Code :
MS236710
(25px)

1ère année

Métier et Formation

Introduction aux principes fondamentaux du métier et de la formation en maçonnerie.

Domaine : Formation Professionnelle | **Option :** Maçonnerie

3cm



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

1. Préface de l'Inspecteur Général de l'EPST 1
   - 1.1. L'impératif stratégique de la formation pétrochimique 1
   - 1.2. L'exigence d'une pédagogie appliquée 1
   - 1.3. La finalité : former des techniciens opérationnels 1

2. Note aux enseignants et élèves 2
   - 2.1. Une approche systémique et industrielle 2
   - 2.2. La primauté du raisonnement procédural 2
   - 2.3. L'évaluation orientée vers la compétence 2

3. Comment utiliser ce manuel 2
   - 3.1. La Bipolarité Pédagogique 3
   - 3.2. L'Articulation Théorie-Pratique 3

PARTIE I. LES FONDAMENTAUX : DE LA GÉOLOGIE AU GISEMENT **4**

a. Un héritage de plusieurs millions d'années 4

b. Le long voyage des hydrocarbures 4

c. La formation du piège géologique 4

d. De l'indice à la découverte du gisement 4

CHAPITRE 1. NATURE ET ORIGINE DES HYDROCARBURES **5**

Leçon 1. La chimie du carbone : classification des hydrocarbures 5
   - a. Le double visage du pétrole 5
   - A. Les Hydrocarbures Aliphatiques (chaînes ouvertes) 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (8285-0027-5873) **8**

Structures de liaison carbone-carbone dans les hydrocarbures aliphatiques 8
   - B. Les Hydrocarbures Aromatiques (cycles) 8

Leçon 2. La genèse du pétrole et du gaz naturel : théorie organique 10
   - a. Une cuisine géologique de millions d'années 10
   - A. L'accumulation de la matière organique 10
   - B. La transformation en kérogène (Diagenèse) 10

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 2 : RÉF. IMG (9578-8054-4843) **13**

Schéma de l'enfouissement de la matière organique formant le kérogène 13

- C. Le craquage en hydrocarbures (Catagenèse et Métagenèse) 13

FIGURE 3 : RÉF. IMG (4498-7338-4550) **16**

Diagramme de la fenêtre à huile et à gaz selon la profondeur 16

- Bloc A - Anecdote 16

Leçon 3. Le système pétrolier : roche-mère, réservoir, piège et couverture 18

- a. Le système, un quatuor indispensable 18
- A. La Roche-Mère : La Cuisine du Pétrole 18
- B. Le Réservoir et la Migration : L'Éponge et le Voyage 19

FIGURE 4 : RÉF. IMG (4453-4613-9411) **20**

Schéma simplifié de la roche-mère cuisant le kérogène en hydrocarbures 20

- C. Le Piège et la Couverture : La Boîte et le Couvercle 20

FIGURE 5 : RÉF. IMG (1836-6643-1513) **23**

Les principaux types de pièges pétroliers : anticlinal et par faille 23

- D. Scénarios et Exercices 23

Leçon 4. Panorama des ressources en RDC : bassin côtier du Kongo Central et G 25

- a. Un potentiel sous nos pieds 25
- A. Le Bassin Côtier du Kongo Central : La porte Atlantique 26
- B. Le Graben Albertin : Le géant endormi de l'Est 26

FIGURE 6 : RÉF. IMG (8520-2478-0860) **28**

Carte schématique des deux principaux bassins sédimentaires pétroliers de la 28

- Anecdote : Le voyage de John, de la Gécamines à Muanda 28

CHAPITRE 2. COMPOSITION ET CARACTÉRISATION DU PÉTROLE BRUT **31**

Leçon 1. Les grandes familles d'hydrocarbures : paraffines, naphtènes, aromat 31

- a. Une question de famille 31
- A. Les Paraffines (ou Alcanes) : la chaîne droite 31
- B. Les Naphtènes (ou Cycloalcanes) : l'anneau stable 31
- C. Les Aromatiques : l'anneau spécial et odorant 32

Leçon 2. Les hétéroatomes : composés soufrés, azotés et oxygénés 34

- a. Les passagers clandestins du pétrole brut 34

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Les composés soufrés (S) : l'ennemi numéro un.....34

FIGURE 7 : RÉF. IMG (8498-0428-5489).....36

Structures moléculaires des principaux composés soufrés trouvés dans le pétro.....36

- B. Les composés azotés (N) : les poisons de catalyseurs.....36
- C. Les composés oxygénés (O) : les agents de l'acidité.....37

FIGURE 8 : RÉF. IMG (3340-9858-7708).....39

Formes des composés azotés et leur impact sur les catalyseurs de raffinage.....39

- Une anecdote de maintenance à la raffinerie de Muanda.....39

Leçon 3. La classification des bruts : densité API et teneur en soufre.....41

- a. Le paradoxe de la valeur.....41
- A. La Densité API : une question de légèreté.....42

FIGURE 9 : RÉF. IMG (1986-9822-1876).....44

Comparaison visuelle des bruts selon leur densité API et leur couleur.....44

- B. La Teneur en Soufre : le critère de la "douceur".....44

FIGURE 10 : RÉF. IMG (8981-6961-0153).....47

Impact du soufre sur les équipements de raffinage et l'environnement.....47

- Anecdote : Le casse-tête du brut du Kasaï.....47

Leçon 4. Analyse et courbe de distillation TBP (True Boiling Point).....49

- a. L'erreur du débutant.....49
- A. Le principe de la distillation TBP.....49
- B. La courbe TBP : La carte d'identité du brut.....49

FIGURE 11 : RÉF. IMG (1512-7230-3804).....52

Courbe de distillation TBP typique d'un pétrole brut léger.....52

- Scénarios et Exercices.....52

CHAPITRE 3. LE GAZ NATUREL ET LES GAZ DE PÉTROLE LIQUÉFIÉS (GPL).....55

Leçon 1. Composition du gaz naturel : méthane, éthane, propane, butane.....55

- a. Du marécage au réservoir.....55
- A. La famille des alcanes : l'épine dorsale du gaz.....55
- B. Méthane, éthane, propane, butane : le quatuor énergétique.....55

FIGURE 12 : RÉF. IMG (6416-6382-0702).....57

Structures moléculaires des quatre premiers alcanes composant le gaz naturel.....57
- Le paradoxe du gaz du Lac Kivu.....58

Leçon 2. Les impuretés du gaz naturel : H2S, CO2, eau et mercaptans.....60
- a. Une simple odeur, une grande leçon.....60
- A. Le gaz "brut" contre le gaz "commercial".....60
- B. Profil des quatre principaux contaminants.....60

