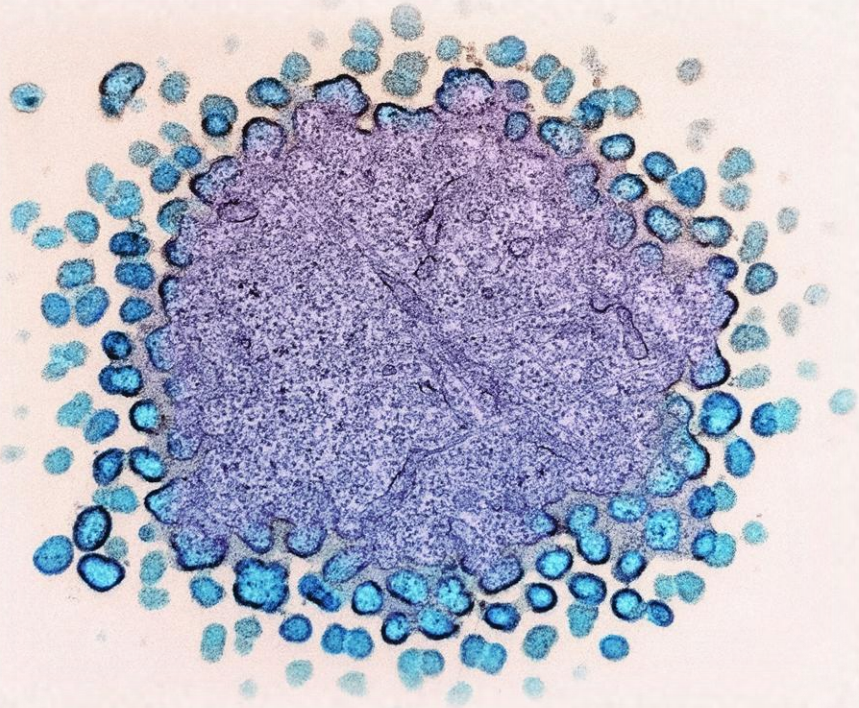
# MICROBIOLOGIE



CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

2è Année

EDITION 2025

DES HUMANITÉS



# TABLE DES MATIÈRES

**PRÉLIMINAIRES** ..... **1**

Objectifs pédagogiques ..... 1

- 1. Maîtrise des concepts fondamentaux ..... 1
- 2. Acquisition des compétences pratiques et techniques ..... 1
- 3. Structuration du raisonnement scientifique ..... 1

Présentation générale du cours ..... 2

- 1. Finalités du cours ..... 2
- 2. Approche Pédagogique ..... 2

Consignes méthodologiques ..... 3

- 1.1. Progression didactique du concret vers l'abstrait ..... 3
- 1.2. La primauté du raisonnement scientifique ..... 3
- 2.1. L'articulation tripartite des leçons ..... 3
- 2.2. L'exploitation des scénarios et exercices ..... 3

**PARTIE I. APPROFONDISSEMENT DES BASES MICROBIOLOGIQUES** ..... **4**

a. Retour sur les fondamentaux ..... 4

b. De l'observation à l'identification ..... 4

c. Un monde invisible diversifié ..... 4

d. La microbiologie au quotidien ..... 4

**CHAPITRE 1. DIVERSITÉ ET CLASSIFICATION DES PROCARYOTES** ..... **5**

1.1. Critères moléculaires de classification ..... 5

- a. L'empreinte digitale du vivant ..... 5
- A. L'hybridation ADN-ADN : le test de parenté ..... 5
- B. Le séquençage de l'ARNr 16S : la carte d'identité universelle ..... 5

**FIGURE 1 : RÉF. IMG (3139-0924-6411)** ..... **8**

Arbre phylogénétique simple basé sur la comparaison de séquences d'ARNr 16S ..... 8

- Anecdote : La découverte des Archées ..... 8

1.2. Bactéries et Archées extrêmophiles ..... 10

- a. Les champions de l'impossible ..... 10
- A. Définition et domaines de la vie extrême ..... 10

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

- B. Les grandes familles d'extrêmophiles.....10

**FIGURE 2 : RÉF. IMG (2669-7125-5925).....13**

Schéma des différents types de micro-organismes extrêmophiles et leurs habitats.....13

- b. L'anecdote du chercheur du lac Kivu.....13

1.3. Systématique phylogénétique.....15

- a. L'arbre généalogique des microbes.....15
- A. Le principe : de l'apparence à l'ADN.....15
- B. L'arbre phylogénétique : lire une histoire évolutive.....15

**FIGURE 3 : RÉF. IMG (5808-3269-8014).....18**

Arbre phylogénétique simplifié des trois domaines du vivant.....18

- Scénarios et Exercices.....18

**CHAPITRE 2. DIVERSITÉ DES EUCARYOTES MICROSCOPIQUES.....21**

2.1. Protozoaires parasitaires.....21

- a. L'ennemi invisible.....21
- A. Définition et caractéristiques générales.....21
- B. Classification basée sur la mobilité.....21

**FIGURE 4 : RÉF. IMG (4320-6572-2040).....24**

Le cycle de vie complexe du Plasmodium, agent du paludisme.....24

- b. L'héritage de la mouche tsé-tsé.....24

2.2. Mycètes filamenteux.....26

- a. Les architectes du recyclage.....26
- A. Structure et organisation.....26

**FIGURE 5 : RÉF. IMG (5845-2186-6151).....28**

Anatomie d'un mycète filamenteux et son cycle de vie.....28

- B. Nutrition et reproduction.....28

2.3. Micro-algues.....30

- a. L'oxygène du fleuve et le phytoplancton.....30
- A. Définition et caractéristiques.....30
- B. Classification simplifiée.....31
- C. Importance écologique et économique.....31

2.4. Relations évolutives et théorie endosymbiotique.....33


MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

- a. Une cohabitation inattendue.....33
- A. Le principe de l'endosymbiose.....34
- B. Les preuves scientifiques.....34

**FIGURE 6 : RÉF. IMG (5777-2829-2043).....36**

Représentation schématique de la théorie endosymbiotique pour les mitochondri.....36

- C. Conséquences évolutives.....36

**CHAPITRE 3. VIROLOGIE AVANCÉE.....39**

3.1. Classification des virus (Baltimore, structure enveloppée/nue).....39

- a. Une question de méthode.....39
- A. La structure : Virus nus contre virus enveloppés.....39

**FIGURE 7 : RÉF. IMG (6941-9597-0184).....41**

Comparaison structurelle d'un virus nu et d'un virus enveloppé.....41

- B. Le génome : La classification de Baltimore.....41

3.2. Virus à ARN simple brin.....44

- a. Le champion de l'instabilité.....44
- A. Polarité positive et négative : une question de sens.....44

