la stratigraphie et les processus de la pétrogenèse (magmatique, sédimentaire, métamorphique). Cette connaissance s'étend à la contextualisation des grands ensembles géologiques congolais, du Supergroupe du Katanga riche en ressources aux formations sédimentaires du Bassin Central. La maîtrise du vocabulaire technique est un prérequis non négociable.

0.2.2. Compétences méthodologiques et analytiques

Au-delà des savoirs théoriques, le profil de sortie intègre des compétences pratiques et analytiques solides. Le finaliste est capable d'interpréter une carte géologique simple, de réaliser une coupe schématique et d'identifier macroscopiquement les principaux minéraux et roches. Crucialement, il applique le raisonnement hypothético-déductif pour analyser une situation géologique donnée et proposer des interprétations cohérentes. Il sait mobiliser ses connaissances pour résoudre des problématiques concrètes.

0.2.3. Profil de sortie : Le finaliste scientifique

Le finaliste de l'option scientifique, au terme de ce cursus, se distingue par sa rigueur intellectuelle et son esprit d'analyse critique. Il possède les prérequis académiques indispensables pour aborder avec succès un cycle d'études supérieures en sciences de la Terre (géologie, mines, géophysique, hydrogéologie). Il est également outillé pour intégrer des fonctions techniques d'assistance dans les secteurs minier, pétrolier ou du génie civil, nécessitant une compréhension fondamentale des objets et des enjeux du sous-sol national.

0.3. Approche Méthodologique et Organisation

0.3.1. Didactique Bipolaire : Observation et Conceptualisation

Chaque chapitre s'articule autour d'une progression inductive. L'entrée dans une nouvelle notion s'effectue systématiquement par un fait observable, une donnée de terrain ou un paradoxe géologique concret. Cette phase d'observation factuelle constitue le socle sur lequel se construit ensuite

l'appareil conceptuel et théorique. La démarche vise à ancrer l'abstraction scientifique dans une réalité tangible, accessible à l'élève.

0.3.2. Finalité Cognitive : Le Raisonnement Hypothético-Déductif

La structuration des contenus favorise l'acquisition du raisonnement hypothético-déductif. Après la phase d'observation, les modèles théoriques sont présentés comme des hypothèses explicatives. L'enseignant est invité à guider l'élève dans la formulation et la vérification de ces hypothèses à travers les exemples fournis. La finalité est de dépasser la mémorisation factuelle pour atteindre une véritable autonomie intellectuelle face à une problématique géologique.

0.3.3. Ancrage Pratique : La Pédagogie du Scénario

La consolidation des acquis s'opère au travers de la section systématique "Scénarios et Exercices". Ces mises en situation ne sont pas de simples applications numériques ou des répétitions mécaniques du cours. Elles ont pour fonction de mobiliser les connaissances dans des contextes plausibles et variés, préparant spécifiquement aux types d'épreuves de l'Examen d'État. Cette approche par le problème garantit le transfert des compétences théoriques vers leur application pratique.

0.4. Ressources Didactiques et Matérielles

0.4.1. Supports Pédagogiques Fondamentaux

Un enseignement rigoureux de la géologie mobilise des supports pédagogiques complémentaires. Le présent manuel constitue l'outil structurant, dont l'articulation logique guide la progression des apprentissages. Son usage est complété par des cartes géologiques et topographiques, idéalement celles du Service Géologique National du Congo (SGNC), pour contextualiser les formations étudiées. L'échelle de ces cartes doit être adaptée, allant du synclinal régional aux structures locales. L'exploitation de ressources numériques, comme les logiciels de Système d'Information Géographique (SIG) et les bases de données géologiques, est également encouragée pour la modélisation. Finalement, les échelles stratigraphiques internationales et locales demeurent indispensables à la datation relative.

0.4.2. Matériel d'Observation et de Terrain

La dimension pratique de la discipline exige un matériel spécifique et fonctionnel. La constitution d'une lithothèque, collection de référence de roches et minéraux, est un prérequis. Elle doit privilégier les spécimens locaux représentatifs : les calcaires du Kongo Central, les grès du Kwilu ou les minerais cuprifères du Katanga. Les sorties de terrain, essentielles à l'application des concepts, nécessitent un équipement de base par élève ou par groupe : un marteau de géologue, une boussole avec clinomètre, une loupe de terrain ($x\,10$) et un carnet de notes. L'usage d'un GPS est recommandé pour la géolocalisation précise des affleurements. En laboratoire, le microscope polarisant pour l'étude des lames minces permet de consolider les observations macroscopiques.

