CODE :
ECO2026

ENSEIGNEMENT SECONDAIRE

ÉCOLOGIE

ÉTUDE DES ÉCOSYSTÈMES

SECTION : **SCIENTIFIQUE**

2e ANNÉE



Programme National de la RDC



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

0.1. Note aux Enseignants et Préface 1
- 0.1.1. Orientation Pédagogique 1
- 0.1.2. Démarche Didactique 1

0.2. Profil de Sortie et Compétences Visées 1
- 0.2.1. Profil de sortie : l'élève-analyste des systèmes écologiques 1
- 0.2.2. Compétences cognitives et disciplinaires (Savoirs) 2
- 0.2.3. Compétences méthodologiques et procédurales (Savoir-faire) 2
- 0.2.4. Compétences citoyennes et critiques (Savoir-être) 2

0.3. Méthodologie et Approche par Situations 2
- 0.3.1. Le Postulat Fondamental : L'Élève Acteur 2
- 0.3.2. Le Déroulement Séquentiel : De la Situation-Problème à la Conceptualis 2
- 0.3.3. L'Évaluation Formative Intégrée 3

PARTIE 1. POLLUTIONS ET DÉGRADATION DES MILIEUX (MSVT 4.5) **4**

a. Une question d'équilibre rompu 4

b. Des origines multiples et quotidiennes 4

c. L'eau, l'air, le sol : des cibles variées 4

d. Des conséquences en cascade 4

CHAPITRE 1. FONDEMENTS ET TYPOLOGIE DES POLLUTIONS **5**

1.1. Concepts de Pollution et de Nuisance 5
- a. Introduction : La nature et l'empreinte humaine 5
- A. La Pollution : Une Définition Scientifique 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (9675-9074-9579) **7**

Amas de déchets plastiques dans une rivière près d'un marché urbain 7
- B. La Nuisance : Une Gêne Sensorielle 7

FIGURE 2 : RÉF. IMG (8613-6571-3150) **10**

Embouteillage dense dans une grande ville avec des véhicules émettant de la f 10
- C. Le Polluant : L'Agent de la Dégradation 10

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

1.2. Classification des Polluants.....12
- a. Une leçon venue de l'Antiquité.....12
- A. Classification selon l'origine.....13
- B. Classification selon la nature.....13

FIGURE 3 : RÉF. IMG (5680-1940-6648).....15

Schéma simplifié des trois natures de polluants et leurs exemples concrets.....15
- C. Classification selon la dégradabilité.....15

1.3. Pollution des Sols et Lithosphère.....17
- a. Le sol, une peau fragile.....17
- A. Origines des Polluants du Sol.....18
- B. Mécanismes de Contamination et Transfert.....18

FIGURE 4 : RÉF. IMG (0627-5227-3721).....20

Schéma du transfert des polluants du sol vers la chaîne alimentaire.....20
- L'héritage silencieux de la mine.....20

1.4. Impacts Sanitaires et Écologiques Globaux.....22
- a. De l'invisible au global.....22
- A. L'Échelle Humaine : Les Impacts Sanitaires Directs et Indirects.....22

FIGURE 5 : RÉF. IMG (6742-6665-2264).....25

La biomagnification des polluants dans une chaîne alimentaire aquatique congo.....25
- B. L'Échelle Planétaire : Les Déséquilibres Écologiques Globaux.....25

1.5. Indicateurs de Pollution et Échelles de Mesure.....28
- a. Le canari du mineur et le poisson du fleuve.....28
- A. Les Indicateurs Biologiques (Bio-indicateurs).....28

FIGURE 6 : RÉF. IMG (7597-4094-3791).....30

Les lichens, baromètres naturels de la qualité de l'air urbain.....30
- B. Les Indicateurs Physico-chimiques.....30
- C. Échelles de Mesure et Unités.....31

FIGURE 7 : RÉF. IMG (1872-7958-4598).....33

Échelle de turbidité de l'eau : du clair au trouble.....33
- a. L'anecdote du pêcheur de Mbandaka.....33

CHAPITRE 2. POLLUTION DES EAUX ET DE L'HYDROSPHÈRE.....36

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

2.1. Caractérisation des Eaux Usées et Rejets....36
- a. L'empreinte invisible de nos activités....36
- A. Origine et classification des eaux usées....36
- B. Les indicateurs clés de la pollution de l'eau....36

FIGURE 8 : RÉF. IMG (5283-6033-8254)....38

Schéma des principales sources de pollution aquatique....38
- Anecdote et Observation....38

2.2. Eutrophisation et Asphyxie des Cours d'Eau....40
- a. Un paradoxe aquatique....40
- A. Le mécanisme chimique et biologique....40

FIGURE 9 : RÉF. IMG (8841-3410-6704)....43

Schéma comparatif d'un lac sain et d'un lac eutrophié....43
- B. Les étapes de l'asphyxie....43

FIGURE 10 : RÉF. IMG (8293-2370-3427)....46

Le cycle de l'asphyxie par eutrophisation dans une rivière....46
- b. Anecdote : La pêche miraculeuse inversée du pêcheur de Maluku....46

2.3. Contamination Chimique et Métaux Lourds....48
- a. L'eau silencieusement empoisonnée....48
- A. Les polluants chimiques : une menace invisible....48
- B. Les métaux lourds : des poisons persistants....49

FIGURE 11 : RÉF. IMG (1303-9282-1349)....51

Schéma simplifié du processus de biomagnification du mercure dans un écosystè....51
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....51

2.4. Maladies Hydriques et Prévention....53
- a. Le piège de l'eau claire....53
- A. Principaux Agents Pathogènes et Maladies Associées....53
- B. Stratégies de Prévention : de l'Individu à la Communauté....54

CHAPITRE 3. POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE ET SONORE....58

3.1. Polluants Atmosphériques et Sources d'Émission....58
- a. L'air de la ville et l'air du village....58
- A. Classification des Polluants Atmosphériques....58

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- B. Sources d'Émission (Origines)....58

FIGURE 12 : RÉF. IMG (1988-5770-5038)....61

Schéma des principales sources de pollution atmosphérique en milieu urbain....61

FIGURE 13 : RÉF. IMG (0312-2378-6778)....63

Formation des polluants primaires et secondaires dans l'atmosphère....63

- Scénarios et Exercices....63
- Une nuit bruyante à Goma....63

3.2. Effet de Serre et Changements Climatiques....65

- a. Une couverture pour la Terre ?....65
- A. Le mécanisme naturel et les gaz responsables....65