**FIGURE 8 : RÉF. IMG (0452-7479-9102).....46**

Cycle de réplication comparé des virus ARN simple brin.....46

- B. La transcription inverse : une signature des rétrovirus.....46

3.3. Virus à ADN double brin.....48

- a. Les architectes du monde viral.....48
- A. Structure et Génome : Une Stabilité à Toute Épreuve.....48

**FIGURE 9 : RÉF. IMG (1092-3067-2781).....51**

Structure schématique d'un virus de l'herpès (Herpesviridae).....51

- B. Exemples Marquants et Pathologies Associées.....51

**FIGURE 10 : RÉF. IMG (8354-4022-8476).....54**

Cycle de réplication d'un virus à ADN double brin dans le noyau.....54

- Scénarios et Exercices.....54
- Une histoire de varicelle au bord du fleuve Kwilu.....54

**CHAPITRE 4. MÉTHODES MOLÉCULAIRES EN MICROBIOLOGIE.....57**

4.1. Extraction et purification d'ADN/ARN....57
- a. Le trésor caché dans la cellule....57
- A. La lyse cellulaire : casser les murs....57
- B. La purification : trier le contenu....57

4.2. Techniques d'amplification et de séquençage (PCR, NGS)....59
- a. Introduction : voir l'infiniment petit....59
- A. La PCR : La Photocopieuse à ADN....60
- B. Le NGS : La Lecture à Très Grande Vitesse....60

4.3. Électrophorèse et analyse de fragments....62
- a. Accroche : La course des fragments....62
- A. Le principe de la séparation par électrophorèse....63
- B. Interprétation du profil électrophorétique....63

**PARTIE II. MÉCANISMES CELLULAIRES ET MÉTABOLIQUES....66**

La cellule : une usine vivante....66

Le métabolisme : le moteur de la vie....66

La construction cellulaire : l'anabolisme....66

La dégradation : le catabolisme et le recyclage....66

**CHAPITRE 5. PHYSIOLOGIE BACTÉRIENNE AVANCÉE....67**

5.1. Respiration anaérobie et métabolismes atypiques....67
- a. L'oxygène, une condition non négociable ?....67
- A. La respiration anaérobie : le plan B des bactéries....67
- B. La fermentation : une survie en mode économique....67

5.2. Stress oxydatif et mécanismes de défense....70
- a. L'oxygène, un ami qui peut devenir un ennemi....70
- A. Le Stress Oxydatif : Une "Rouille" Cellulaire....70

**FIGURE 11 : RÉF. IMG (4859-4216-2544)....72**

L'attaque d'un radical libre sur la membrane d'une bactérie....72
- B. Les Systèmes de Défense : Le Bouclier Antioxydant....72

**FIGURE 12 : RÉF. IMG (6275-5600-8718)....75**

La cascade de détoxification enzymatique chez une bactérie aérobie....75
- L'anecdote de la viande séchée du Kasaï....75

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

5.3. Communication intercellulaire : le Quorum Sensing....77
- a. Une conversation invisible....77
- A. Le principe du recensement bactérien....77
- B. Les actions coordonnées....78

**FIGURE 13 : RÉF. IMG (4469-5724-8639)....80**

Schéma simplifié du mécanisme de Quorum Sensing chez les bactéries....80
- b. Scénarios et exercices....80

5.4. Sporulation et formes de résistance....82
- a. L'invincibilité microscopique....82
- A. La Sporulation : Le Mode "Bunker" des Bactéries....82
- B. L'Endospore : Une Armure Biologique....82

**FIGURE 14 : RÉF. IMG (4688-2061-8038)....85**

Cycle de vie de la sporulation et germination bactérienne....85
- Scénarios et Exercices....85
- Une leçon de prudence à l'Équateur....85

**CHAPITRE 6. MÉTABOLISMES INTERMÉDIAIRES....88**

6.1. Voies de la bêta-oxydation des acides gras....88
- a. Le secret énergétique de nos ancêtres....88
- A. Localisation et activation de la réaction....88
- B. La spirale de Lynen : le découpage séquentiel....88

**FIGURE 15 : RÉF. IMG (3615-5236-9330)....90**

Schéma simplifié de la bêta-oxydation dans la mitochondrie....90
- b. Scénarios et Exercices....90

6.2. Cycles métaboliques alternatifs (cycle du glyoxylate)....92
- a. La magie biochimique des plantes....92
- A. Définition et Rôle : La voie de secours anabolique....92
- B. Les Étapes Clés et les Enzymes Uniques....93

**FIGURE 16 : RÉF. IMG (3645-6377-9328)....95**

Schéma simplifié du cycle du glyoxylate et ses enzymes clés....95
- Scénarios et Exercices....95
- Une anecdote de l'agriculteur du Kwilu....95

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

6.3. Rôle dans les cycles biogéochimiques (Azote, Soufre).....97
- a. Le grand recyclage de la nature.....97
- A. Le cycle de l'azote : des bactéries au service de la vie.....97

**FIGURE 17 : RÉF. IMG (0271-9419-1464).....100**

Le cycle de l'azote simplifié et ses acteurs microbiens essentiels.....100
- B. Le cycle du soufre : des odeurs aux nutriments.....100

**CHAPITRE 7. PATHOGÉNIE BACTÉRIENNE.....103**

7.1. Facteurs de virulence, toxines et superantigènes.....103
- a. Les armes du monde invisible.....103
- A. Les Facteurs de Virulence : L'équipement du combattant.....103

**FIGURE 18 : RÉF. IMG (1410-1909-5449).....105**

Représentation schématique des principaux facteurs de virulence d'une bactéri.....105
- B. Les Toxines : Poisons du monde microbien.....105

**FIGURE 19 : RÉF. IMG (9212-1270-1993).....107**

Comparaison entre la production d'exotoxines et la libération d'endotoxines b.....107
- C. Les Superantigènes : Amplificateurs de chaos.....107

7.2. Formation et rôle des biofilms.....109
- a. La stratégie de la forteresse.....109
- A. Les étapes de construction d'un biofilm.....110

**FIGURE 20 : RÉF. IMG (7146-8781-2397).....112**

Étapes clés de la formation d'un biofilm bactérien sur une surface.....112
- B. Le rôle du biofilm : un enjeu médical majeur.....112

7.3. Stratégies d'évasion du système immunitaire.....115
- a. Le jeu du cache-cache cellulaire.....115
- A. Le camouflage et le bouclier : la capsule et le biofilm.....115
- B. Le sabotage actif et la dissimulation.....115

**FIGURE 21 : RÉF. IMG (5890-6451-3847).....118**

Schéma d'une bactérie encapsulée échappant à un phagocyte du système immunita.....118
- b. L'ennemi intérieur : le bacille de Koch.....118

**CHAPITRE 8. RÉPLICATION ET PATHOGÉNIE VIRALE.....121**

8.1. Mécanismes d'entrée cellulaire....121
- a. L'art de forcer la porte....121
- A. La fusion directe : l'abordage frontal....121