Partie 1. ARCHITECTURE ET DYNAMIQUE INTERNE DU GLOBE

a. Une planète en mouvement

Le sol semble stable. Pourtant, sous nos pieds, de Goma à Matadi, la Terre est une formidable machine thermique. Son noyau chaud génère une énergie colossale. Cette chaleur interne est le moteur principal de l'activité géologique. Elle se manifeste par des volcans, des séismes et la dérive lente mais inéluctable des continents. La planète est un système dynamique.

b. Une structure en couches

Percer la Terre jusqu'à son centre reste impossible. La science utilise des méthodes indirectes, principalement l'étude des ondes sismiques. Ces ondes révèlent une organisation précise en enveloppes concentriques. Une croûte mince flotte sur un manteau ductile. Au cœur, un noyau métallique, d'abord liquide puis solide, génère le champ magnétique protecteur. Chaque couche possède des propriétés physiques et chimiques distinctes.

c. La tectonique des plaques

La surface terrestre est fragmentée. D'immenses plaques lithosphériques rigides se déplacent les unes par rapport aux autres. Leur mouvement, de quelques centimètres par an, est la cause directe de la formation des chaînes de montagnes comme le Ruwenzori. La zone du Grand Rift Est-Africain, qui traverse l'Est de la RDC, témoigne de cette dynamique puissante et créatrice de reliefs.

d. L'objectif : décoder le moteur interne

L'analyse de cette architecture interne est fondamentale. Elle permet d'expliquer la répartition des ressources minérales du Katanga, d'anticiper les risques naturels dans la région des Grands Lacs ou de modéliser l'évolution des paysages du Kwilu. L'étude de la dynamique interne fournit les clés pour lire l'histoire et l'avenir de notre planète, depuis son noyau jusqu'à la surface.

Chapitre 1. Structure Interne de la Terre (MSVT 5.17)

1.1. Méthodes d'investigation de l'intérieur du globe

a. Le défi de l'exploration

Pendant des siècles, l'intérieur de notre planète était un mystère total, source de mythes et de légendes. Les savants imaginaient des sphères de feu, des cavités immenses ou des mondes inconnus. La connaissance directe restait impossible, car la chaleur et la pression extrêmes interdisent toute exploration humaine ou mécanique au-delà de quelques kilomètres.

Cette barrière physique a forcé la science à devenir ingénieuse. L'exploration de la Terre profonde est une enquête indirecte, où les indices sont recueillis en surface pour déduire la structure des profondeurs.