FIGURE 14 : RÉF. IMG (0381-1160-5889)....67

Schéma simplifié du mécanisme de l'effet de serre naturel et anthropique....67

- B. L'intensification anthropique et ses conséquences....67

FIGURE 15 : RÉF. IMG (7789-0406-7517)....70

Graphique montrant l'augmentation de la concentration de CO2 atmosphérique de....70

- b. Le paradoxe du maraîcher de Kimwenza....70

3.3. Conséquences Respiratoires et Environnementales....72

- a. Le souffle court de nos villes....72
- A. L'impact sur le système respiratoire humain....72

FIGURE 16 : RÉF. IMG (0161-1130-6933)....74

Schéma simplifié de l'action des particules fines dans les poumons....74

- B. La dégradation des écosystèmes....74
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....75

3.4. Nuisances Sonores et Pollution Acoustique....77

- a. Le bruit, un signe de vie ou une agression ?....77
- A. Définition et mesure du bruit....77

FIGURE 17 : RÉF. IMG (4177-8091-6884)....79

Scène de rue animée à Mbuji-Mayi avec taxis-bus et vendeurs ambulants....79

- B. Sources et impacts de la pollution sonore....79

FIGURE 18 : RÉF. IMG (3796-3985-8940)....81

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Personne tentant de dormir près d'une fenêtre ouverte sur une rue bruyante.....81
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....81
- Une préparation d'examen difficile à Kikwit.....81

PARTIE 2. DYNAMIQUE ÉROSIVE ET CONSERVATION DES SOLS (MSVT 4.6).....84

Le sol, une ressource vivante et fragile.....84

L'eau et le vent, sculpteurs du paysage.....84

L'action humaine, un accélérateur de l'érosion.....84

La conservation, une réponse scientifique et citoyenne.....84

CHAPITRE 4. MÉCANISMES ET PROCESSUS DE L'ÉROSION.....85

4.1. Érosion Hydrique et Ruissellement.....85
- a. La goutte d'eau qui fait déborder le sol.....85
- A. L'Impact Initial : L'Effet "Splash".....85
- B. Le Ruissellement : Le Transport en Masse.....85

4.2. Érosion Éolienne et Déflation.....87
- a. Le vent, sculpteur invisible.....87
- A. La Déflation : Le vent "voleur" de particules.....87

FIGURE 19 : RÉF. IMG (4540-7931-8577).....90

Mécanisme de la déflation éolienne sur un sol exposé.....90
- B. Saltation et Reptation : Le transport organisé.....90

4.3. Érosion Chimique et Altération des Roches.....93
- a. Quand la pierre se dissout.....93
- A. Les agents de l'altération chimique.....93
- B. Les principaux types de réactions.....93

4.4. Gravité et Mouvements de Terrain.....96
- a. Une force invisible et constante.....96
- A. La gravité comme moteur de l'érosion.....96
- B. Typologie des mouvements de terrain.....97

FIGURE 20 : RÉF. IMG (5290-1229-7174).....99

Les quatre principaux types de mouvements de terrain par gravité.....99
- b. La colline qui "respirait" à Bukavu.....99

4.5. Modélisation et Cartographie du Risque Érosif.....101

- a. Anticiper pour ne pas subir.....101
- A. L'Équation Universelle des Pertes en Sol (USLE).....101

FIGURE 21 : RÉF. IMG (6716-2337-7396).....104

Carte du risque érosif dans une région du Kwilu.....104
- B. De l'Équation à la Carte : Le Rôle des SIG.....104

CHAPITRE 5. FACTEURS DE RISQUE ET CAUSES DE L'ÉROSION.....107

5.1. Facteurs Naturels : Topographie et Climat.....107
- a. Le sol, un patrimoine silencieux.....107
- A. La Topographie : Quand le relief sculpte l'érosion.....107
- B. Le Climat : La puissance de l'eau et du vent.....107

5.2. Déforestation et Perte du Couvert Végétal.....109
- a. Le bouclier vert menacé.....109
- A. Le double rôle protecteur de la végétation.....110

FIGURE 22 : RÉF. IMG (1302-0806-3225).....112

Schéma comparatif de l'impact de la pluie sur sol couvert et nu.....112
- B. Les mécanismes d'érosion accélérée.....112

FIGURE 23 : RÉF. IMG (0979-9017-1330).....115

Mécanismes de la déforestation et ses conséquences directes sur le sol.....115
- b. Scénarios et Exercices.....115

5.3. Urbanisation Anarchique et Imperméabilisation.....117
- a. La ville qui boit le sol.....117
- A. Le concept d'imperméabilisation des sols.....117

FIGURE 24 : RÉF. IMG (7909-8880-6004).....119

Comparaison d'un sol naturel et d'une surface urbaine imperméabilisée.....119
- B. L'urbanisation anarchique, un accélérateur de risques.....119

FIGURE 25 : RÉF. IMG (5353-5056-7732).....120

Érosion en "ravin" causée par le ruissellement dans un quartier non-planifié.....120
- L'anecdote de Papa Mbiya.....120

5.4. Pratiques Agricoles Inadaptées.....122
- a. L'intention et la conséquence.....122

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. La culture sur brûlis et la monoculture.....122
- B. Le travail du sol sur les pentes.....123

FIGURE 26 : RÉF. IMG (6040-9686-0934).....125

Comparaison de pratiques agricoles sur une colline du Sud-Kivu.....125
- Scénarios et Exercices.....125
- Une leçon apprise à Idiofa.....125

CHAPITRE 6. TECHNIQUES DE LUTTE ET GESTION DES SOLS.....128

6.1. Méthodes Biologiques et Revégétalisation.....128
- a. L'intelligence de la nature.....128
- A. Le Principe de la Revégétalisation.....128

FIGURE 27 : RÉF. IMG (0123-0169-5353).....130

Coupe transversale comparant un sol nu et un sol végétalisé.....130
- B. Les Techniques Clés de Lutte Biologique.....130

FIGURE 28 : RÉF. IMG (1710-2474-7570).....133

Exemple d'agroforesterie sur une colline près de Bukavu.....133
- Les leçons du Chef Kapinga.....133

6.2. Aménagements Mécaniques et Génie Civil.....135
- a. L'impuissance et la force de la goutte d'eau.....135
- A. Principe Fondamental : Ralentir pour Protéger.....135
- B. Les Terrasses et Banquettes : L'Escalier du Cultivateur.....135