**FIGURE 22 : RÉF. IMG (9796-5014-0511)....123**

Schéma de la fusion membranaire d'un virus enveloppé....123
- B. L'endocytose : la stratégie du cheval de Troie....123

**FIGURE 23 : RÉF. IMG (9171-9264-9702)....126**

Les étapes de l'entrée virale par endocytose....126
- b. Une histoire de chikungunya à Mbandaka....126

8.2. Étapes d'expression génique virale....128
- a. Le détournement programmé....128
- A. La Transcription : Le Recopieur Forcé....128

**FIGURE 24 : RÉF. IMG (1345-2025-9920)....131**

Schéma simplifié de la transcription virale dans le noyau cellulaire....131
- B. La Traduction : L'Usine Réquisitionnée....131

**FIGURE 25 : RÉF. IMG (0246-3075-7050)....133**

Un ribosome traduisant l'ARN messager viral en nouvelles protéines virales....133
- C. La Régulation : Le Chef d'Orchestre Clandestin....133

8.3. Assemblage et libération des virions....135
- a. L'usine de montage cellulaire....135
- A. L'assemblage des virions : Le puzzle final....135

**FIGURE 26 : RÉF. IMG (7397-7496-2707)....138**

Les deux stratégies de libération d'un virus hors de la cellule....138
- B. La libération des virions : L'évasion....138

8.4. Mutations, évolution virale et tropisme....140
- a. L'erreur est virale....140
- A. La Mutation : Moteur du Changement Viral....141
- B. Le Tropisme : Une Histoire de Clé et de Serrure....141

**FIGURE 27 : RÉF. IMG (9334-5803-0168)....143**

Schéma du tropisme viral : le principe de la clé et de la serrure....143

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

- Le paradoxe du virus de la grippe aviaire.....143

**PARTIE III. MICROBIOLOGIE APPLIQUÉE.....146**

Un monde invisible au service de l'homme.....146

De la fermentation à l'agriculture.....146

La santé et l'industrie pharmaceutique.....146

L'environnement et les applications industrielles.....146

**CHAPITRE 9. BIOTECHNOLOGIES MICROBIENNES.....147**

9.1. Production d'enzymes industrielles.....147

- a. Les ouvriers invisibles de l'industrie.....147
- A. Définition et rôle des enzymes.....147
- B. Le processus de production par fermentation.....147

**FIGURE 28 : RÉF. IMG (1237-3348-3869).....150**

Schéma simplifié d'un fermenteur pour la production d'enzymes microbiennes.....150

- Scénarios et Exercices.....150
- Une anecdote de brasserie à Boma.....150

9.2. Génie génétique bactérien et protéines recombinantes.....152

- a. Une usine dans une bactérie ?.....152
- A. Le principe du copier-coller génétique.....152

**FIGURE 29 : RÉF. IMG (8203-3892-7989).....155**

Schéma simplifié de l'insertion d'un gène dans un plasmide bactérien.....155

- B. La protéine recombinante : le produit final.....155

9.3. Utilisation des vecteurs viraux.....158

- a. Un pirate cellulaire reconverti.....158
- A. Principe du vecteur viral.....158
- B. Approches thérapeutiques et limites.....159

**FIGURE 30 : RÉF. IMG (0776-6553-1673).....162**

Les deux approches principales de la thérapie génique utilisant des vecteurs .....162

- b. Scénarios et exercices.....162

9.4. Applications pharmaceutiques (antibiotiques, etc.).....164

- a. Le miracle dans la moisissure.....164
- A. La Production d'Antibiotiques : Une Guerre Chimique Naturelle.....164


MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

**FIGURE 31 : RÉF. IMG (2981-1390-3722)** ..... **166**

Schéma simplifié d'un fermenteur industriel pour la production de pénicilline ..... 166

- B. Les Micro-organismes, Usines à Molécules Complexes ..... 166

**CHAPITRE 10. GESTION DES DÉCHETS ET BIO-REMÉDIATION** ..... **169**

10.1. Biorémédiation des sols contaminés ..... 169

- a. La nature, premier agent de propreté ..... 169
- A. Définition et principe de la biorémédiation ..... 169
- B. Conditions de succès et applications ..... 169

**FIGURE 32 : RÉF. IMG (5990-9515-1651)** ..... **172**

Schéma simplifié de la biorémédiation d'un sol contaminé par hydrocarbures ..... 172

- a. L'anecdote : Le champ de manioc de Maman Hélène à Mbandaka ..... 172

10.2. Traitement microbien des effluents et eaux usées ..... 174

- a. Le défi de l'assainissement ..... 174
- A. Les étapes clés du traitement biologique ..... 174
- B. Boues activées et traitement tertiaire ..... 175

**FIGURE 33 : RÉF. IMG (3873-3150-2402)** ..... **177**

Schéma simplifié d'une station d'épuration par boues activées ..... 177

- L'anecdote de Papa Kabasele à Kikwit ..... 177

10.3. Synergie microbes-plantes : la phytoremédiation ..... 179

- a. Le défi de la pollution industrielle ..... 179
- A. Définition et principe de base ..... 179
- B. Les principaux mécanismes d'action ..... 180

**FIGURE 34 : RÉF. IMG (9015-3098-9212)** ..... **182**

Schéma du processus de phytoremédiation dans la rhizosphère d'une plante ..... 182

- b. Scénarios et exercices ..... 182

10.4. Cultures symbiotiques contrôlées (CSC) ..... 184

- a. Une alliance bénéfique sous contrôle ..... 184
- A. Définition et principe fondamental ..... 184

**FIGURE 35 : RÉF. IMG (3315-8890-1645)** ..... **185**

Schéma simplifié d'une culture symbiotique de type SCOBY (kombucha) ..... 185

- B. Applications courantes des CSC ..... 185

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

**FIGURE 36 : RÉF. IMG (2919-9540-6279)....188**

Application de la bio-remédiation d'un sol pollué par hydrocarbures....188

- Une histoire de "Munkoyo" au Kasaï....188

**CHAPITRE 11. AGRO-MICROBIOLOGIE....191**

11.1. Rhizobactéries et fixation de l'azote....191

- a. L'intuition des anciens agriculteurs....191
- A. L'azote, un élément vital mais inaccessible....191
- B. La symbiose légumineuse-Rhizobium....191

**FIGURE 37 : RÉF. IMG (9368-0689-9840)....193**

Nodosités sur les racines d'une plante légumineuse après infection par Rhizob....193

- C. Le processus de fixation biologique de l'azote....193

**FIGURE 38 : RÉF. IMG (0507-6076-7020)....195**

Cycle de l'azote simplifié montrant la fixation biologique par les bactéries....195

- b. Scénarios et exercices....195

11.2. Biopesticides : alternatives aux produits chimiques....197

- a. Une armée invisible au service de l'agriculture....197
- A. Principes et catégories de biopesticides....197