A. Les méthodes directes : une connaissance superficielle

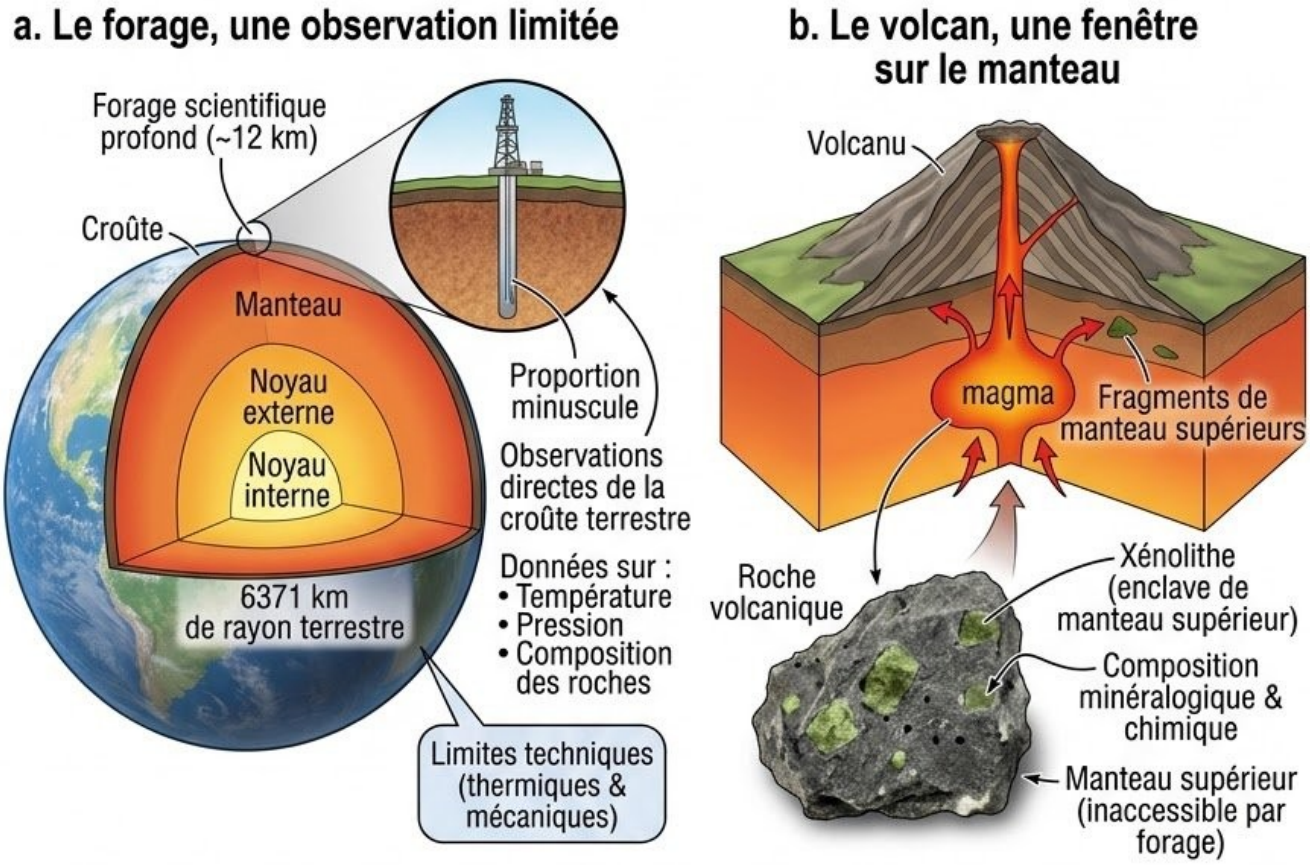
Les méthodes directes fournissent des informations tangibles, mais leur portée est extrêmement limitée. Elles sont de deux types principaux.

Le premier type est le forage. Des opérations de forage scientifiques, comme le célèbre forage de Kola en Russie, ont atteint un peu plus de 12 kilomètres de profondeur. Cette distance, bien qu'impressionnante, représente seulement 0,2 % du rayon terrestre. C'est l'équivalent d'égratigner la peau d'une orange pour deviner la composition de ses pépins.

Le second type est l'analyse des roches volcaniques. Parfois, les éruptions volcaniques transportent des fragments de roches du manteau supérieur vers la surface. Ces roches, appelées xénolithes, sont des échantillons directs des profondeurs, offrant une vision précieuse de la composition chimique du manteau situé sous la croûte.

Figure 1 : Réf. IMG (9510-9506-1216)

Forages profonds et xénolithes volcaniques : les indices directs de l'intérieur terrestre