FIGURE 29 : RÉF. IMG (4152-7432-3778).....137

Coupe transversale d'une colline aménagée en terrasses de culture.....137
- C. Les Seuils et Gabions : Dompter les Ravins.....137

FIGURE 30 : RÉF. IMG (4997-5005-2972).....139

Schéma d'un gabion installé dans le lit d'un ravin en formation.....139
- L'observation du chef Mayele dans le Maï-Ndombe.....139

6.3. Techniques Culturales Conservatoires.....141
- a. Le savoir des anciens.....141
- A. Le Principe du Non-Labour (ou Semis Direct).....141

FIGURE 31 : RÉF. IMG (9497-6976-6362).....143

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Comparaison entre une parcelle labourée et une parcelle en semis direct.....143
- B. L'Association et la Rotation des Cultures.....143

6.4. Planification Urbaine et Législation.....145
- a. L'erreur du bâtisseur pressé.....145
- A. Le Plan d'Aménagement Urbain : Un Bouclier contre l'Érosion.....146

FIGURE 32 : RÉF. IMG (2764-7819-0454).....148

Contraste entre un quartier planifié et un quartier anarchique.....148
- B. La Législation Foncière et Environnementale : Le Gardien du Sol.....148

FIGURE 33 : RÉF. IMG (6402-5224-8527).....151

Le permis de construire comme outil de protection environnementale.....151
- b. L'anecdote du chef de quartier de Boma.....151

PARTIE 3. GESTION DES DÉCHETS ET ÉCONOMIE CIRCULAIRE (MSVT 4.7).....154

a. L'envers de la consommation.....154

b. Une menace sanitaire et environnementale.....154

c. De l'économie linéaire à l'économie circulaire.....154

d. Le déchet, une ressource locale.....154

CHAPITRE 7. TYPOLOGIE ET CARACTÉRISATION DES DÉCHETS.....155

7.1. Déchets Biodégradables et Organiques.....155
- a. Le cycle de la mangue oubliée.....155
- A. Définition et Distinction Clé.....155

FIGURE 34 : RÉF. IMG (0225-6583-5863).....157

Les étapes de la transformation d'un déchet organique en compost riche.....157
- B. Les Acteurs et les Conditions de la Biodégradation.....157

FIGURE 35 : RÉF. IMG (0846-5053-3315).....160

Schéma simplifié du processus de compostage aérobie en tas.....160
- Le pari de Papa Mado à Lubumbashi.....160

7.2. Déchets Non-Biodégradables et Inertes.....162
- a. L'héritage d'un sac en plastique.....162
- A. Les déchets non-biodégradables.....162
- B. Les déchets inertes.....163

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

7.3. Déchets Dangereux et Toxiques....165
- a. De la nature à l'industrie....165
- A. Définition et Classification des Déchets Dangereux....165
- B. Les Pictogrammes de Danger et Exemples Courants....166

FIGURE 36 : RÉF. IMG (2816-4147-4270)....168

Pictogrammes de danger pour les produits chimiques et déchets dangereux....168
- Scénarios et Exercices....168

7.4. Déchets Liquides et Effluents....170
- a. L'illusion de l'eau qui lave tout....170
- A. Typologie des Déchets Liquides....170
- B. Caractérisation et Paramètres de Pollution....171

7.5. Les Nouveaux Déchets : Électroniques et Plastiques Spécifiques....174
- a. Le paradoxe de la modernité....174
- A. Les DEEE : Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques....174

FIGURE 37 : RÉF. IMG (5107-5519-1839)....175

Une décharge sauvage de déchets électroniques à la périphérie d'une ville....175
- B. Les Plastiques Spécifiques et les Microplastiques....175

FIGURE 38 : RÉF. IMG (2679-9348-5795)....178

Débris plastiques échoués sur les berges du fleuve Congo près de Bumba....178
- Scénarios et Exercices....178
- Une seconde vie pour les téléphones du Kasaï....178

CHAPITRE 8. COLLECTE ET ÉVACUATION DES DÉCHETS....181

8.1. Pré-collecte et Conditionnement à la Source....181
- a. Le premier geste qui compte....181
- A. La Pré-collecte : Définition et Modalités....181
- B. Le Conditionnement à la Source : La Clé du Tri....181

8.2. Systèmes de Collecte et Transport....184
- a. De la case à la décharge : un trajet à organiser....184
- A. Les différents modes de collecte....185
- B. Le transport des déchets : du quartier au site final....185

FIGURE 39 : RÉF. IMG (5316-1763-5136)....188

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Schéma simplifié des deux logiques de transport des déchets urbains....188
- Scénarios et Exercices....188
- L'énigme des poubelles de Boma sous la pluie....188

8.3. Décharges Contrôlées et Enfouissement Technique....190
- a. De la fosse commune à l'ingénierie du sol....190
- A. Définition et Principe d'une Décharge Contrôlée....190

FIGURE 40 : RÉF. IMG (3123-8704-1417)....193

Coupe schématique d'une alvéole de décharge contrôlée moderne....193
- B. Les Composants Clés de l'Enfouissement Technique....193

FIGURE 41 : RÉF. IMG (8616-8295-3825)....196

Les quatre phases de vie d'un casier d'enfouissement technique....196
- Anecdote : Le défi de la décharge de Mpasa....196

8.4. Incinération et Traitement Thermique....198
- a. Le feu, un ancien outil de gestion....198
- A. Principe de l'Incinération....198

FIGURE 42 : RÉF. IMG (6774-3023-1120)....201

Schéma de fonctionnement simplifié d'un incinérateur de déchets avec valorisa....201
- B. Avantages et Limites du Procédé....201

CHAPITRE 9. VALORISATION ET RECYCLAGE....204

9.1. Compostage et Amendement Organique....204
- a. L'héritage des anciens....204
- A. Le processus biochimique du compostage....204

FIGURE 43 : RÉF. IMG (8735-4717-2841)....206

Les couches d'un composteur équilibré pour une décomposition optimale....206
- B. L'amendement organique : bienfaits et utilisation....206

FIGURE 44 : RÉF. IMG (1327-7596-9320)....209

Comparaison microscopique d'un sol argileux avant et après amendement organique....209
- b. L'anecdote de Papa Kabasele à Mbuji-Mayi....209

9.2. Recyclage des Matières Plastiques et Métalliques....211
- Un des faits les plus surprenants concernant nos déchets est la valeur cachée....211