FIGURE 13 : RÉF. IMG (5898-7626-2285).....63

Corrosion acide d'une conduite de gaz par le H2S et le CO2.....63

FIGURE 14 : RÉF. IMG (9426-4650-6206).....65

Obstruction d'une canalisation par des hydrates de méthane en hiver.....65
- Scénarios et Exercices.....65
- Une urgence à la station de dégazage de Tshiende (Kasaï).....65

Leçon 3. Gaz associé, non-associé et gaz à condensats.....67
- a. Une question de cohabitation souterraine.....67
- A. Le gaz associé : le compagnon du pétrole brut.....68
- B. Le gaz non-associé : l'indépendant.....68

FIGURE 15 : RÉF. IMG (3147-0577-2261).....70

Schéma comparatif d'un gisement à gaz associé et non-associé.....70
- C. Le gaz à condensats : le mélange riche.....70

FIGURE 16 : RÉF. IMG (0096-6046-6170).....73

Phénomène de condensation à la sortie du puits de production.....73
- a. L'anecdote du technicien de Moanda.....73

Leçon 4. Production et propriétés des GPL : propane et butane commerciaux.....75
- a. L'énergie domestique issue de la raffinerie.....75
- A. De la raffinerie à la bonbonne : le parcours des GPL.....75
- B. Propane vs. Butane : deux cousins aux caractères différents.....76

FIGURE 17 : RÉF. IMG (0596-2268-4165).....77

Comparaison schématique des molécules de propane et de butane commerciaux.....77
- Cas pratique : la panne de gaz à Lubumbashi.....77

PARTIE II. LE TRAITEMENT PRIMAIRE : DE L'EXTRACTION À LA DISTILLATION.....80

a. L'or noir à l'état brut....80
b. Le grand nettoyage : dessalage et stabilisation....80
c. La séparation des phases : gaz et liquide....80
d. Le tri sélectif par la chaleur : la distillation....80

CHAPITRE 4. EXPLORATION, FORAGE ET PRODUCTION....81

Leçon 1. Les méthodes d'exploration : sismique réflexion et gravimétrie....81
- a. L'art de voir sans creuser....81
- A. La sismique réflexion : l'échographie de la Terre....81

FIGURE 18 : RÉF. IMG (2247-3931-4529)....83

Principe de la sismique réflexion et de la gravimétrie....83
- B. La gravimétrie : peser les roches à distance....83

Leçon 2. Principes du forage rotatif et fluides de forage....85
- a. Le cœur de l'exploration....85
- A. Le principe du forage rotatif....86
- B. Le rôle vital des fluides de forage....86

FIGURE 19 : RÉF. IMG (3363-6907-2729)....88

Schéma simplifié d'une installation de forage rotatif et ses composants princ....88
- C. Scénarios et Exercices....88

Leçon 3. La complétion d'un puits de pétrole ou de gaz....90
- a. D'un simple trou à une source de richesse....90
- A. La sécurisation du puits : Tubage et Cimentation....90
- B. La connexion au réservoir et les équipements de surface....90

FIGURE 20 : RÉF. IMG (2959-9179-6233)....93

Schéma simplifié d'une tête de puits et de son arbre de Noël....93
- L'anecdote de l'ingénieur de Perenco....93

Leçon 4. Les techniques de récupération primaire, secondaire et assistée....95
- a. La pression naturelle, un cadeau éphémère....95
- A. La Récupération Primaire : La Force du Gisement....95
- B. La Récupération Secondaire : L'Injection d'Eau ou de Gaz....95

FIGURE 21 : RÉF. IMG (5383-3133-7514)....98

Schéma simplifié des trois phases de récupération du pétrole brut....98

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- C. La Récupération Assistée du Pétrole (EOR) : La Haute Technologie.....98

CHAPITRE 5. TRANSPORT ET STOCKAGE DES FLUIDES.....101

Leçon 1. Le transport par pipeline (oléoducs et gazoducs).....101
- a. De l'antiquité à l'artère souterraine.....101
- A. Définition et principe de fonctionnement.....101
- B. Oléoducs versus Gazoducs : Deux logiques distinctes.....101

FIGURE 22 : RÉF. IMG (0444-5779-8079).....103

Schéma simplifié d'une station de pompage pour oléoduc.....103
- Scénarios et Exercices.....103
- Une anecdote : La Pression Fantôme de l'Oléoduc de Moanda.....103

Leçon 2. Le transport maritime : pétroliers et méthaniers (GNL).....105
- a. L'héritage des amphores.....105
- A. Le pétrolier : le géant des mers.....105

FIGURE 23 : RÉF. IMG (9381-3255-5737).....108

Schéma technique d'un pétrolier à double coque et ses compartiments.....108
- B. Le méthanier (GNL) : la cryogénie flottante.....108

FIGURE 24 : RÉF. IMG (6848-2026-1717).....110

Coupe transversale d'un méthanier et ses cuves cryogéniques sphériques.....110
- Anecdote pratique : La logistique du brut de Muanda.....110

Leçon 3. Le stockage atmosphérique : les parcs de bacs.....112
- a. Des citernes géantes sous le ciel du Kongo Central.....112
- A. Typologie des bacs de stockage atmosphérique.....112

FIGURE 25 : RÉF. IMG (4754-5849-3209).....114

Anatomie détaillée d'un bac de stockage à toit flottant.....114
- B. Organisation d'un parc de bacs.....114

Leçon 4. Comptage et unités de mesure : baril, pied cube, tonne.....116
- a. L'origine du baril bleu.....116
- A. Le comptage des liquides : Baril et Tonne.....117

FIGURE 26 : RÉF. IMG (8150-3770-5366).....119

Visualisation comparative du baril de pétrole et de la tonne métrique.....119

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Le comptage du gaz naturel : Le Pied Cube Standard (scf).....119

FIGURE 27 : RÉF. IMG (1653-5419-4209).....121

Le principe du pied cube standard (scf) pour le gaz naturel.....121
- a. Anecdote du technicien de PERENCO.....121

CHAPITRE 6. LA DISTILLATION ATMOSPHÉRIQUE.....124

Leçon 1. Principe physique de la distillation fractionnée.....124
- a. Une simple histoire de température.....124
- A. La Volatilité des Hydrocarbures.....124
- B. La Colonne de Fractionnement.....124

FIGURE 28 : RÉF. IMG (4217-1573-9900).....127

Schéma simplifié d'une colonne de distillation et ses plateaux.....127
- Scénarios et Exercices.....127

Leçon 2. Schéma et fonctionnement d'une colonne de topping.....129
- a. Une tour, plusieurs trésors.....129
- A. Principe de fonctionnement : Le gradient de température.....129
- B. Les plateaux de fractionnement : Les étages du tri.....130
- C. Les produits soutirés (les coupes).....130

Leçon 3. Les coupes primaires : gaz, essence, kérosène, gasoils, résidu atmos.....132
- a. Le pétrole brut, une soupe complexe.....132
- A. La hiérarchie des points d'ébullition.....132