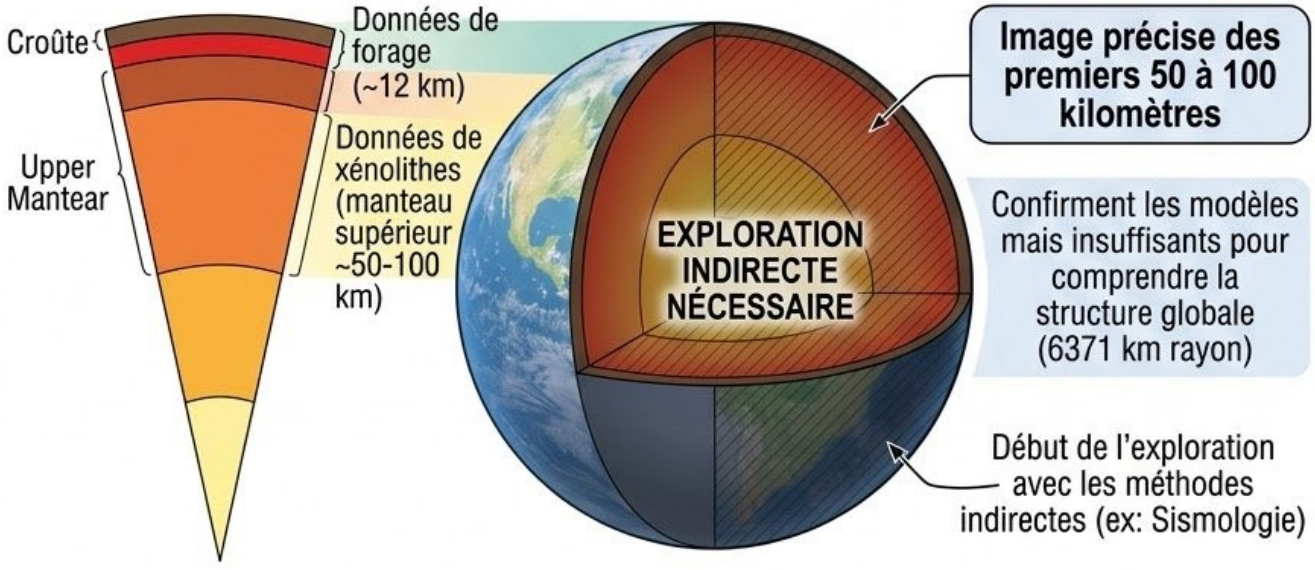


Figure 1 : Réf. IMG (9510-9506-1216)

Forages profonds et xénolithes volcaniques : les indices directs de l'intérieur terrestre

a. Le forage, une observation limitée

Ce schéma illustre la disproportion entre la profondeur d'un forage scientifique et le rayon total de la Terre. Le puits le plus profond creusé par l'homme ne traverse qu'une infime partie de la croûte terrestre. Il fournit des données précises sur la température, la pression et la composition des roches à faible profondeur, mais ne donne aucune information sur le manteau ou le noyau. L'observation directe s'arrête là où la technologie atteint ses limites thermiques et mécaniques.

b. Le volcan, une fenêtre sur le manteau

Une roche volcanique peut contenir des enclaves (xénolithes) de couleur et de texture différentes. Ces fragments sont des morceaux du manteau arrachés et transportés par le magma lors de sa remontée. Leur analyse en laboratoire permet de connaître la composition minéralogique et chimique du manteau supérieur, une zone inaccessible par forage.

c. La limite de la connaissance directe

En combinant les données des forages et des xénolithes, les géologues obtiennent une image assez précise des premiers 50 à 100 kilomètres sous nos pieds. Cependant, pour comprendre la structure globale de la Terre sur ses 6371 km de rayon, ces méthodes sont insuffisantes. Elles confirment les modèles mais ne permettent pas de les construire seuls. La véritable exploration commence avec les méthodes indirectes.

B. Les méthodes indirectes : l'auscultation du globe

L'étude de l'intérieur du globe repose principalement sur l'analyse de la propagation des ondes sismiques. Un séisme, ou une explosion contrôlée, génère des vibrations qui traversent la planète de part en part.

Ces ondes se comportent comme des rayons lumineux traversant différents milieux. Leur vitesse et leur trajectoire changent brutalement lorsqu'elles rencontrent une nouvelle couche de densité ou d'état physique différent (solide/liquide). Ces zones de changement brutal sont appelées des

discontinuités. L'analyse de ces ondes permet de cartographier l'intérieur de la Terre.

On distingue deux types d'ondes principaux : - **Les ondes P (Primaires) :** Ce sont des ondes de compression, très rapides. Elles se propagent dans les solides comme dans les liquides. - **Les ondes S (Secondaires) :** Ce sont des ondes de cisaillement, plus lentes. Elles ne se propagent que dans les solides.

L'absence d'ondes S dans certaines zones du globe après un séisme a permis de prouver que le noyau externe de la Terre est liquide.

Figure 2 : Réf. IMG (1212-9739-0739)