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- A. Le cycle de vie d'un plastique recyclable.....211

FIGURE 45 : RÉF. IMG (7930-7402-0834).....214

Cycle de recyclage d'une bouteille plastique en granulés réutilisables.....214

- B. La valorisation des métaux ferreux et non-ferreux.....214

9.3. Méthanisation et Production d'Énergie.....216

- a. Du mystère des marais à la science.....216
- A. Le Processus de Méthanisation.....217

FIGURE 46 : RÉF. IMG (8533-8559-5672).....219

Schéma simplifié d'un méthaniseur agricole avec ses entrées et ses sorties.....219

- B. Les Produits de la Méthanisation : Biogaz et Digestat.....219

FIGURE 47 : RÉF. IMG (8370-9641-8459).....221

Cycle de valorisation du biogaz : de la ferme à l'énergie.....221

- Anecdote : Le génie de Papa Mbuyi à Kikwit.....221

9.4. Réemploi et Économie Circulaire.....223

- a. La sagesse du quotidien.....223
- A. Le principe du Réemploi.....223
- B. L'Économie Circulaire : le modèle des 3R.....223

FIGURE 48 : RÉF. IMG (1529-9566-3078).....225

Schéma comparatif de l'économie linéaire face à l'économie circulaire.....225

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....225
- Une idée brillante venue des déchets.....225

9.5. Les Acteurs de l'Économie Circulaire et les Modèles Économiques.....227

- a. Du déchet à la ressource.....227
- A. La chaîne des acteurs : qui fait quoi ?.....227
- B. Les modèles économiques : comment ça marche ?.....228

ANNEXES.....231

A.1. Cadre Légal de l'Environnement en RDC.....231

- A. La Constitution comme socle juridique.....231
- B. La Loi-Cadre sur l'Environnement (Loi n°11/009 du 9 juillet 2011).....231
- C. Les Grands Principes Directeurs.....232
- D. Législations Sectorielles Clés.....233

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- E. Architecture Institutionnelle.....233

A.2. Guide Pratique de Compostage et de Tri.....234
- A. Principes fondamentaux du compostage.....234
- B. Matériaux compostables et non compostables.....235
- C. Fondements et typologie du tri sélectif.....236

A.3. Fiches Techniques des Essences Antiérosives.....237
- A. Critères de Sélection des Essences Antiérosives.....237
- B. Fiche 1 : Vetiveria zizanioides (Vétiver).....238
- C. Fiche 2 : Pueraria phaseoloides (Kudzu tropical).....239
- D. Fiche 3 : Leucaena leucocephala (Leucaena).....240

A.4. Indicateurs Biologiques de Pollution.....241
- A. Définitions Clés.....241
- B. Typologies des Indicateurs.....242
- C. Indicateurs par Type d'Écosystème Pollué.....243
- D. Quantification : Les Indices Biotiques.....244
- E. Avantages et Limites de la Bio-indication.....244

PRÉLIMINAIRES

0.1. Note aux Enseignants et Préface

0.1.1. Orientation Pédagogique

Ce manuel d'écologie implémente une mutation pédagogique fondamentale, alignée sur les exigences du programme de 2025. Il dépasse la simple accumulation de connaissances descriptives. L'objectif central est de structurer la pensée scientifique de l'élève pour la rendre opératoire face à la complexité des écosystèmes. Son architecture méthodologique est fondée sur l'approche par les compétences, visant à équiper l'apprenant d'outils d'analyse, de modélisation et de résolution de problèmes concrets.

La finalité est la formation d'un esprit capable d'appliquer le raisonnement hypothético-déductif aux problématiques écologiques, depuis l'échelle locale jusqu'aux dynamiques globales.

0.1.2. Démarche Didactique

Conformément à l'orientation définie, la progression de chaque chapitre n'est pas linéaire mais systémique. Elle organise le passage de l'observation brute d'un phénomène écologique à sa problématisation. Les concepts théoriques ne sont pas présentés comme des dogmes, mais comme des outils logiques pour formuler des hypothèses vérifiables.

Cette démarche conduit l'élève à quantifier, à corréler et à modéliser. Les exercices et scénarios, ancrés dans les réalités biogéographiques congolaises (forêt du bassin, savanes du Kasaï, écosystèmes aquatiques du fleuve et des grands lacs), ne sont pas des applications terminales. Ils constituent des moments de construction et de validation du savoir, préparant ainsi rigoureusement aux évaluations de type TENASOSP et Examen d'État.

0.2. Profil de Sortie et Compétences Visées

0.2.1. Profil de sortie : l'élève-analyste des systèmes écologiques

Au terme de ce programme, l'élève possède le profil d'un analyste des systèmes écologiques. Il est apte à déconstruire la complexité d'un écosystème, à identifier les interactions fondamentales entre le biotope et la

biocénose, et à évaluer l'impact des activités humaines. Ce profil le prépare aux exigences des filières scientifiques supérieures et des carrières techniques liées à l'environnement.

0.2.2. Compétences cognitives et disciplinaires (Savoirs)

L'élève maîtrise les concepts centraux de l'écologie, tels que l'écosystème, les niveaux d'organisation, les réseaux trophiques et les cycles biogéochimiques. Il articule ces concepts pour expliquer le fonctionnement intégré des milieux naturels, des mangroves du Kongo Central aux forêts denses de la Tshopo.

0.2.3. Compétences méthodologiques et procédurales (Savoir-faire)

L'élève applique une démarche scientifique rigoureuse face à une problématique écologique. Ceci inclut la capacité à formuler une question, à émettre des hypothèses vérifiables, à collecter et à analyser des données de terrain (qualitatives et quantitatives), et à modéliser des phénomènes simples comme une succession écologique.

0.2.4. Compétences citoyennes et critiques (Savoir-être)

Au-delà de la maîtrise technique, le programme vise le développement d'une conscience écologique active. L'élève est formé à argumenter ses positions sur des enjeux locaux (gestion des déchets à Mbuji-Mayi, déforestation dans l'Équateur) en s'appuyant sur des preuves scientifiques. Il développe un esprit critique face aux informations et aux solutions simplistes.

0.3. Méthodologie et Approche par Situations

0.3.1. Le Postulat Fondamental : L'Élève Acteur

Ce manuel adopte une approche par situations (APS). Cette méthode place l'élève en position d'acteur principal de son apprentissage. La transmission verticale du savoir cède la place à une construction active. L'élève élabore sa compréhension en résolvant des problèmes écologiques concrets, contextualisés à la réalité de la RDC. L'objectif est le développement de compétences transversales, au-delà de la simple mémorisation de faits.