**FIGURE 39 : RÉF. IMG (0515-5636-1897)....199**

Action de la bactérie Bacillus thuringiensis (Bt) sur une chenille nuisible....199

- B. Avantages et limites....199

11.3. Rôle des microbes dans la fertilité des sols....201

- a. Le pacte secret sous nos pieds....201
- A. La décomposition : le grand recyclage de la nature....202
- B. La nutrition des plantes : le cycle de l'azote....202

11.4. Probiotiques en élevage animal....204

- a. L'armée invisible de nos fermes....204
- A. Définition et Mécanisme d'Action....205

**FIGURE 40 : RÉF. IMG (7729-3131-5296)....207**

Mécanisme d'action des probiotiques dans l'intestin d'un animal d'élevage....207

- B. Avantages et Applications Concrètes....207

**FIGURE 41 : RÉF. IMG (9442-9355-4400)** ..... **210**

Comparaison visuelle entre un lot de poulets avec et sans probiotiques ..... 210

- b. Scénarios et Exercices ..... 210

**CHAPITRE 12. MICROBIOLOGIE ALIMENTAIRE AVANCÉE** ..... **213**

12.1. Fermentations alimentaires complexes ..... 213

- a. L'art ancestral de la conservation ..... 213
- A. La fermentation, une transformation contrôlée ..... 213
- B. Les fermentations mixtes et séquentielles ..... 213

**FIGURE 42 : RÉF. IMG (9131-7136-8722)** ..... **216**

Le voyage microbien du manioc vers la délicieuse chikwangue ..... 216

- L'erreur heureuse de Maman Alphonsine ..... 216

12.2. Contrôle de qualité sanitaire : le système HACCP ..... 218

- a. L'approche préventive ..... 218
- A. Définition et principes du HACCP ..... 218

12.3. Principaux pathogènes alimentaires ..... 220

- a. Le danger invisible ..... 220
- A. Les bactéries d'origine fécale : Salmonella et E. coli ..... 221
- B. Les bactéries productrices de toxines : Staphylococcus et Clostridium ..... 221

**FIGURE 43 : RÉF. IMG (5128-8346-6339)** ..... **223**

Microscopie électronique de pathogènes alimentaires courants ..... 223

- C. Les virus et parasites ..... 223

12.4. Additifs et cultures d'origine microbienne ..... 225

- a. L'industrie alimentaire, une ferme à microbes ..... 225
- A. Les additifs produits par des micro-organismes ..... 226
- B. Les cultures de démarrage ou ferments ..... 226

**PARTIE IV. MICROBIOLOGIE CLINIQUE ET SANTÉ PUBLIQUE** ..... **229**

Du symptôme au diagnostic ..... 229

L'épidémiologie : la science de la surveillance ..... 229

Prévention et contrôle : l'art de la riposte ..... 229

Le laboratoire au service de la décision ..... 229

**CHAPITRE 13. DIAGNOSTIC MICROBIOLOGIQUE EN LABORATOIRE** ..... **230**

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

13.1. Techniques sérologiques (ELISA, agglutination)....230
- a. L'espionnage du sérum sanguin....230
- A. Le principe de l'agglutination : la rencontre visible....230
- B. La technique ELISA : la réaction colorée....230

**FIGURE 44 : RÉF. IMG (2797-3560-5656)....233**

Principe simplifié de la réaction du test ELISA....233
- Scénarios et exercices....233
- L'inquiétude de Papa Mbuyi à Kikwit....233

13.2. Hémocultures et utilisation des milieux sélectifs....235
- a. L'ennemi invisible dans le sang....235
- A. L'Hémoculture : Une Culture en Milieu Liquide....235
- B. Les Milieux Sélectifs : Orienter l'Identification....236

**FIGURE 45 : RÉF. IMG (4106-4133-9800)....238**

Boîte de Pétri avec milieu MacConkey montrant des colonies bactériennes colorées....238
- L'énigme de la fièvre de Gemena....238

13.3. Analyse de la sensibilité : l'antibiogramme....240
- a. Introduction : une question de cible....240
- A. Principe de la méthode par diffusion....240
- B. Interprétation des résultats....240

13.4. Normes de sécurité en laboratoire de microbiologie (BSL)....243
- a. De la prudence ancestrale à la science moderne....243
- A. Définition des Niveaux de Biosécurité (BSL)....243
- B. La classification des BSL (de 1 à 4)....243

**FIGURE 46 : RÉF. IMG (2795-6060-5809)....246**

Équipements de protection individuelle (EPI) selon le niveau de risque....246
- Scénarios et Exercices....246
- Anecdote : Le technicien distrait de Kisangani....246

**CHAPITRE 14. ÉPIDÉMIOLOGIE ET CONTRÔLE DES INFECTIONS....249**

14.1. Principes fondamentaux de l'épidémiologie....249
- a. L'enquêteur de la santé publique....249
- A. L'épidémiologie : une enquête scientifique....249
- B. Les deux indicateurs vitaux : Incidence et Prévalence....249

- C. La triade épidémiologique : Agent, Hôte, Environnement.....250

14.2. Surveillance et maladies à déclaration obligatoire.....252

- a. L'information qui sauve des vies.....252
- A. La Surveillance Épidémiologique : L'Œil de la Santé Publique.....252
- B. Les Maladies à Déclaration Obligatoire (MADO).....253

**FIGURE 47 : RÉF. IMG (0599-4364-1366).....255**

Le circuit d'une information depuis le centre de santé jusqu'à l'OMS.....255

- Scénarios et Exercices.....255
- Anecdote : La vigilance d'un enseignant à Gemena.....255

14.3. Stratégies de prévention et de réponse (Vaccination, Plans d'urgence).....257

- a. Le manguier de Mbandaka.....257
- A. La Vaccination, notre bouclier biologique.....257

**FIGURE 48 : RÉF. IMG (3697-5895-9206).....260**

Schéma simplifié du principe de la vaccination et de l'immunité collective.....260

- B. Le Plan de réponse, l'organisation face au chaos.....260

**ANNEXES.....263**

Protocoles de stérilisation et désinfection.....263

- A. Définitions fondamentales.....263
- B. Classification de Spaulding pour les dispositifs médicaux.....263
- C. Méthodes de stérilisation.....264
- D. Principaux agents désinfectants.....265

Formulation des milieux de culture complexes.....266

- A. Définition et Principes Fondamentaux.....266
- B. Classification Fonctionnelle des Milieux Complexes.....267
- C. Ajouts Sélectifs et Différentiels.....268
- D. Exemples Canoniques et Composition.....269

Glossaire détaillé des termes spécialisés.....270

- A. Structure et Composition Bactérienne.....270
- B. Métabolisme et Croissance Microbienne.....272


MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

# PRÉLIMINAIRES

## Objectifs pédagogiques

### 1. Maîtrise des concepts fondamentaux

Ce manuel organise les savoirs en une base conceptuelle structurée. L'élève identifie et décrit la classification, la morphologie ainsi que la physiologie des micro-organismes. Une attention particulière est accordée à l'assimilation d'un vocabulaire technique précis. L'apprenant doit pouvoir distinguer sans équivoque les grands règnes microbiens : bactéries, virus, champignons et protistes. Ces connaissances théoriques solides constituent le socle de toute analyse future.