FIGURE 29 : RÉF. IMG (8685-6607-4850).....134

Schéma simplifié d'une colonne de distillation atmosphérique et ses plateaux.....134
- B. Usages concrets des coupes primaires.....134

Leçon 4. Bilan matière et thermique simplifié d'une unité de distillation.....136
- a. L'accroche : une question de conservation.....136
- A. Le Bilan Matière : La comptabilité des molécules.....136

FIGURE 30 : RÉF. IMG (9707-0643-0954).....139

Schéma simplifié du bilan matière d'une colonne de distillation.....139
- B. Le Bilan Thermique : La gestion de l'énergie.....139

FIGURE 31 : RÉF. IMG (4127-7036-2812).....142

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Flux thermiques dans une unité de distillation atmosphérique.....142
- L'anecdote de l'ingénieur de Muanda.....142

PARTIE III. LA VALORISATION : DE LA CONVERSION À LA PÉTROCHIMIE.....145

a. Le défi post-distillation.....145

b. La conversion : l'art de transformer la molécule.....145

c. La pétrochimie : construire à partir des fondations.....145

d. L'impact concret : du brut aux objets du quotidien.....145

CHAPITRE 7. TRAITEMENT DES COUPES LOURDES ET CONVERSION.....146

Leçon 1. La distillation sous vide du résidu atmosphérique.....146
- a. L'art de faire bouillir sans brûler.....146
- A. Le principe physique derrière le vide.....146

FIGURE 32 : RÉF. IMG (9258-7597-2109).....148

Schéma simplifié d'une colonne de distillation sous vide en raffinerie.....148
- B. Équipements spécifiques et contraintes.....148

FIGURE 33 : RÉF. IMG (4865-3382-7171).....150

Fonctionnement d'un éjecteur à vapeur pour créer le vide.....150
- Anecdote de la raffinerie de Moanda.....150
- Scénarios et Exercices.....151

Leçon 2. Le craquage catalytique en lit fluidisé (FCC).....152
- a. Le principe de la découpe moléculaire.....152
- A. Objectif et Mécanisme du FCC.....152
- B. Le cycle infernal : Riser et Régénérateur.....153

Leçon 3. L'hydrocraquage pour la production de distillats moyens.....155
- a. L'art de valoriser le lourd.....155
- A. Le Principe : Casser et Saturer.....155
- B. Les Conditions Opératoires : Un Trio Stratégique.....156

Leçon 4. La viscoréduction et le craquage thermique (coking).....158
- a. L'enjeu des résidus lourds.....158
- A. La viscoréduction : Casser en douceur pour fluidifier.....158

FIGURE 34 : RÉF. IMG (8993-3513-5490).....160

Schéma simplifié d'une unité de viscoréduction (visbreaker).....160

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Le coking : La conversion poussée à l'extrême.....160

CHAPITRE 8. AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DES ESSENCES.....163

Leçon 1. Le reformage catalytique et l'indice d'octane.....163
- a. Le carburant qui "cogne".....163
- A. L'indice d'octane : La carte d'identité de l'essence.....163
- B. Le reformage catalytique : La chirurgie des molécules.....163

FIGURE 35 : RÉF. IMG (4964-6607-9440).....166

Transformation d'un hydrocarbure linéaire en composé aromatique par reformage.....166
- b. Scénarios et Exercices.....166

Leçon 2. L'isomérisation des paraffines légères.....168
- a. Le paradoxe des molécules jumelles.....168
- A. Le principe de la réorganisation moléculaire.....168

FIGURE 36 : RÉF. IMG (6297-8768-3842).....170

Comparaison structurale entre le n-pentane et ses isomères plus performants.....170
- B. Conditions opératoires et catalyseurs.....170

FIGURE 37 : RÉF. IMG (9879-4716-4550).....172

Schéma simplifié d'une unité d'isomérisation industrielle au Kongo Central.....172
- a. Anecdote : La panne sèche du technicien de Muanda.....172

Leçon 3. L'alkylation : combiner oléfines et isoparaffines.....174
- a. Le carburant haute performance, un produit de construction chimique.....174
- A. Le principe de la réaction d'alkylation.....174
- B. Catalyseurs et conditions opératoires.....175

FIGURE 38 : RÉF. IMG (5028-3022-6259).....177

Schéma simplifié du processus d'alkylation dans une unité de raffinage.....177
- a. Anecdote : Le secret du moteur qui ne "tousse" pas.....177

Leçon 4. La formulation des carburants : additivation.....179
- a. Le carburant pur, un mythe ?.....179
- A. La définition et le rôle d'un additif.....179
- B. Les principales familles d'additifs.....180

FIGURE 39 : RÉF. IMG (2650-7531-5721).....182

Action d'un additif détergent dans un injecteur de moteur....182
- b. Scénarios et Exercices....182

CHAPITRE 9. ÉPURATION DES COUPES PÉTROLIÈRES....185

Leçon 1. Le prétraitement du brut : dessalage et déshydratation....185
- a. La nécessité de "laver" le pétrole....185
- A. Principe de la déshydratation et du dessalage....185

FIGURE 40 : RÉF. IMG (7831-4197-2626)....186

Schéma de principe d'un dessaleur-déshydrateur électrostatique en raffinerie....186
- B. Le dessaleur électrostatique : cœur du processus....186

FIGURE 41 : RÉF. IMG (6063-6523-4391)....189

Action du champ électrique sur les gouttelettes d'eau dans le pétrole....189
- b. Scénarios et Exercices....189

Leçon 2. L'hydrodésulfuration (HDS) des carburants....191
- a. Une obligation technique et environnementale....191
- A. Principe chimique : une réaction catalytique sous pression....191
- B. Le réacteur HDS : le cœur du processus....192

FIGURE 42 : RÉF. IMG (9742-7853-7284)....194

Schéma simplifié d'une unité d'hydrodésulfuration (HDS) dans une raffinerie....194
- Anecdote : Le gazole de la SNCC....194

Leçon 3. Le traitement des gaz acides : lavage aux amines....196
- a. De l'alchimie à la pétrochimie....196
- A. Principe chimique du lavage aux amines....196
- B. Le procédé industriel en deux temps....197

FIGURE 43 : RÉF. IMG (8245-8768-8998)....199

Schéma simplifié d'une unité de traitement des gaz aux amines....199
- Scénarios et Exercices....199
- Une alarme à la raffinerie de Muanda....199

Leçon 4. Adoucissement des coupes : le traitement des mercaptans (MEROX)....201
- a. L'odeur du soufre, une histoire ancienne....201
- A. Le principe du procédé MEROX....201

FIGURE 44 : RÉF. IMG (6631-9755-5480)....204

Schéma simplifié du processus d'oxydation dans une unité MEROX.....204
- B. Les deux variantes du procédé.....204