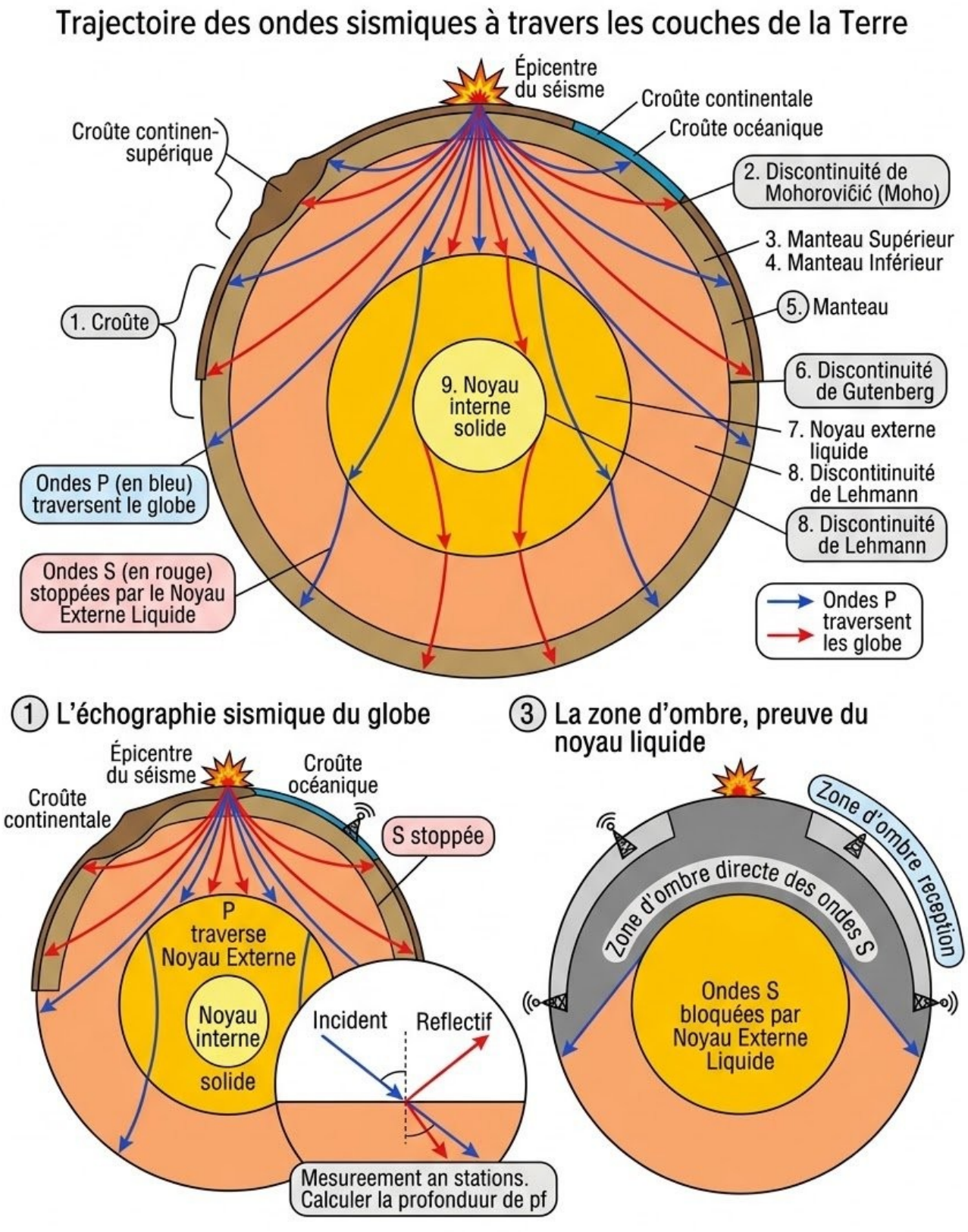


Figure 2 : Réf. IMG (1212-9739-0739)

Trajectoire des ondes sismiques à travers les couches de la Terre

a. L'échographie sismique du globe

Ce diagramme montre les trajectoires des ondes P et S générées par un tremblement de terre. Les ondes P (en bleu) traversent l'ensemble du globe, mais sont déviées (réfractées) lorsqu'elles entrent et sortent du noyau. Les ondes S (en rouge), en revanche, sont stoppées par le noyau externe liquide. Elles ne peuvent pas le traverser. Cette différence de comportement est l'indice fondamental pour cartographier les couches internes et déterminer leur état physique.

b. La discontinuité, un miroir interne

Chaque fois qu'une onde sismique frappe une frontière entre deux couches (une discontinuité), une partie de son énergie est réfléchie et l'autre est réfractée. En mesurant le temps que mettent ces ondes pour atteindre les stations sismiques réparties sur la planète, on calcule la profondeur de ces discontinuités, comme celle de Mohorovičić (entre la croûte et le manteau) ou de Gutenberg (entre le manteau et le noyau).

c. La zone d'ombre, preuve du noyau liquide

À la surface de la Terre, il existe une "zone d'ombre" où l'on ne reçoit aucune onde S directe. Cette zone est la preuve irréfutable de l'existence d'une grande masse liquide au centre de la planète qui bloque leur propagation. La taille de cette zone d'ombre permet de calculer précisément le rayon du noyau externe. C'est un exemple parfait de raisonnement hypothético-déductif : une observation en surface révèle une propriété majeure des profondeurs.

b. L'anecdote du prospecteur du Katanga

Dans les années 70, près de Kolwezi, un jeune ingénieur géologue belge travaillait avec un vieux chef d'équipe congolais, Papa Augustin, un homme qui avait passé cinquante ans de sa vie dans les mines de cuivre. Un jour, l'ingénieur expliquait avec enthousiasme les nouvelles théories sur le noyau

terrestre, parlant de fer et de nickel en fusion. Papa Augustin l'écouta poliment, puis éclata de son rire rauque.