### 2. Acquisition des compétences pratiques et techniques

Au-delà du savoir théorique, la démarche pédagogique vise l'acquisition de savoir-faire concrets. L'élève s'initie aux protocoles fondamentaux du laboratoire de microbiologie. Sont abordées les techniques de coloration, les méthodes de culture en milieu stérile et les principes de l'observation microscopique. La manipulation sécuritaire des agents biologiques et du matériel est un objectif transversal. Ces gestes techniques préparent l'élève aux exigences des études supérieures.

### 3. Structuration du raisonnement scientifique

L'étude de la microbiologie développe la rigueur intellectuelle et l'esprit d'analyse. L'élève apprend à établir des liens de causalité entre un agent microbiologique et un phénomène observable, comme une pathologie ou une fermentation. Progressivement, il applique une démarche hypothético-déductive pour résoudre des problématiques ciblées. L'interprétation de résultats expérimentaux simples et la formulation de conclusions valides sont des compétences centrales. Cette démarche construit une autonomie intellectuelle face à un fait scientifique.

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

# Présentation générale du cours

## 1. Finalités du cours

### 1.1. Du savoir encyclopédique à la compétence fonctionnelle

L'enseignement de la microbiologie en deuxième année des humanités poursuit un objectif de compétence fonctionnelle. Il articule la connaissance théorique à sa mobilisation concrète. L'élève est ainsi conduit à appliquer des concepts pour analyser une situation sanitaire ou environnementale, transformant le savoir en un outil d'interprétation du réel.

### 1.2. Ancrage dans la réalité socio-sanitaire

Chaque notion théorique trouve son illustration dans des contextes familiers. Les épidémies, la salubrité de l'eau à Bukavu ou la conservation du fufu au Kasaï deviennent des terrains d'application. Cette approche contextualisée renforce la pertinence du savoir et ancre durablement les apprentissages en les liant à des problématiques concrètes.

## 2. Approche Pédagogique

### 2.1. La primauté du raisonnement hypothético-déductif

La démarche pédagogique privilégie le raisonnement sur la mémorisation. Face à un problème microbiologique simple, l'élève apprend à formuler une hypothèse, à concevoir un protocole pour la vérifier et à interpréter des résultats. La discipline devient alors un champ d'investigation et non une simple collection de faits à retenir.

### 2.2. Le statut de l'erreur comme outil d'apprentissage

L'erreur n'est pas sanctionnée comme une faute mais exploitée comme un indicateur cognitif. Analyser une réponse incorrecte permet à l'enseignant de déceler une représentation erronée chez l'élève. La correction de cette représentation devient l'acte pédagogique central, plus formateur qu'une simple correction de surface.

# Consignes méthodologiques

## 1.1. Progression didactique du concret vers l'abstrait

La structure de cet ouvrage suit une progression didactique allant du concret vers l'abstrait. Chaque notion est initialement ancrée dans un phénomène observable et familier, comme la fermentation du vin de palme au Kasaï ou la conservation du poisson fumé à Mbandaka. Seulement après cette contextualisation, les concepts théoriques, tels que le métabolisme microbien ou les facteurs de croissance, sont formalisés. Cette approche facilite l'ancrage mémoriel et la construction du sens.

## 1.2. La primauté du raisonnement scientifique

L'approche pédagogique valorise la démarche d'observation. L'enseignant est invité à guider l'élève dans l'analyse factuelle avant l'introduction de toute théorie explicative. Cette méthode renforce le raisonnement hypothético-déductif. Elle prépare l'élève à formuler des hypothèses basées sur des faits, non sur des préconceptions, en appliquant les étapes de la méthode scientifique.

## 2.1. L'articulation tripartite des leçons

Chaque chapitre est décomposé en trois temps distincts et complémentaires. Un temps d'accroche historique ou contextuel éveille la curiosité. Un temps théorique développe rigoureusement les savoirs fondamentaux. Enfin, un temps pratique valide l'acquisition des compétences via des scénarios et des exercices d'application. L'enseignant veillera à respecter cet équilibre pour une assimilation optimale.

## 2.2. L'exploitation des scénarios et exercices

Les exercices et scénarios dépassent la simple restitution de connaissances. Ils constituent des outils de transfert. Leur résolution exige de l'élève une mobilisation des concepts microbiologiques dans des situations plausibles, de l'hygiène alimentaire dans un marché de Matadi à la gestion d'un petit élevage dans la Province Orientale. L'objectif est de rendre la science opératoire dans le quotidien.

# Partie I. Approfondissement des bases microbiologiques

## a. Retour sur les fondamentaux

Le monde microbien existe loin de notre perception directe. Ces organismes, déjà abordés, peuplent chaque recoin de notre environnement. Du sol fertile du Kasaï à l'eau du fleuve Congo, leur présence est une constante. Cette première partie vient renforcer les connaissances de base. Elle consolide les définitions essentielles sur les bactéries, les virus et les autres types de micro-organismes fondamentaux.

## b. De l'observation à l'identification

Observer ne suffit pas. L'identification précise d'un micro-organisme représente une étape cruciale en laboratoire. Des techniques de coloration, comme la célèbre coloration de Gram, deviennent des outils indispensables. Elles permettent de classer les bactéries en grandes familles distinctes. La maîtrise de ces méthodes transforme une simple observation au microscope en une véritable analyse scientifique, utile à Kananga comme à Goma.

## c. Un monde invisible diversifié

L'univers des microbes ne se limite pas aux seules bactéries. Cette section élargit l'horizon vers d'autres acteurs majeurs. Les virus, structures acellulaires situées à la frontière du vivant, sont ici détaillés. Les champignons microscopiques, comme les levures essentielles à la fabrication du pain ou des boissons locales de la Province Orientale, sont également au programme. Une exploration de leur structure et mode de vie est proposée.

## d. La microbiologie au quotidien

Comprendre ces organismes est un enjeu direct de santé publique et de développement. Les notions de flore commensale, de pouvoir pathogène et de contagion trouvent ici une explication concrète. Elles aident à saisir la propagation de maladies à Mbandaka ou à prévenir des intoxications alimentaires dans une cuisine de Matadi. La microbiologie fournit des clés pour agir sur notre environnement de manière éclairée.