FIGURE 45 : RÉF. IMG (9403-1230-6876).....207

Comparaison schématique entre l'extraction MEROX et l'adoucissement MEROX.....207
- Anecdote : La panne du groupe électrogène à la ferme de Bumba.....207

CHAPITRE 10. INTRODUCTION AUX GRANDS INTERMÉDIAIRES PÉTROCHIMIQUES.....210

Leçon 1. Le vapocraquage : production d'éthylène et de propylène.....210
- a. Le principe de la "destruction créatrice".....210
- A. Le mécanisme du craquage à la vapeur.....210
- B. Le vapocraqueur : anatomie et fonctionnement.....210

FIGURE 46 : RÉF. IMG (9807-3989-9164).....213

Schéma simplifié d'une unité de vapocraquage et ses produits clés.....213
- Scénarios et Exercices.....213

Leçon 2. La production des aromatiques (BTX) par reformage et extraction.....215
- a. L'essence de la valeur.....215
- A. Le Reformage Catalytique : La Genèse des Aromatiques.....215
- B. L'Extraction Liquide-Liquide : Isoler le Trésor.....216

Leçon 3. Le gaz de synthèse (H2 + CO) : voie du méthanol et des procédés Fisc.....218
- a. L'alchimie du gaz.....218
- A. Le gaz de synthèse (syngas) : le pivot de la conversion.....219

FIGURE 47 : RÉF. IMG (0236-2823-6658).....221

Schéma simplifié de la production de gaz de synthèse par vaporeformage.....221
- B. Les deux grandes voies de valorisation.....221

FIGURE 48 : RÉF. IMG (3428-7517-0829).....224

Les deux voies de valorisation du gaz de synthèse (syngas).....224
- C. Scénarios et Exercices.....224

Leçon 4. Des intermédiaires aux polymères : polyéthylène, PVC, polystyrène.....226
- a. De l'infiniment petit au solide familier.....226
- A. Le Polyéthylène (PE), le plastique universel.....226

FIGURE 49 : RÉF. IMG (3642-5944-4167).....228

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Réaction de polymérisation de l'éthylène en polyéthylène (PE)....228
- B. Le Polychlorure de Vinyle (PVC), le rigide résistant....228
- C. Le Polystyrène (PS), le roi du jetable et de l'isolant....229

FIGURE 50 : RÉF. IMG (5030-6003-4969)....231

Les deux visages du polystyrène : cristal et expansé....231
- b. Anecdote : La commande de Papa Kanku à Lubumbashi....231

ANNEXES....234

A. Lexique technique multilingue (Français, Anglais, Lingala, Swahili)....234
- A. Exploration et Production (Upstream)....234
- B. Transport et Raffinage (Midstream & Downstream)....235
- C. Chimie et Produits Pétrochimiques....236

B. Tableaux de conversion des unités (API, Pression, Température)....237
- A. Densité et Degré API....237
- B. Unités de Pression....238
- C. Unités de Température....239

C. Schéma fonctionnel simplifié d'une raffinerie type....241
- A. Phase 1 : Prétraitement du pétrole brut....241
- B. Phase 2 : Fractionnement (Séparation)....242
- C. Phase 3 : Conversion (Amélioration)....243
- D. Phase 4 : Traitement (Finition)....244
- E. Phase 5 : Mélange (Blending) et Expédition....244

D. Principales constantes physiques des hydrocarbures....245
- A. Masse Molaire et Propriétés de Densité....245
- B. Températures de Changement d'État....246
- C. Volatilité, Pression de Vapeur et Viscosité....246
- D. Propriétés Thermiques et de Combustion....247
- E. Indices de Qualité pour Carburants....247

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

PRÉLIMINAIRES

1. Préface de l'Inspecteur Général de l'EPST

1.1. L'impératif stratégique de la formation pétrochimique

L'enseignement de la pétrochimie, dès le cycle terminal des humanités techniques, n'est pas un choix anodin. Il constitue une réponse directe aux impératifs de développement et de souveraineté économique de la République Démocratique du Congo. Former des spécialistes dans ce secteur d'avenir, c'est poser les fondations de la valorisation future de nos ressources nationales, notamment celles du Graben Albertine et de la Cuvette Centrale. Ce manuel est un instrument au service de cette vision.

1.2. L'exigence d'une pédagogie appliquée

Cet ouvrage invite le pédagogue à transcender la simple transmission de connaissances théoriques. La pétrochimie est une science du concret, du procédé et de la transformation de la matière. Il s'agit de faire du laboratoire et de l'étude de cas un prolongement naturel de la salle de classe. L'enseignant devient un guide qui articule la chimie organique fondamentale avec les applications industrielles, préparant ainsi l'élève aux réalités techniques qu'il rencontrera. La maîtrise des schémas de procédés est aussi cruciale que celle des équations chimiques.

1.3. La finalité : former des techniciens opérationnels

La finalité de ce cursus est claire : doter le pays de techniciens supérieurs et de futurs ingénieurs immédiatement opérationnels. Un élève issu de cette filière doit posséder une compréhension rigoureuse des chaînes de valorisation des hydrocarbures. Votre mission, en tant que corps enseignant, est donc fondamentale. Elle consiste à former une génération de praticiens capables d'analyser, d'opérer et de maintenir les installations qui assureront demain notre autonomie énergétique et industrielle.

2. Note aux enseignants et élèves

2.1. Une approche systémique et industrielle

La pétrochimie est une science de la transformation. Elle connecte la géologie des gisements, l'ingénierie d'extraction et la chimie organique. Une approche purement théorique occulterait sa dimension industrielle concrète. L'enseignement doit donc privilégier une vision systémique. Chaque notion, du brut extrait dans le Kongo Central au polymère final, s'intègre dans une chaîne de valeur technique et économique. L'objectif est de former une compréhension globale du processus, non une collection de savoirs isolés.

2.2. La primauté du raisonnement procédural

La simple mémorisation des formules et des réactions est un objectif insuffisant. Cette discipline exige un raisonnement procédural et causal. L'élève doit pouvoir décomposer un processus industriel, comme le craquage catalytique, en étapes logiques et séquentielles. L'objectif pédagogique central est la maîtrise de la séquence : "Matière première → Conditions opératoires → Produits → Sous-produits". La capacité à justifier chaque étape est plus importante que la restitution par cœur d'une équation.

2.3. L'évaluation orientée vers la compétence

L'évaluation finale doit dépasser la simple restitution de connaissances. Elle mesure la capacité à modéliser un problème technique simple, à identifier les données pertinentes et à appliquer la procédure adéquate. Les scénarios proposés préparent directement aux exigences du TENASOSP et de l'Examen d'État. La compétence visée est l'application d'un savoir théorique à une situation industrielle vraisemblable, démontrant ainsi une véritable intelligence de la matière.