"Mon petit, lui dit-il, tu lis trop de livres. Moi, je connais la Terre. Plus tu creuses, plus elle résiste. Elle garde ses secrets. Tu me parles de fer liquide à des milliers de kilomètres ? Moi, je te dis que même à 300 mètres sous nos pieds, la roche est déjà si chaude qu'elle pourrait faire bouillir le fleuve Congo. Votre science est maligne, mais la Terre est plus maligne encore."

L'ingénieur comprit que la connaissance des profondeurs était aussi une affaire d'humilité.

Exercice 1 : L'alerte sismique à Goma

Énoncé : Yasmine est une étudiante en géologie à l'Observatoire Volcanologique de Goma (OVG). Un matin, un séisme se produit dans la région du lac Kivu. Le sismographe de l'observatoire enregistre l'arrivée des premières ondes à 08h15min10s. Une seconde série d'ondes, plus amples, arrive à 08h15min22s. Yasmine doit identifier la nature de chaque train d'ondes.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification du premier train d'ondes** L'énoncé indique que les premières ondes arrivent à 08h15min10s. Les ondes sismiques les plus rapides sont toujours les ondes P (Primaires). Elles sont les premières à être détectées par un sismographe après un séisme.
2. **Étape 2 : Identification du second train d'ondes** Le second train d'ondes arrive 12 secondes plus tard, à 08h15min22s. Ces ondes, plus lentes, sont les ondes S (Secondaires). Leur arrivée tardive par rapport aux ondes P est une caractéristique constante.
3. **Étape 3 : Conclusion** Le premier enregistrement correspond aux ondes P. Le second enregistrement correspond aux ondes S. Le décalage temporel entre leur arrivée (ici, 12 secondes) est une information cruciale qui permet aux sismologues de calculer la distance de l'observatoire à l'épicentre du séisme.

Exercice 2 : Le projet de forage à Moanda

Énoncé : Un ingénieur, Monsieur Kabasele, supervise un projet d'exploration pétrolière offshore au large de Moanda (Kongo Central). Pour cartographier le sous-sol, son équipe provoque une petite explosion contrôlée à la surface de

l'eau. Une onde P est envoyée vers le fond. L'écho, réfléchi par la discontinuité de Moho (la base de la croûte terrestre), revient au capteur après 10 secondes. Sachant que la vitesse moyenne des ondes P dans la croûte est de 6 km/s, estimez la profondeur de la croûte océanique à cet endroit.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Calcul de la distance totale parcourue par l'onde** L'onde fait un aller-retour : elle descend jusqu'au Moho, puis remonte. Le temps total est de 10 secondes. La distance totale (d_{total}) est calculée avec la formule $d = v \times t$. $d_{total} = 6\,\text{km/s} \times 10\,\text{s} = 60\,\text{km}$.

2. **Étape 2 : Déduction de la profondeur** La distance totale de 60 km correspond à l'aller-retour. La profondeur (P) est donc la moitié de cette distance.

$$P = \frac{d_{total}}{2}$$

$$P = \frac{60\,\text{km}}{2} = 30\,\text{km}$$

3. **Étape 3 : Conclusion** D'après ce calcul, la profondeur de la discontinuité de Moho, et donc l'épaisseur de la croûte terrestre à cet endroit au large de Moanda, est estimée à 30 kilomètres.

1.2. La Croûte Terrestre et ses variations

a. Une fine pellicule essentielle

Même si elle représente moins de 1% du volume total de la Terre, la croûte terrestre est la seule couche que l'humanité a pu directement observer et forer. C'est notre unique point de contact avec les profondeurs, une fine pellicule solide sur laquelle se déroulent tous les phénomènes géologiques de surface, de l'agriculture dans la plaine de la Ruzizi à l'exploitation minière.

Cette "peau" de la planète n'est pourtant pas uniforme. Son épaisseur et sa composition chimique varient radicalement, que l'on se trouve sous les forêts denses de la Tshopo ou au large des côtes de Moanda. Comprendre ces différences est fondamental pour la géologie.