# Chapitre 1. Diversité et classification des procaryotes

## 1.1. Critères moléculaires de classification

### a. L'empreinte digitale du vivant

Un des faits les plus surprenants en microbiologie est la ressemblance trompeuse. Deux bactéries vues au microscope peuvent sembler être des jumelles parfaites, mais leurs molécules internes racontent une histoire totalement différente. C'est comme comparer deux mangues de Mbanza-Ngungu : l'une peut être sucrée, l'autre amère, malgré leur apparence identique.

La classification moderne ne se fie donc plus seulement à la forme ou à la coloration de Gram. Elle plonge au cœur de la cellule pour lire son identité génétique. Cette approche moléculaire a révolutionné notre compréhension du monde microbien, révélant des familles entières de bactéries et d'archées que nous ignorions totalement.

### A. L'hybridation ADN-ADN : le test de parenté

L'hybridation ADN-ADN mesure le degré de similitude génétique entre deux organismes. Techniquement, l'ADN d'une bactérie A est chauffé pour séparer ses deux brins. Ces brins simples sont ensuite mélangés avec les brins simples de l'ADN d'une bactérie B.

La vitesse et le degré de réassociation des brins de A et B indiquent leur proximité.

- Un taux d'hybridation élevé (supérieur à 70 %) signifie que les deux bactéries appartiennent très probablement à la même espèce.
- Un taux d'hybridation faible (inférieur à 25 %) montre une parenté lointaine. Ils peuvent appartenir au même genre, mais certainement pas à la même espèce.

### B. Le séquençage de l'ARNr 16S : la carte d'identité universelle

Toutes les bactéries et archées possèdent des ribosomes pour fabriquer leurs protéines. Une petite partie de ce ribosome, l'ARN ribosomique 16S (ARNr 16S), est un marqueur de choix pour la classification. Sa séquence de nucléotides change très lentement au fil de l'évolution, ce qui en fait une excellente "horloge moléculaire".

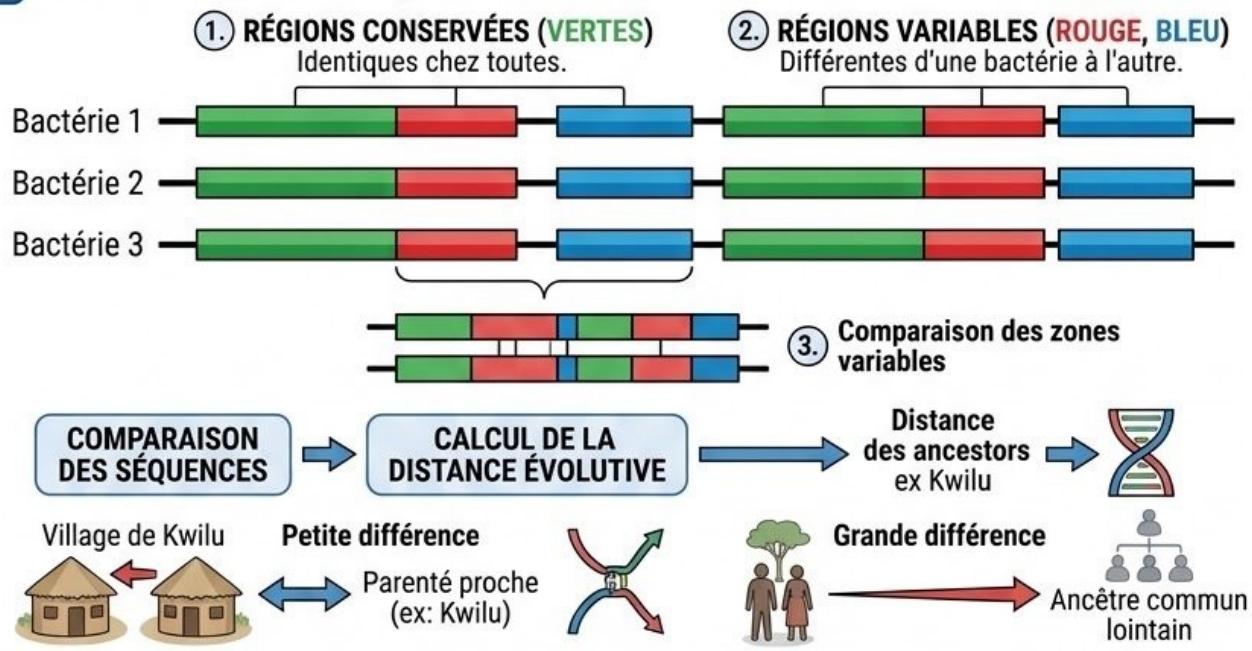
En comparant les séquences de l'ARNr 16S de deux procaryotes, les scientifiques peuvent construire un arbre phylogénétique précis. Cet arbre montre les relations de parenté, comme un arbre généalogique. Cette technique est si puissante qu'elle a permis de découvrir un tout nouveau domaine du vivant : les Archées.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

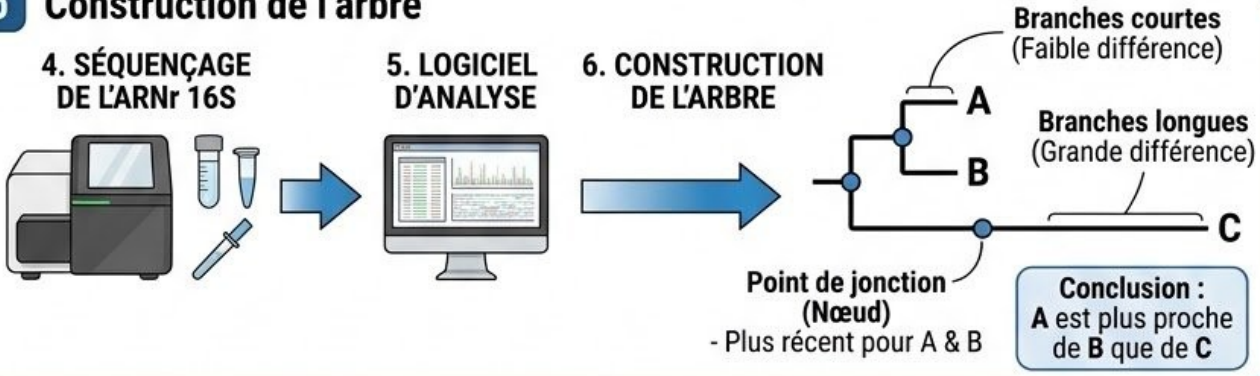
**Figure 1** : Réf. IMG (3139-0924-6411)