---

3. Comment utiliser ce manuel

La progression de chaque chapitre suit une structure didactique rigoureuse en trois temps. Le premier temps, l'accroche, vise à capter l'attention par un fait technique ou historique saillant. Le second temps déploie le corps théorique avec la précision terminologique requise pour la discipline. Finalement, le troisième temps ancre les savoirs dans le réel par des scénarios et exercices contextualisés.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

3.1. La Bipolarité Pédagogique

Cet ouvrage est intentionnellement conçu sur un double registre. Le premier registre, destiné à l'enseignant, fournit les fondements scientifiques, les équations et les mécanismes réactionnels avec une rigueur absolue. Le second registre, tourné vers l'élève, utilise un langage direct et des analogies concrètes pour rendre les concepts accessibles. Votre rôle est de naviguer entre ces deux niveaux, en utilisant la profondeur du premier pour éclairer la clarté du second.

3.2. L'Articulation Théorie-Pratique

Les sections "Scénarios et Exercices" ne sont pas des appendices. Elles constituent le pivot de la méthode d'apprentissage. Elles ont été élaborées pour transposer un concept abstrait (ex: le craquage catalytique) en un problème concret situé dans un contexte industriel plausible (ex: la raffinerie de Muanda). Il est impératif de les traiter comme une application directe du cours, préparant les élèves au raisonnement exigé par le TENASOSP et l'EXETAT.

Partie I. Les Fondamentaux : De la Géologie au Gisement

a. Un héritage de plusieurs millions d'années

Le pétrole brut et le gaz naturel proviennent de la décomposition d'organismes microscopiques. Ces derniers, morts il y a des millions d'années, se sont déposés au fond des océans ou des grands lacs. Recouverts par des couches de sédiments, ils subissent une transformation chimique lente. La pression et la température les convertissent en une matière riche en carbone appelée kérogène.

b. Le long voyage des hydrocarbures

Soumis à une pression croissante, le kérogène libère des fluides plus légers : le pétrole et le gaz. Ces hydrocarbures sont expulsés de leur roche mère. Ils entament ensuite une migration à travers des couches rocheuses poreuses, un peu comme l'eau s'infiltre dans une éponge. Ce déplacement, souvent vertical, peut s'étendre sur des dizaines de kilomètres, cherchant un chemin vers la surface.

c. La formation du piège géologique

La migration s'arrête lorsque les hydrocarbures rencontrent une barrière infranchissable. Une accumulation commerciale exige deux conditions géologiques précises. D'abord, une roche réservoir, poreuse et perméable, pour stocker les fluides. Ensuite, une roche couverture, imperméable (comme l'argile ou le sel), qui bloque leur ascension. L'ensemble forme ce qu'on appelle un piège pétrolier, scellant le gisement.

d. De l'indice à la découverte du gisement

La détection de ces pièges souterrains est le cœur du métier d'explorateur. Les géophysiciens utilisent des ondes sismiques pour cartographier le sous-sol, à la recherche de structures prometteuses. L'analyse de ces données permet d'identifier une cible potentielle. Le forage d'un puits d'exploration reste l'unique moyen de confirmer la présence, ou l'absence, d'un gisement exploitable, comme ceux du bassin côtier à Moanda.

Chapitre 1. Nature et Origine des Hydrocarbures

Leçon 1. La chimie du carbone : classification des hydrocarbures

a. Le double visage du pétrole

Un des faits les plus remarquables en pétrochimie est la simplicité de sa matière première. Le pétrole brut, ce liquide visqueux extrait des profondeurs du lac Albert ou des côtes de Moanda, est une soupe moléculaire. Pourtant, toute sa richesse future repose sur deux éléments seulement : le carbone (C) et l'hydrogène (H).

Cette alliance forme les hydrocarbures. La capacité unique du carbone à s'enchaîner avec lui-même et avec l'hydrogène crée une infinité de structures. Comprendre leur classification est la première étape pour transformer ce "jus de dinosaure" en carburant, plastique ou médicament.

A. Les Hydrocarbures Aliphatiques (chaînes ouvertes)

Chimiquement, les aliphatiques sont des hydrocarbures dont les atomes de carbone forment des chaînes ouvertes, linéaires ou ramifiées. Ils constituent la majorité des composants du pétrole brut et du gaz naturel. Leur comportement dépend entièrement du type de liaison entre les atomes de carbone.

a. Les alcanes (saturés)

Les alcanes possèdent uniquement des liaisons simples carbone-carbone (C-C). Ils sont dits "saturés" car chaque atome de carbone est lié au nombre maximal possible d'atomes d'hydrogène. Leur formule générale est C_nH_{2n+2}. Très stables, ils sont les principaux constituants du gaz naturel (méthane, CH_4) et du gaz de cuisine (propane, C_3H_8 ; butane, C_4H_{10}).

b. Les alcènes (insaturés)

Contrairement aux alcanes, les alcènes contiennent au moins une double liaison carbone-carbone (C=C). Ils sont "insaturés" et leur formule générale est C_nH_{2n}. Cette double liaison les rend beaucoup plus réactifs que les alcanes. L'éthylène (C_2H_4) est l'alcène le plus simple, fondamental pour produire le plastique polyéthylène.

c. Les alcynes (insaturés)

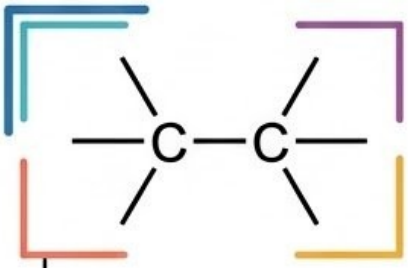
Progressant en réactivité, les alcynes se caractérisent par la présence d'au moins une triple liaison carbone-carbone (C≡C). Leur formule générale est C_nH_{2n-2}. Très instables et énergétiques, leur représentant le plus connu est l'acétylène (C_2H_2), utilisé dans les chalumeaux pour la soudure.

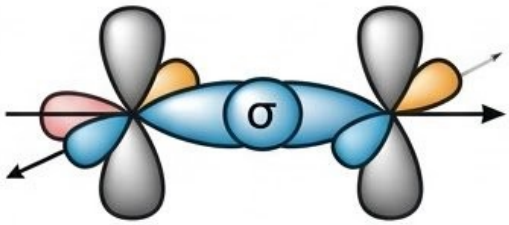
MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 1 : Réf. IMG (8285-0027-5873)

Structures de liaison carbone-carbone dans les hydrocarbures aliphatiques

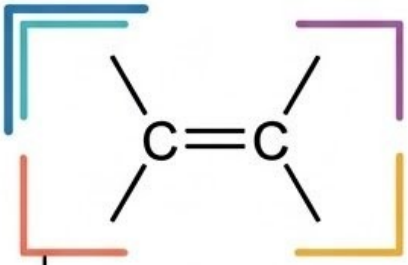
(b) Liaison simple (Alcanes)