A. La Croûte Continentale : le socle des continents

La croûte continentale forme la base des terres émergées et des plateaux continentaux peu profonds. Son trait distinctif est sa composition majoritairement granitique. Ces roches sont riches en silicium et en aluminium, d'où le nom de "SiAl". Sa densité moyenne est relativement faible, environ 2,7 g/cm³.

Son épaisseur est considérable et très variable. Elle mesure en moyenne 35 kilomètres, mais peut dépasser 70 kilomètres sous les grandes chaînes de montagnes comme l'Himalaya. À l'inverse, elle s'amincit dans les zones de rifting. Les roches de la croûte continentale sont très anciennes. Des parties, comme le craton du Kasaï, sont constituées de roches datant de plusieurs milliards d'années.

Figure 3 : Réf. IMG (7667-8735-0702)

Comparaison de la croûte océanique et de la croûte continentale

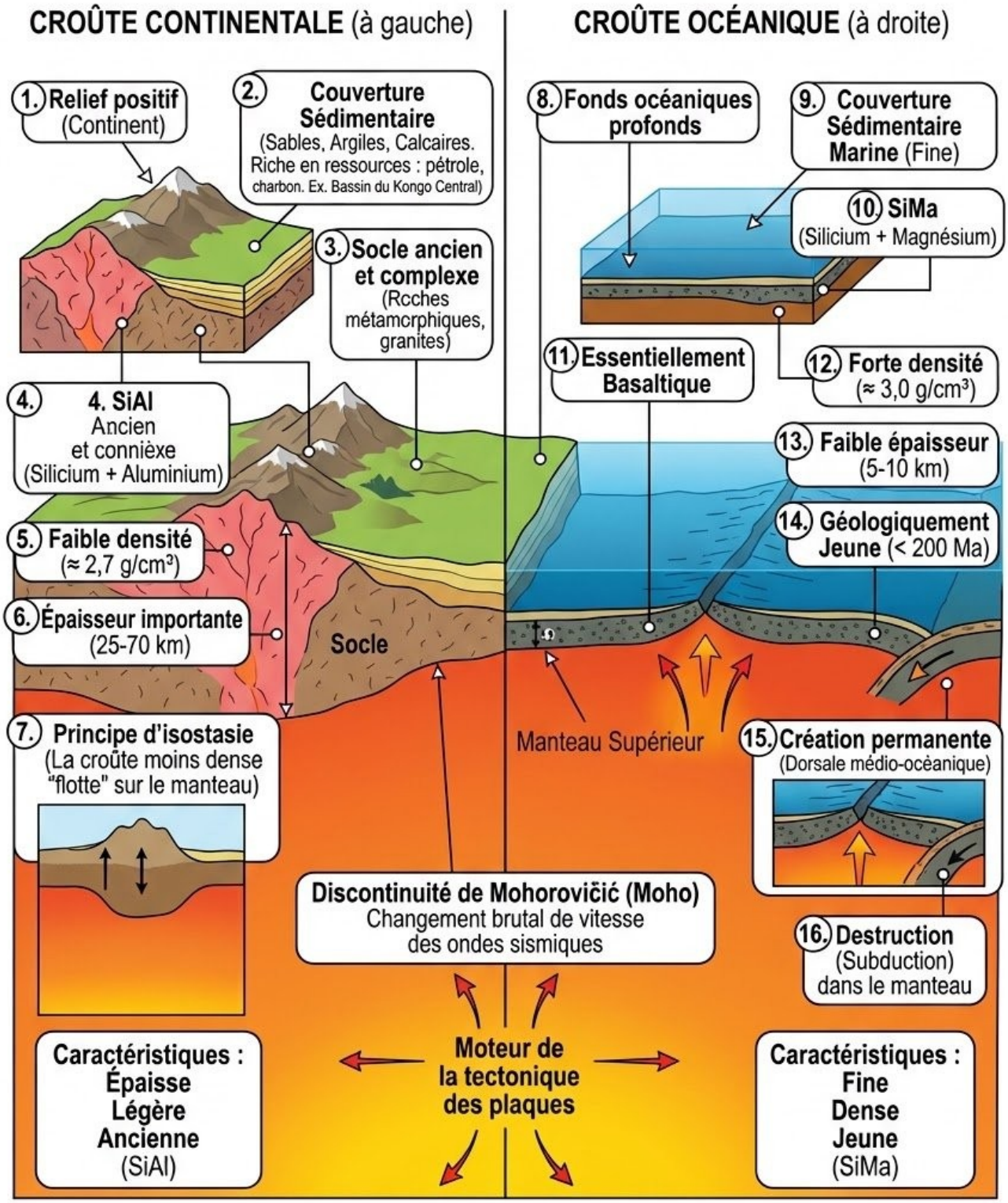


Figure 3 : Réf. IMG (7667-8735-0702)