0.3.2. Le Déroulement Séquentiel : De la Situation-Problème à la Conceptualisation

Chaque leçon s'articule autour d'une "situation-problème". Ce scénario initial sert de point d'entrée pour mobiliser les conceptions des élèves et susciter le

questionnement. Subséquemment, les outils théoriques et les concepts scientifiques sont introduits. Leur fonction est de fournir les ressources cognitives nécessaires à l'analyse et à la résolution de la situation posée. La théorie n'est donc pas une fin en soi, mais un moyen au service de l'action réfléchie.

0.3.3. L'Évaluation Formative Intégrée

L'évaluation dans ce cadre est principalement formative et intégrée au processus d'apprentissage. Les exercices, les études de cas et les scénarios ne sont pas de simples applications terminales. Ils sont des moments d'évaluation où l'enseignant diagnostique les obstacles et ajuste sa démarche pédagogique. Le but final est la validation progressive des compétences visées par le programme, en s'assurant de la maîtrise réelle des savoirs et des savoir-faire par l'élève.

Partie 1. Pollutions et Dégradation des Milieux (MSVT 4.5)

a. Une question d'équilibre rompu

La pollution est une modification négative d'un milieu naturel. Elle se produit quand des éléments étrangers, les polluants, s'y accumulent jusqu'à perturber son fonctionnement. La République Démocratique du Congo, avec ses forêts denses et ses fleuves puissants, possède des écosystèmes à l'équilibre fragile. Leur dégradation commence souvent par l'introduction d'un simple déchet ou d'une substance chimique inadaptée.

b. Des origines multiples et quotidiennes

Diverses activités humaines génèrent la pollution. Les rejets industriels des zones minières du Haut-Katanga, les déchets plastiques envahissant les rivières de Kinshasa ou l'utilisation non contrôlée de pesticides dans les champs du Kwilu sont des exemples concrets. Chaque source, qu'elle soit domestique, agricole ou industrielle, contribue à une pression croissante sur l'eau, l'air et les sols du pays.

c. L'eau, l'air, le sol : des cibles variées

Les pollutions prennent plusieurs formes et attaquent des milieux distincts. La pollution de l'eau, visible lorsque les cours d'eau comme la N'djili charrient des détritus, peut aussi être invisible, contaminée par des bactéries. La pollution de l'air, causée par les fumées des générateurs à Bukavu, et celle du sol, due aux déchets miniers près de Kolwezi, sont d'autres fronts de cette dégradation.

d. Des conséquences en cascade

En modifiant les habitats, la pollution déclenche une série d'effets négatifs. La raréfaction des poissons dans le fleuve Congo, près de Mbandaka, impacte la sécurité alimentaire des riverains. L'air pollué provoque des maladies respiratoires dans les grandes villes. Finalement, la dégradation des écosystèmes menace la biodiversité unique du pays et compromet durablement les ressources pour le futur.

Chapitre 1. Fondements et Typologie des Pollutions

1.1. Concepts de Pollution et de Nuisance

a. Introduction : La nature et l'empreinte humaine

Un des faits les plus surprenants de l'écologie est que la nature elle-même peut "polluer" à travers un volcan en éruption ou un feu de forêt naturel. Pourtant, la pollution dont il est question dans ce cours est presque toujours une conséquence directe des activités humaines. Elle modifie un milieu de façon anormale et souvent durable.

Cet ajout d'éléments étrangers ou cette augmentation anormale de substances déjà présentes déstabilise les écosystèmes. La compréhension de ce phénomène est la première étape pour pouvoir le mesurer et le combattre. La distinction entre une simple gêne et une dégradation chimique est fondamentale.

A. La Pollution : Une Définition Scientifique

La pollution est l'introduction directe ou indirecte, par l'activité humaine, de substances, d'énergies (chaleur, bruit) ou d'organismes dans l'environnement. Cette introduction provoque des conséquences négatives et mesurables sur la santé humaine, les ressources biologiques, les écosystèmes et les biens matériels. Un sol contaminé par des rejets miniers près de Kolwezi est un exemple de pollution chimique. Une nappe phréatique rendue impropre à la consommation par une infiltration de latrines est un cas de pollution biologique.

Figure 1 : Réf. IMG (9675-9074-9579)

Amas de déchets plastiques dans une rivière près d'un marché urbain

1. Scène et Description



Marché Urbain à proximité
(Source des déchets)

Rivière urbaine obstruée

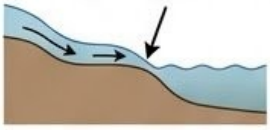
Amas de déchets plastiques

2. Analyse écologique

b.

Amas de déchets

Obstruction de l'écoulement



Add: flurement
Risque d'inondations

Eau stagnante



Prolifération de moustiques
(Vecteurs de maladies: Paludisme)

a.

Dégradation par le soleil et l'eau



Fragmentation en Microplastiques

Ingestion par la faune aquatique



Entrée dans la chaîne alimentaire

3. Concept de 'Polluant'

c.



Objet utile
(Bouteille d'eau)



Agent polluant
Non-biodégradable, persistant



Pollution (Définition)
Présence d'une substance dans un milieu où elle ne devrait pas être et où elle cause un préjudice écologique.

Figure 1 : Réf. IMG (9675-9074-9579)

Amas de déchets plastiques dans une rivière près d'un marché urbain

a. Description de la scène

Cette image montre une accumulation massive de déchets, principalement des bouteilles et des sacs en plastique, qui obstruent le cours d'une petite rivière en milieu urbain. Les couleurs vives des plastiques contrastent avec l'eau rendue trouble et stagnante. On devine une activité humaine intense à proximité, probablement un marché ou une zone d'habitation dense, qui est la source de ces déchets. L'aspect général est celui d'une dégradation évidente et d'une gestion des déchets totalement absente ou dépassée par l'ampleur du problème.

b. Analyse écologique

Ces déchets plastiques constituent une pollution physique majeure. Ils bloquent l'écoulement de l'eau, ce qui peut provoquer des inondations en amont et favorise la prolifération de moustiques, vecteurs de maladies comme le paludisme. Sous l'effet du soleil et de l'eau, les plastiques se fragmentent en microplastiques. Ces derniers sont ingérés par la faune aquatique, entrant ainsi dans la chaîne alimentaire et pouvant atteindre l'homme.

c. Le concept de 'polluant'

Dans ce cas, le plastique est le polluant. Initialement, une bouteille est un objet utile. Une fois jetée dans la rivière, elle devient un agent polluant. Sa nature non-biodégradable et sa capacité à se fragmenter en particules plus petites en font un contaminant persistant. La pollution est donc définie par la présence d'une substance dans un milieu où elle ne devrait pas être, et où elle cause un préjudice écologique.