Arbre phylogénétique simple basé sur la comparaison de séquences d'ARNr 16S

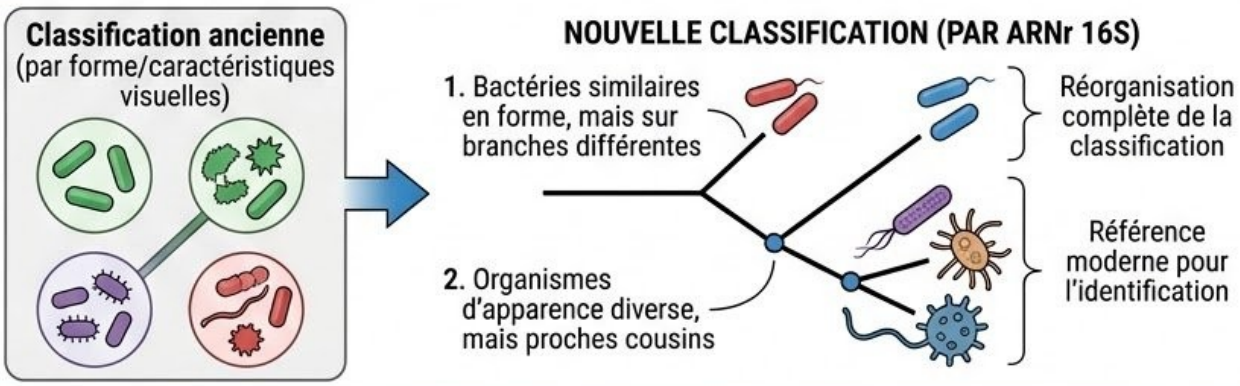
## a Le principe de l'horloge moléculaire




## b Construction de l'arbre




## c L'impact sur la classification



## Figure 1 : Réf. IMG (3139-0924-6411)

## Arbre phylogénétique simple basé sur la comparaison de séquences d'ARNr 16S

### a. Le principe de l'horloge moléculaire

L'illustration schématise trois séquences d'ARNr 16S de trois bactéries distinctes. Les portions colorées en vert sont des régions conservées, identiques chez toutes. Les portions en rouge et bleu sont des régions variables. C'est la comparaison de ces zones variables qui permet de calculer la distance évolutive. Une faible différence dans ces régions signifie une parenté proche, comme entre deux villages voisins du Kwilu. Une grande différence indique un ancêtre commun très lointain.

### b. Construction de l'arbre

À partir des différences de séquences, un logiciel informatique construit un arbre. Les branches courtes relient les organismes très proches. Les longues branches séparent les organismes plus éloignés. L'arbre montre visuellement que la bactérie A est plus proche de B que de C, car leur point de jonction (nœud) est plus récent.

### c. L'impact sur la classification

Ce type d'analyse a complètement réorganisé la classification des procaryotes. Des bactéries qui semblaient similaires par leur forme se sont retrouvées sur des branches très différentes de l'arbre. Inversement, des organismes d'apparence très diverse se sont révélés être de proches cousins. Cette méthode est la référence moderne pour l'identification et la classification.

## Anecdote : La découverte des Archées

Dans les années 1970, un biologiste américain nommé Carl Woese analysait l'ARNr de microbes vivant dans des environnements extrêmes : sources chaudes, lacs très salés de l'Équateur… En se basant sur leur apparence, tout le monde pensait que c'étaient juste des bactéries bizarres. Mais l'analyse de leur ARNr 16S a provoqué un séisme scientifique. Leurs séquences étaient si différentes de celles des bactéries qu'elles ne pouvaient pas appartenir au

même groupe. Woese a compris qu'il avait découvert un tout nouveau domaine du vivant, qu'il a appelé les Archées. Ce n'était pas juste une nouvelle espèce, mais un continent biologique entier, aussi différent des bactéries que nous le sommes nous-mêmes. Une découverte impossible sans les outils moléculaires.

## Exercice 1 : Le mystère des bactéries de la Lulua

**Énoncé :** Une chercheuse à Kananga prélève deux souches de bactéries dans la rivière Lulua. Au microscope, elles sont identiques : des bacilles Gram négatif. Elle réalise une analyse d'hybridation ADN-ADN et obtient un résultat de 45 %. Doit-elle les classer dans la même espèce ?

**Résolution pas-à-pas :**

1. **Étape 1 : Identifier la donnée clé** Le résultat du test moléculaire est un taux d'hybridation de 45 %.
2. **Étape 2 : Comparer la donnée au seuil scientifique** Le seuil de référence pour définir une espèce par cette méthode est un taux d'hybridation supérieur à 70 %.
3. **Étape 3 : Conclure** Le résultat de 45 % est bien inférieur au seuil de 70 %. Malgré leur ressemblance physique, ces deux souches n'appartiennent pas à la même espèce. Elles sont des espèces différentes, peut-être du même genre.

## Exercice 2 : L'enquête du laborantin de l'Hôpital de Kisangani

**Énoncé :** Maman Jolie souffre d'une infection pulmonaire sévère. Le laborantin de l'hôpital général de Kisangani isole la bactérie responsable et envoie un échantillon pour un séquençage de l'ARNr 16S. Le résultat du laboratoire externe indique une similarité de 99,8 % avec la séquence de référence de *Pseudomonas aeruginosa*. Quelle est la conclusion la plus probable ?

**Résolution pas-à-pas :**

1. **Étape 1 : Identifier la méthode et sa fiabilité** La méthode utilisée est le séquençage de l'ARNr 16S. C'est la technique la plus précise et la plus fiable pour l'identification bactérienne.
2. **Étape 2 : Interpréter le pourcentage de similarité** Une similarité de 99,8 % est extrêmement élevée. Dans le monde de la

microbiologie, un seuil de 97 % à 99 % est souvent utilisé pour définir une espèce. Ce résultat est donc très probant.

3. **Étape 3 : Poser l'identification** La conclusion est que la bactérie causant l'infection de Maman Jolie est, avec une quasi-certitude, *Pseudomonas aeruginosa*. Le médecin peut désormais prescrire un traitement antibiotique ciblé contre ce pathogène spécifique.

---

## 1.2. Bactéries et Archées extrêmophiles

### a. Les champions de l'impossible

Pendant que le volcan Nyiragongo, près de Goma, crache sa lave incandescente, la vie semble impossible. Les températures dépassent 1000 °C. Toute matière organique connue est instantanément carbonisée. La science a longtemps partagé cette certitude : le feu intense est l'ennemi absolu de la vie.

Pourtant, certains organismes microscopiques défient cette règle. Ils prospèrent dans des conditions extrêmes, là où tout autre être vivant périrait. Ces champions de la survie sont les extrêmophiles. Ils appartiennent principalement aux domaines des Bactéries et des Archées.

### A. Définition et domaines de la vie extrême

Un micro-organisme extrêmophile est un être vivant qui se développe dans des conditions physico-chimiques mortelles pour la majorité des autres organismes. Son métabolisme est spécifiquement adapté à un environnement hostile. Le mot vient du latin *extremus* (extrême) et du grec *philia* (amour). Ces organismes "aiment" les extrêmes.