Coupe schématique de la croûte continentale et de ses couches

a. Un socle ancien et complexe

Cette illustration montre une coupe de la croûte continentale. La base est formée par un socle cristallin, principalement composé de roches métamorphiques et de granites. C'est le cœur ancien et rigide des continents, témoin de l'histoire géologique de la Terre. Ces roches sont souvent déformées par des cycles orogéniques (formations de montagnes) passés.

b. Une couverture sédimentaire révélatrice

Au-dessus du socle repose une couverture sédimentaire. Elle est formée par l'accumulation de sédiments (sables, argiles, calcaires) au fil du temps. C'est dans cette couche, bien visible dans le bassin du Kongo Central, que l'on retrouve les fossiles et la plupart des ressources comme le pétrole ou le charbon.

c. Le principe d'isostasie

La croûte continentale, moins dense que le manteau sous-jacent, "flotte" sur celui-ci. Son épaisseur importante lui permet de s'élever plus haut que la croûte océanique, formant ainsi les continents. C'est le principe de l'isostasie.

B. La Croûte Océanique : le plancher des mers

Radicalement différente, la croûte océanique tapisse le fond de tous les océans. Sa composition est essentiellement basaltique. Les basaltes sont des roches volcaniques sombres, riches en silicium et en magnésium. On la qualifie donc de "SiMa". Sa densité, autour de 3,0 g/cm³, est supérieure à celle de la croûte continentale.

Cette croûte est remarquablement fine, avec une épaisseur quasi constante de 5 à 10 kilomètres. Autre différence majeure : elle est géologiquement jeune. Elle est créée en permanence au niveau des dorsales médio-océaniques et est détruite dans les zones de subduction. Aucune croûte océanique n'a plus de 200 millions d'années.

[IMAGE: Comparaison de la croûte océanique et de la croûte continentale]

a. Le contraste fondamental

Ce schéma met en évidence la différence d'altitude et d'épaisseur entre les deux types de croûte. La croûte continentale (à gauche) est épaisse et légère, formant un relief positif (le continent). La croûte océanique (à droite) est fine et dense, formant les bassins océaniques profonds.

b. La discontinuité de Mohorovičić (Moho)

La base des deux croûtes est marquée par une frontière nette avec le manteau supérieur. Cette limite, détectée par un changement brutal de la vitesse des ondes sismiques, est appelée la discontinuité de Mohorovičić, ou plus simplement, le Moho.

c. Dynamique et renouvellement

La croûte océanique est le moteur de la tectonique des plaques. Sa densité élevée explique pourquoi, lors d'une collision avec une plaque continentale, elle plonge systématiquement dans le manteau (subduction). Ce processus est responsable de la plupart des volcans et des séismes dans le monde.

Le paradoxe du Moho

En 1909, le sismologue croate Andrija Mohorovičić étudiait les données d'un tremblement de terre. Il remarqua une anomalie curieuse : les ondes sismiques arrivaient à des stations d'écoute éloignées plus rapidement que prévu. Elles semblaient avoir pris un "raccourci". Plutôt que de voyager lentement dans la croûte, elles avaient plongé vers une couche plus profonde et plus dense où elles accéléraient, avant de remonter. Il venait de découvrir, sans jamais creuser un seul mètre, la frontière entre la croûte et le manteau. Cette discontinuité porte aujourd'hui son nom, le "Moho". Son travail démontre comment la géophysique permet de "voir" l'invisible et de cartographier la structure interne de la Terre, simplement en écoutant ses vibrations.

Exercice 1 : Le trésor du Kwilu

Énoncé : Maman Fatou cultive son champ de manioc près de Kikwit, dans la province du Kwilu. Un jour, en creusant, sa houe heurte une roche très dure, noire et étonnamment lourde pour sa taille. Elle est très différente du sol argileux et des quelques pierres de grès qu'elle a l'habitude de voir. Son neveu, étudiant en géologie à l'UNIKIN, lui dit que cette roche ressemble à du basalte. Est-ce cohérent avec la nature de la croûte continentale ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier le contexte géologique** Le champ se situe dans la province du Kwilu, donc sur la croûte continentale. La croûte