B. La Nuisance : Une Gêne Sensorielle

Différente de la pollution, la nuisance est une gêne perçue par les sens humains : l'ouïe, l'odorat ou la vue. Son caractère est souvent subjectif et son impact, direct sur le bien-être. Ce qui dérange fortement une personne peut être toléré par une autre.

Voici des exemples concrets : - **Nuisance sonore** : Le bruit continu d'un groupe électrogène dans un quartier de Bandalungwa à Kinshasa. - **Nuisance olfactive** : Les odeurs provenant d'un élevage de porcs près d'une habitation à Kikwit. - **Nuisance visuelle** : L'amoncellement de carcasses de voitures le long d'une avenue à Lubumbashi.

Souvent, nuisance et pollution sont liées. La fumée noire d'un véhicule (pollution de l'air) est aussi une nuisance visuelle et olfactive.

Figure 2 : Réf. IMG (8613-6571-3150)

Embouteillage dense dans une grande ville avec des véhicules émettant de la fumée



Distinction nuisance/pollution (b)

Côté Nuisances

- Nuisance sonore (Bruit des moteurs, klaxons)
- Nuisance visuelle et stress de congestion

Nuisance = Avertissement (Bruit, Odeur)

Côté Pollution

Pollution de l'air (Fumée noire et gaz invisibles)

Pollution = Danger chimique réel (Inhalation)

Analyse des polluants émis (c)

- **Particules fines (suie)** -> Pénétration profonde dans les poumons
- **Oxydes d'azote (NOx)** -> Irritants respiratoires, pluies acides
- **Monoxyde de carbone (CO)** -> Toxique, asphyxie
- **Hydrocarbures imbrûlés** -> Toxiques, précurseurs d'ozone

1. **Inhalation profonde:** Pénétration dans les poumons
2. **Santé:** Maladies respiratoires (causes, aggravations)
3. **Environnement:** Pluies acides et Changement climatique

Nuisance (bruit, odeur) est un **avertissement**, la **pollution** est le **danger chimique réel.**

Figure 2 : Réf. IMG (8613-6571-3150)

Embouteillage dense dans une grande ville avec des véhicules émettant de la fumée

a. Description de la scène

La photographie capture une scène d'embouteillage typique d'une grande métropole. Des voitures, des bus et des motos sont à l'arrêt ou avancent très lentement. Un véhicule ancien au centre de l'image émet une épaisse fumée noire et opaque de son pot d'échappement. L'air semble lourd et la densité de véhicules crée une impression de chaos et de saturation de l'espace. L'environnement est entièrement bâti, sans la moindre trace de végétation visible, ce qui accentue la sensation d'asphyxie.

b. Distinction nuisance/pollution

Cette scène illustre parfaitement la coexistence de la nuisance et de la pollution. Le bruit des moteurs et des klaxons est une nuisance sonore. La congestion visuelle et le stress de l'embouteillage sont des nuisances. En revanche, la fumée noire est le signe visible d'une pollution de l'air bien réelle, même si une partie de ses composants est invisible et inodore.

c. Analyse des polluants émis

La fumée est un cocktail de polluants. Elle contient des particules fines (suie), du monoxyde de carbone (CO), des oxydes d'azote (NOx) et des hydrocarbures imbrûlés. Ces substances sont toxiques. Elles pénètrent profondément dans les poumons, causant ou aggravant des maladies respiratoires. Elles contribuent aussi à la formation de pluies acides et au changement climatique. La nuisance (bruit, odeur) est un avertissement, la pollution est le danger chimique réel.

C. Le Polluant : L'Agent de la Dégradation

Un polluant est l'agent physique, chimique ou biologique qui, introduit dans un écosystème, en altère le fonctionnement. On le classe selon sa nature.

- **Polluants chimiques** : Ce sont des substances. Exemples : les pesticides utilisés en agriculture dans la plaine de la Ruzizi, le mercure issu de l'orpaillage artisanal en Ituri, les rejets industriels non traités.

- **Polluants physiques** : Ce sont des matériaux ou des formes d'énergie. Exemples : les déchets plastiques dans le lac Kivu, les poussières émises par une cimenterie à Lukala (Kongo Central), la chaleur excessive rejetée dans un cours d'eau par une usine.
- **Polluants biologiques** : Ce sont des micro-organismes ou des espèces vivantes. Exemples : les bactéries fécales (comme *Vibrio cholerae*) contaminant une source d'eau, une plante envahissante comme la jacinthe d'eau qui étouffe les cours d'eau dans la région de l'Équateur.

Scénarios et Exercices

Une anecdote du fleuve

Papa Mado pêche sur le fleuve Congo, près de Kisangani, depuis plus de quarante ans. Depuis quelques années, il se plaint. "Avant, l'eau était claire et le poisson abondant. Maintenant, après la pluie, l'eau reste brune pendant des jours et elle sent une odeur bizarre, comme le métal rouillé". Il a remarqué que les poissons se font plus rares et que certaines espèces qu'il attrapait facilement ont disparu. Il soupçonne une nouvelle usine de traitement de bois, installée à 30 km en amont, de "cracher quelque chose" dans l'affluent qui la borde. Il n'a aucune preuve, juste l'observation d'un milieu qu'il connaît par cœur et qui se dégrade sous ses yeux. Son expérience intuitive illustre la réalité concrète de la pollution.

Exercice 1 : Maman Thècle et l'atelier de menuiserie

Énoncé : Un atelier de menuiserie vient de s'installer à côté de la parcelle de Maman Thècle à Kananga. Du matin au soir, elle entend le bruit assourdissant des scies. De plus, une fine poussière de bois se dépose sur son linge et elle sent souvent une forte odeur de vernis. Distinguez, dans cette situation, ce qui relève de la nuisance et ce qui relève de la pollution.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier les nuisances** La nuisance est une gêne sensorielle. Ici, le bruit constant et assourdissant des machines (scies, raboteuses) constitue une nuisance sonore claire. Elle affecte directement le confort et la quiétude de Maman Thècle.