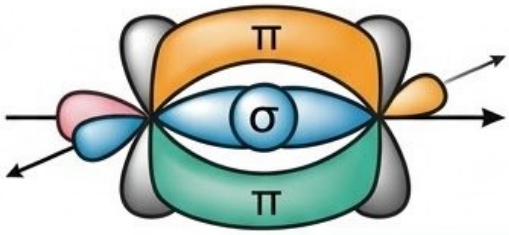




- 1 liaison sigma (σ)
- Rotation flexible
- Basse réactivité

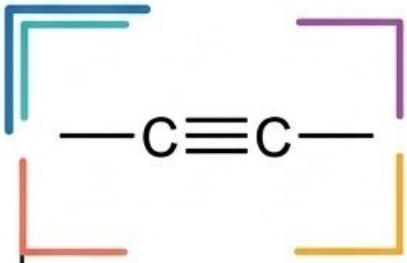
(c) Liaison double (Alcènes)

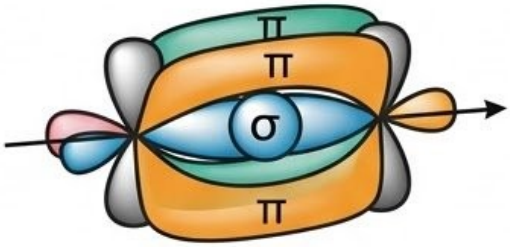




- 1 liaison sigma (σ) + 1 liaison pi (π)
- Structure planaire rigide
- Haute réactivité

(d) Liaison triple (Alcynes)





- 1 liaison sigma (σ) + 2 liaisons pi (π)
- Structure linéaire courte
- Extrêmement réactive

Figure 1 : Réf. IMG (8285-0027-5873)

Structures de liaison carbone-carbone dans les hydrocarbures aliphatiques

a. Analyse visuelle

Cette illustration montre la différence fondamentale entre les trois familles aliphatiques à travers leurs liaisons. On y voit une liaison simple, une double et une triple. Chaque type de liaison dicte la forme de la molécule et sa réactivité chimique, un concept clé en pétrochimie.

b. La liaison simple (Alcanes)

La liaison simple C-C est une liaison sigma (σ). Elle permet une libre rotation des atomes, donnant aux alcanes une grande flexibilité. Cette saturation en hydrogène explique leur faible réactivité. Ils sont le squelette stable de la chimie organique, le point de départ de nombreuses transformations.

c. La liaison double (Alcènes)

La liaison double C=C combine une liaison sigma (σ) et une liaison pi (π). Cette liaison π est plus faible et ses électrons sont plus exposés. Elle empêche la libre rotation, rendant la molécule rigide et plane. C'est un site de haute réactivité, une porte d'entrée pour les réactions d'addition.

d. La liaison triple (Alcynes)

La liaison triple C≡C est formée d'une liaison sigma (σ) et de deux liaisons pi (π). C'est la liaison la plus courte et la plus forte, stockant une grande quantité d'énergie. Elle rend la molécule linéaire et extrêmement réactive.

B. Les Hydrocarbures Aromatiques (cycles)

Une famille à part est celle des hydrocarbures aromatiques. Leur structure est basée sur un cycle de six atomes de carbone, le noyau benzénique (C_6H_6). Ce cycle possède une stabilité exceptionnelle due à la délocalisation des électrons des doubles liaisons.

Des composés comme le benzène, le toluène et les xylènes (souvent appelés BTX) sont des aromatiques. Ils sont essentiels comme solvants et comme matières premières pour la synthèse de colorants, de plastiques avancés (polystyrène) et d'explosifs (TNT).

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Anecdote : La livraison de gaz à Matadi

Un ingénieur de la SEP-Congo à Matadi reçoit deux cargaisons de gaz. La première, du butane, est destinée aux ménages de la ville pour la cuisson. C'est un alcane, stable, facile à stocker et à brûler proprement. La seconde cargaison contient de l'éthylène, un alcène, destiné à une nouvelle usine de plastique près de Boma. L'ingénieur sait que la gestion de l'éthylène est bien plus délicate. Sa double liaison le rend réactif et prompt à la polymérisation, même accidentelle. Pour la ménagère du quartier Salongo, le gaz est juste du gaz. Pour l'ingénieur, la différence entre une liaison simple et une double liaison est une question de sécurité, de logistique et de finalité industrielle.

Exercice 1 : Identification d'un Alcan

Énoncé : Un échantillon d'hydrocarbure extrait dans le Kasaï a pour formule brute C_5H_{12}. À quelle famille d'hydrocarbures appartient-il ? Justifiez votre réponse.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Analyser la formule brute** La formule est C_5H_{12}. Le nombre d'atomes de carbone est $n=5$.
2. **Étape 2 : Tester la formule générale des alcanes** La formule générale des alcanes est C_nH_{2n+2}. Remplaçons n par 5 : $C_5H_{2(5)+2}$, ce qui donne C_5H_{12}. La formule correspond parfaitement.
3. **Étape 3 : Conclure** L'hydrocarbure C_5H_{12} respecte la formule générale des alcanes. Il s'agit donc d'un alcane, le pentane.

Exercice 2 : Différencier Alcène et Alcyne

Énoncé : Un laboratoire de l'Université de Lubumbashi possède deux cylindres de gaz non étiquetés. L'analyse révèle que l'un contient du C_3H_6 et l'autre du C_3H_4. Identifiez chaque composé et déterminez lequel est le plus réactif.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier le premier gaz (C_3H_6)** Nous testons les formules générales. Pour $n=3$, la formule des alcènes est C_nH_{2n}, soit $C_3H_{2(3)}=C_3H_6$. Ce composé est donc le propène, un alcène.

2. **Étape 2 : Identifier le second gaz (C_3H_4)** Pour $n=3$, la formule des alcynes est C_nH_{2n-2}, soit $C_3H_{2(3)-2}=C_3H_4$. Ce composé est donc le propyne, un alcyne.
3. **Étape 3 : Comparer la réactivité** La réactivité augmente avec le nombre de liaisons insaturées. Un alcyne (triple liaison) est plus réactif qu'un alcène (double liaison). Le cylindre contenant le propyne (C_3H_4) est donc le plus réactif et potentiellement le plus dangereux à manipuler.

Leçon 2. La genèse du pétrole et du gaz naturel : théorie organique

a. Une cuisine géologique de millions d'années

Pendant que les dinosaures parcouraient la Terre, des mers peu profondes recouvraient une partie de l'actuelle RDC. Dans ces eaux, des milliards de micro-organismes, principalement du plancton, vivaient et mouraient. Leurs restes ne se sont pas simplement décomposés.

Sous le poids des sédiments et avec le temps, cette matière organique s'est transformée. Elle est devenue l'or noir que nous exploitons aujourd'hui sur le littoral du Kongo Central, à Moanda. Le pétrole est une énergie fossile issue de la vie ancienne.