2. **Étape 2 : Identifier les pollutions** La pollution implique l'introduction d'agents contaminants. La fine poussière de bois est un polluant physique (particules en suspension dans l'air) qui peut causer des problèmes respiratoires. L'odeur de vernis signale la présence de

Composés Organiques Volatils (COV), qui sont des polluants chimiques potentiellement toxiques pour la santé.

Exercice 2 : Banza et le champ de maïs

Énoncé : Banza, un élève de Mbuji-Mayi, passe ses vacances chez son oncle dans un village du Kasaï. Il observe son oncle pulvériser un liquide laiteux à l'odeur forte sur son champ de maïs pour tuer les insectes. Quel est le type de polluant probable ? Quel est l'écosystème directement visé et quels sont les risques indirects pour l'environnement ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier la nature du polluant** Le liquide pulvérisé est un insecticide. Il s'agit donc d'un pesticide, qui est classé comme un polluant chimique. Son but est d'éliminer des organismes vivants (les insectes ravageurs).
2. **Étape 2 : Analyser les risques directs et indirects** L'écosystème directement visé est l'agro-écosystème (le champ de maïs). Le risque direct est de tuer les insectes ciblés. Les risques indirects sont nombreux :
   - **Pollution de l'eau :** Par ruissellement, le pesticide peut atteindre les rivières et les nappes phréatiques.
   - **Pollution du sol :** Le produit s'accumule dans la terre et peut nuire aux micro-organismes du sol.
   - **Impact sur la biodiversité :** Le pesticide peut tuer des insectes non ciblés, comme les abeilles, qui sont essentielles pour la pollinisation.
   - **Risque sanitaire :** Des résidus de pesticide peuvent rester sur le maïs consommé ou contaminer l'eau de boisson.

1.2. Classification des Polluants

a. Une leçon venue de l'Antiquité

Pendant que les ingénieurs romains construisaient leurs célèbres aqueducs, ils utilisaient massivement le plomb pour les canalisations. Ils ignoraient alors que ce métal lourd s'infiltrait lentement dans l'eau, empoisonnant discrètement la population. Cette pollution "silencieuse" est un exemple ancien de contaminant persistant.

La classification des polluants aide à comprendre ces dangers. Elle permet d'organiser la complexité des substances nocives selon leur nature, leur origine ou leur devenir dans l'environnement. C'est un outil indispensable pour l'écologue.

A. Classification selon l'origine

Un polluant est d'abord classé selon sa provenance. Cette distinction est fondamentale pour identifier les responsabilités et les solutions.

Il existe deux grandes origines :

- **L'origine naturelle.** Certains polluants proviennent de phénomènes naturels. Une éruption du volcan Nyiragongo à Goma libère des gaz soufrés et des cendres dans l'atmosphère. Ce sont des polluants naturels.
- **L'origine anthropique.** Ces polluants résultent des activités humaines. Les rejets d'une usine de textile à Lubumbashi, les gaz d'échappement d'un groupe électrogène à Kinshasa ou les pesticides utilisés dans un champ à Bandundu sont des polluants d'origine anthropique.

B. Classification selon la nature

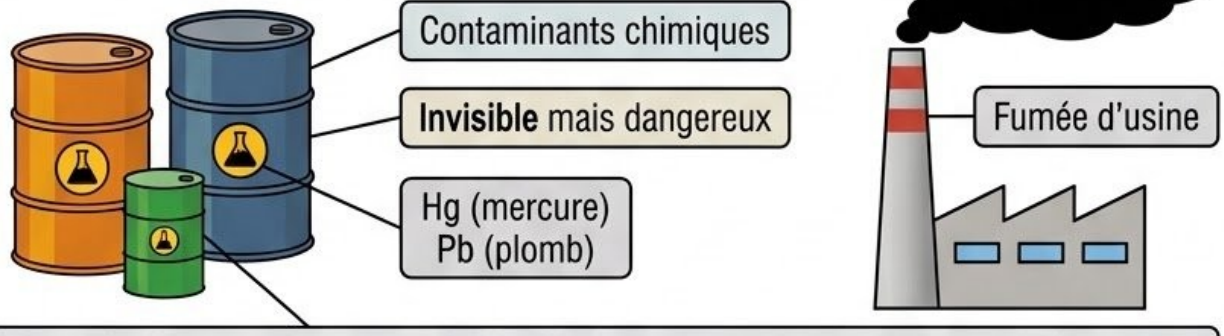
Les polluants sont aussi groupés par leur nature physique, chimique ou biologique.

- **Polluants chimiques.** Ils incluent les métaux lourds (mercure, plomb, cadmium), les gaz toxiques (CO, SO_2), les pesticides et les hydrocarbures. L'orpaillage illégal dans la Province Orientale libère souvent du mercure dans les rivières.
- **Polluants physiques.** Ils correspondent à une modification de l'environnement physique. Cela inclut la pollution thermique (rejet d'eau chaude par une centrale), la pollution sonore (bruit excessif) et la pollution radioactive (déchets nucléaires).
- **Polluants biologiques.** Ce sont des micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites) introduits dans l'eau ou les sols. Le vibrion du choléra dans une source d'eau non traitée est un polluant biologique.

Figure 3 : Réf. IMG (5680-1940-6648)

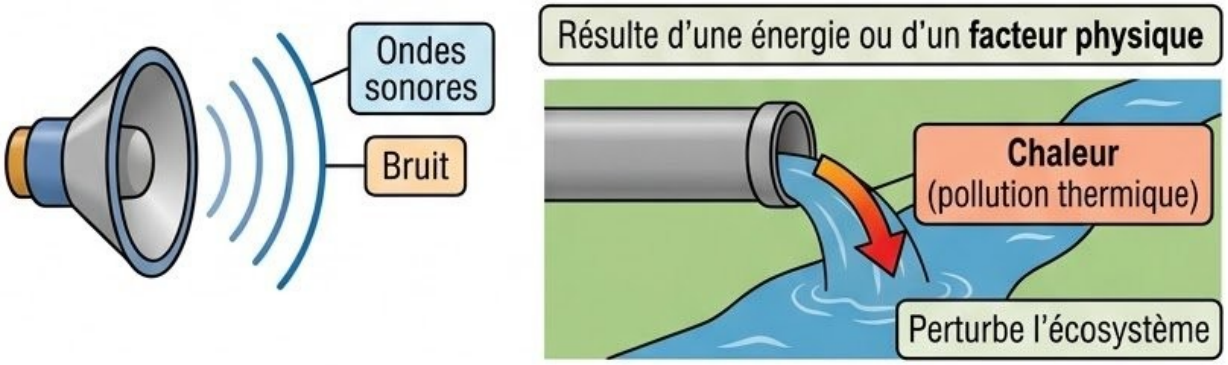
Schéma simplifié des trois natures de polluants et leurs exemples concrets