A. L'accumulation de la matière organique

Le processus démarre dans l'eau. Des quantités phénoménales de micro-organismes (plancton, algues) meurent et coulent au fond des océans, des lacs ou des lagunes. Pour que la transformation ait lieu, une condition est essentielle : l'absence d'oxygène (milieu anoxique). Ce manque d'oxygène empêche la décomposition complète par les bactéries aérobies. La matière organique s'accumule alors, se mélangeant à l'argile et au sable pour former une boue riche : la roche-mère.

B. La transformation en kérogène (Diagenèse)

Au fil des millions d'années, des couches successives de sédiments (sable, argile) s'accumulent au-dessus de cette boue organique. Le poids de ces couches augmente la pression et la température. Sous cet effet, l'eau est expulsée et la matière organique se transforme chimiquement en une substance solide, cireuse et insoluble : le kérogène. Le kérogène est le

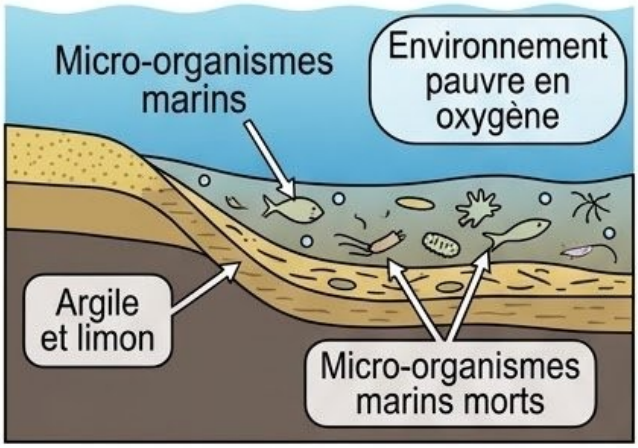
précurseur direct du pétrole et du gaz. À ce stade, il n'y a pas encore d'hydrocarbures liquides ou gazeux exploitables.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 2 : Réf. IMG (9578-8054-4843)

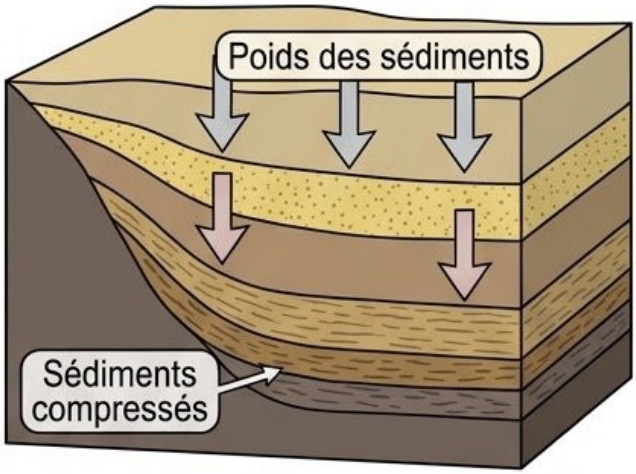
Schéma de l'enfouissement de la matière organique formant le kérogène

(a) Phase 1 : Dépôt



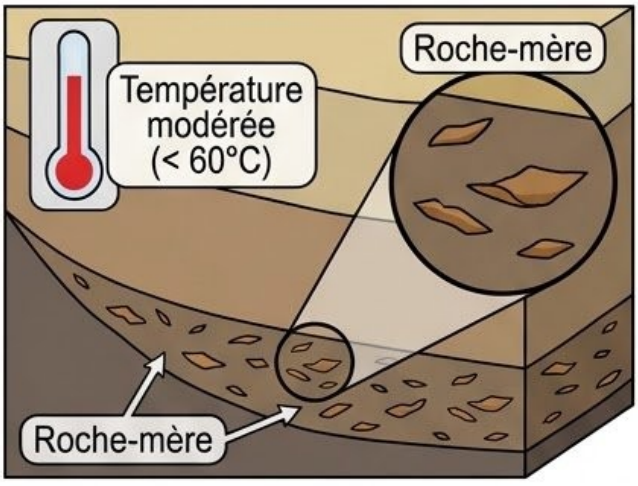
Accumulation de micro-organismes **marins morts** au fond de la mer, mélangés à l'argile et au limon. Empêchement de décomposition totale.

(b) Phase 2 : Enfouissement



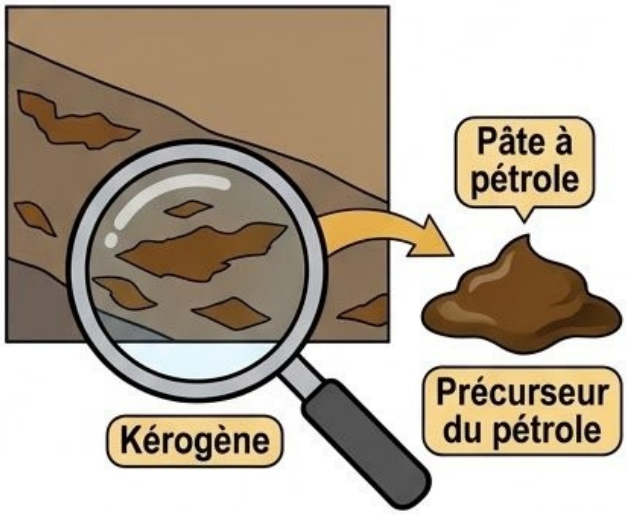
Couches de sédiments recouvrent progressivement la matière organique, **compactant** les sédiments inférieurs, créant une **pression croissante** et **chassant l'eau**.

(c) Phase 3 : Diagenèse



À quelques centaines de mètres, température et pression transforment la matière organique en **KÉROGÈNE**, substance cireuse piégée dans la roche-mère.

(d) L'état du kérogène



Le kérogène est stable, représente un potentiel énorme mais n'est pas encore du pétrole. C'est un précurseur attendant d'être "cuit".

Figure 2 : Réf. IMG (9578-8054-4843)

Schéma de l'enfouissement de la matière organique formant le kérogène

a. Phase 1 : Dépôt

Des millions de micro-organismes marins morts s'accumulent au fond de la mer. Ils se mélangent avec de l'argile et du limon dans un environnement pauvre en oxygène, empêchant leur décomposition totale.

b. Phase 2 : Enfouissement

Des couches de sédiments recouvrent progressivement la matière organique. Le poids de ces nouvelles couches compacte les sédiments inférieurs, créant une pression croissante et chassant l'eau.

c. Phase 3 : Diagenèse

À quelques centaines de mètres de profondeur, la température modérée (moins de 60°C) et la pression transforment la matière organique en kérogène, une substance cireuse piégée dans la roche-mère.

d. L'état du kérogène

Le kérogène est stable à ce stade. Il représente un potentiel énorme mais n'est pas encore du pétrole. C'est une sorte de "pâte à pétrole" qui attend d'être cuite.

■ ■ ■

C. Le craquage en hydrocarbures (Catagenèse et Métagenèse)

L'enfouissement se poursuit. La roche-mère s'enfonce de plus en plus profondément dans la croûte terrestre.

- **La Catagenèse (fenêtre à huile)** : Entre 60°C et 150°C (environ 2 à 4 km de profondeur), le kérogène est "cuit". Ses longues chaînes moléculaires se brisent (craquage thermique) pour former des hydrocarbures plus courts : du pétrole liquide et du gaz humide. C'est la "fenêtre à huile".
- **La Métagenèse (fenêtre à gaz)** : Au-delà de 150°C, le craquage devient plus intense. Le pétrole liquide précédemment formé se transforme à son tour en gaz naturel (méthane). C'est la "fenêtre à

gaz sec". À des températures extrêmes (>200°C), le carbone résiduel devient du graphite.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Figure 3 : Réf. IMG (4498-7338-4550)

Diagramme de la fenêtre à huile et à gaz selon la profondeur

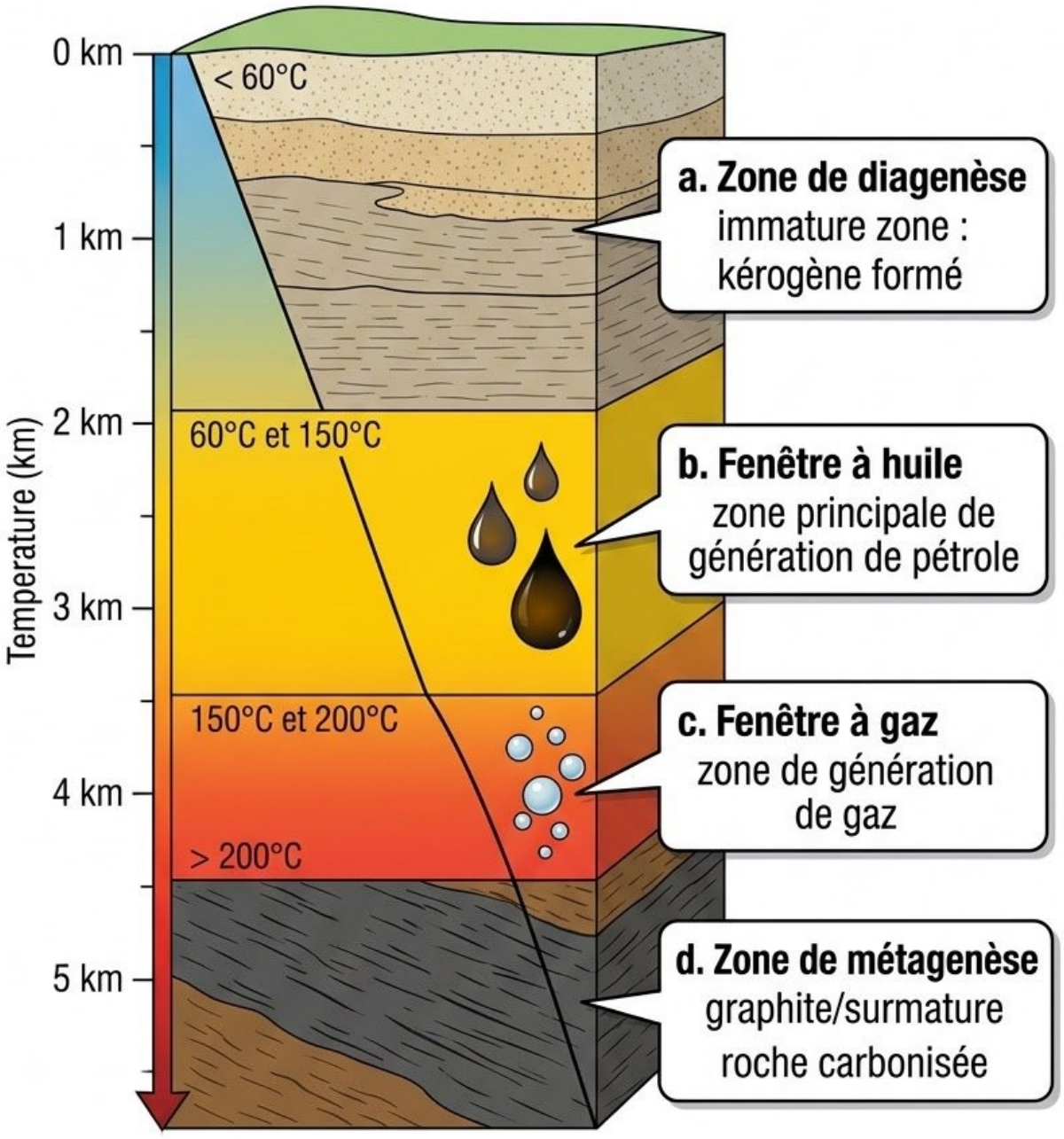


Figure 3 : Réf. IMG (4498-7338-4550)

Diagramme de la fenêtre à huile et à gaz selon la profondeur

a. Zone de diagenèse (Surface à 2 km)

La température est inférieure à 60°C. Le kérogène est formé et stable dans la roche-mère. Il n'y a pas de production significative d'hydrocarbures. C'est une zone immature.

b. Fenêtre à huile (2 à 4 km)

La température (60°C-150°C) est idéale pour le craquage du kérogène en pétrole liquide. C'est la principale zone de genèse du pétrole. Un peu de gaz est aussi produit.

c. Fenêtre à gaz (4 à 5 km)

La température (150°C-200°C) est trop élevée pour le pétrole liquide, qui se craque à son tour en gaz naturel (méthane). C'est la zone de genèse du gaz thermogénique.

d. Zone de métagenèse (> 5 km)

Au-delà de 200°C, les hydrocarbures sont détruits. Seul du graphite (carbone pur) subsiste. La roche est "carbonisée" et stérile en termes de potentiel pétrolier ou gazier.

■ ■ ■

Bloc A - Anecdote

Papa Augustin, un géologue de l'Université de Lubumbashi en mission pour Perenco à Moanda, marche sur la plage avec un jeune pêcheur nommé Mavungu. Mavungu, regardant la plateforme pétrolière au loin, demande : "Tonton, comment la terre peut donner de l'huile comme ça ?". Augustin ramasse une poignée de sable humide remplie de fragments de coquillages minuscules. "Tu vois ça, Mavungu ? Imagine des créatures encore plus petites, des milliards de milliards, il y a des millions d'années. Quand elles sont mortes, elles ont été recouvertes, écrasées, et cuites très lentement sous nos pieds. L'huile que la plateforme va chercher, c'est le jus de ces ancêtres microscopiques. C'est une longue cuisine qui a commencé bien avant le premier homme."