a. Polluants chimiques



Toxicité affectant directement la biochimie des organismes vivants, maladies graves

b. Polluants physiques



c. Polluants biologiques

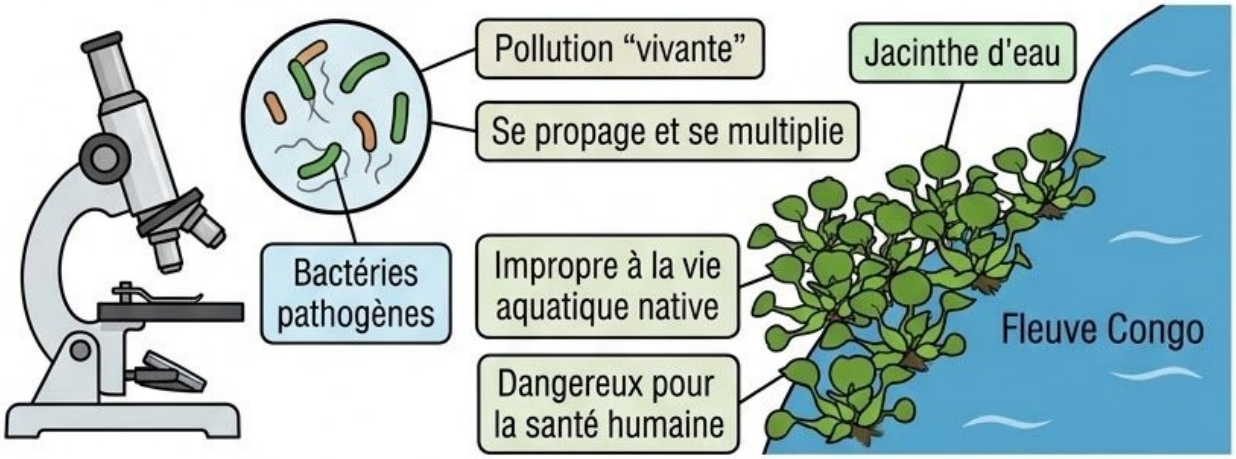


Figure 3 : Réf. IMG (5680-1940-6648)

Schéma simplifié des trois natures de polluants et leurs exemples concrets

a. Polluants chimiques

L'illustration montre des barils de produits industriels et la fumée noire d'une usine. Ces images symbolisent les contaminants chimiques. Les formules comme Hg (mercure) et Pb (plomb) sont souvent associées à cette catégorie. Leur toxicité affecte directement la biochimie des organismes vivants, provoquant des maladies graves ou des déséquilibres hormonaux. Ils sont invisibles mais très dangereux.

b. Polluants physiques

Ici, le visuel représente des ondes sonores émanant d'un haut-parleur et une flèche indiquant la chaleur (pollution thermique) sortant d'un tuyau dans un cours d'eau. La pollution physique ne résulte pas d'une substance mais d'une énergie ou d'un facteur physique qui perturbe l'écosystème.

c. Polluants biologiques

Le dessin figure une vue au microscope de bactéries pathogènes et la prolifération d'une plante aquatique envahissante, comme la jacinthe d'eau sur le fleuve Congo. Cette pollution est "vivante". Elle se propage et se multiplie, rendant les milieux impropres à la vie aquatique native ou dangereux pour la santé humaine.

C. Classification selon la dégradabilité

Enfin, la capacité d'un polluant à être éliminé par l'environnement est un critère crucial.

- **Polluants biodégradables.** Des processus biologiques naturels peuvent les décomposer. Les eaux usées domestiques ou les déchets de cuisine (restes de fufu, épluchures de manioc) sont biodégradables. Leur danger diminue avec le temps si le milieu n'est pas surchargé.
- **Polluants persistants (ou non biodégradables).** L'environnement ne peut pas les dégrader, ou alors très lentement. Les plastiques, les métaux lourds et certains pesticides (DDT) s'accumulent dans la

chaîne alimentaire. Une bouteille en plastique jetée dans le lac Kivu y restera des centaines d'années.

L'étrange cas des jacinthes d'eau du fleuve Congo

La jacinthe d'eau est une plante aquatique d'une beauté trompeuse. Introduite sur le continent africain, elle a proliféré de manière explosive dans le fleuve Congo. Pour un observateur non averti, ce tapis de fleurs violettes flottant près de Mbandaka, dans la province de l'Équateur, pourrait sembler charmant. En réalité, c'est une catastrophe écologique. Cette plante est un polluant biologique. En recouvrant la surface de l'eau, elle bloque la lumière du soleil, empêchant la photosynthèse des algues natives. Sa décomposition consomme d'énormes quantités d'oxygène, asphyxiant les poissons. Pour les pêcheurs, la navigation devient impossible, leurs filets s'y accrochent et les prises diminuent. La jacinthe d'eau illustre parfaitement comment un organisme vivant peut devenir un polluant majeur.

Exercice 1 : La fuite de la vieille batterie à Kananga

Énoncé : Papa Kabeya, habitant de Kananga, a laissé une vieille batterie de voiture au fond de son jardin. Après plusieurs saisons de pluies, la coque en plastique s'est fissurée, laissant fuir de l'acide sulfurique et du plomb dans le sol où il cultive ses légumes. Classifiez ces deux polluants.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification des polluants** Les polluants sont le plomb (Pb) et l'acide sulfurique (H_2SO_4).
2. **Étape 2 : Classification selon l'origine** L'origine est anthropique. La batterie est un produit fabriqué par l'homme.
3. **Étape 3 : Classification selon la nature** Les deux substances sont des polluants chimiques. Le plomb est un métal lourd toxique et l'acide sulfurique est un produit chimique corrosif.
4. **Étape 4 : Classification selon la dégradabilité** Le plomb est un polluant persistant. C'est un élément chimique, il ne se dégrade pas et s'accumule dans le sol. L'acide sulfurique est réactif et peut être neutralisé par les minéraux du sol, mais son impact initial est violent.