Initialement, beaucoup d'extrêmophiles découverts appartenaient au domaine des Archées. Les scientifiques pensaient même que toutes les Archées étaient extrêmophiles. Cette idée est aujourd'hui corrigée. Des Archées vivent dans des milieux modérés, et de nombreuses Bactéries sont aussi des extrêmophiles redoutables.

### B. Les grandes familles d'extrêmophiles

La classification des extrêmophiles se base sur le type de condition extrême qu'ils tolèrent.

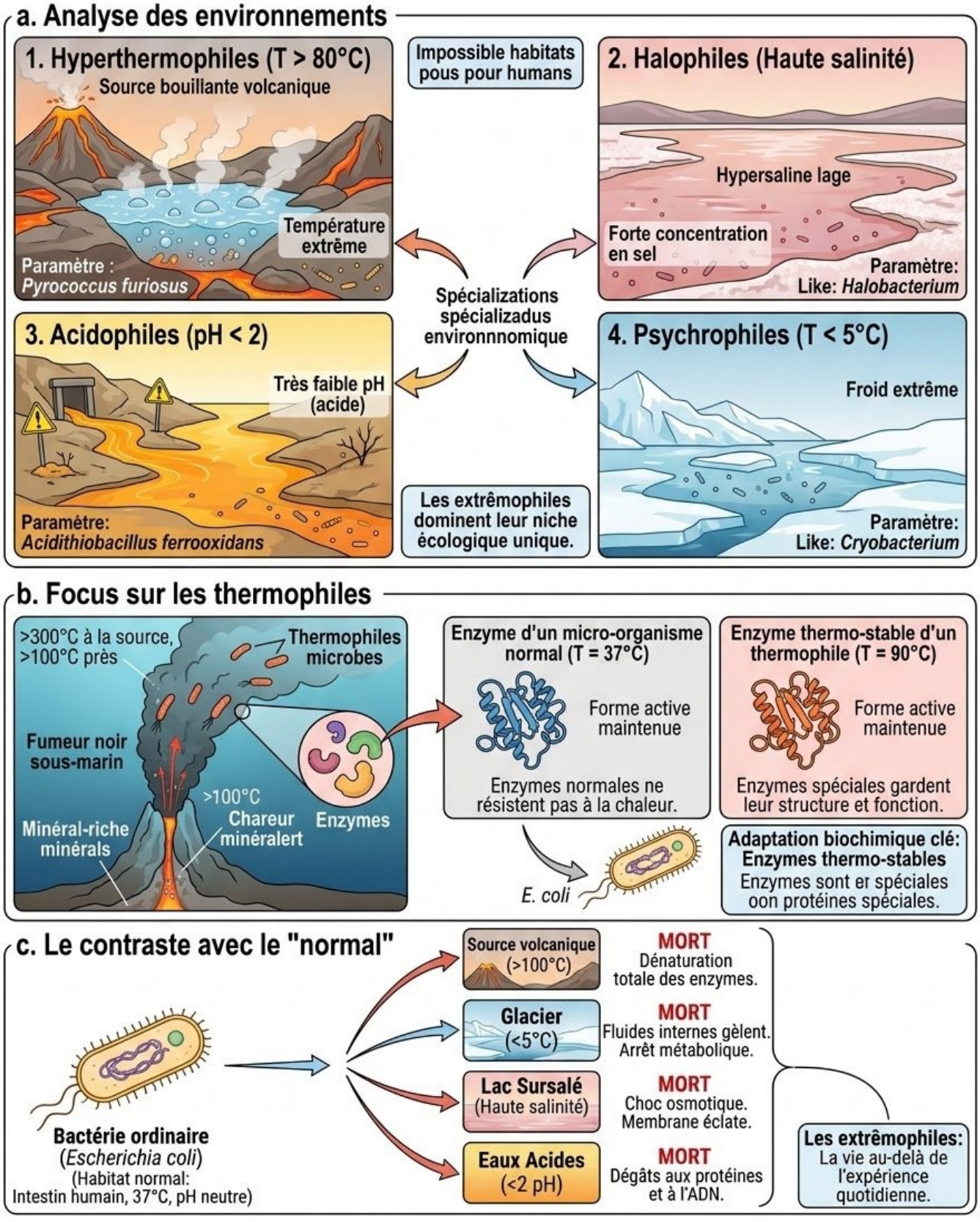
- **Les thermophiles :** Ils aiment la chaleur. On les trouve dans les sources d'eau chaude, près des volcans du Kivu ou dans les geysers.

Les hyperthermophiles peuvent survivre à des températures supérieures à 80 °C, parfois même au-delà du point d'ébullition de l'eau.

- **Les psychrophiles :** Ils aiment le froid. Ils colonisent les glaciers du mont Rwenzori, les eaux profondes et glaciales du lac Tanganyika ou les environnements polaires. Leur croissance est optimale près de 0 °C.
- **Les halophiles :** Ils aiment le sel. Ils se développent dans des eaux très salées, comme les marais salants près de Moanda au Kongo Central. Une concentration élevée en sel détruirait une bactérie normale par osmose.
- **Les acidophiles et les alcalophiles :** Les premiers aiment l'acidité (pH bas), comme dans les eaux de drainage des mines du Katanga. Les seconds préfèrent les milieux très basiques (pH élevé), comme certains lacs riches en carbonates.

MURHULA BAZIKANGE M.
*Directeur Editorial*
+243 860 655 590

**Figure 2 :** Réf. IMG (2669-7125-5925) Schéma des différents types de micro-organismes extrêmophiles et leurs habitats.



## Figure 2 : Réf. IMG (2669-7125-5925)

## Schéma des différents types de micro-organismes extrêmophiles et leurs habitats.

### a. Analyse des environnements

L'illustration présente quatre milieux de vie impossibles pour l'homme. Une source d'eau bouillante volcanique, un lac sursalé aux teintes roses, les eaux acides s'écoulant d'une mine et un glacier. Dans chacun de ces décors hostiles, des points microscopiques symbolisent la présence de bactéries ou d'archées parfaitement adaptées. Ces organismes ne font pas que survivre ; ils dominent leur niche écologique. Le schéma met en évidence la spécialisation de chaque type d'extrêmophile pour son environnement unique.

### b. Focus sur les thermophiles

Le dessin montre des microbes près d'une cheminée hydrothermale sous-marine. La température y est extrême. Ces organismes, les thermophiles, possèdent des enzymes spéciales. Ces protéines ne se dénaturent pas à haute température, contrairement aux nôtres. Elles gardent leur forme et leur fonction, permettant au microbe de vivre.

### c. Le contraste avec le "normal"

Une bactérie ordinaire, comme *Escherichia coli* présente dans notre intestin, serait immédiatement tuée dans l'un de ces quatre environnements. Ses enzymes cesseraient de fonctionner, sa membrane éclaterait sous l'effet du sel ou du pH, et ses fluides internes gèleraient ou bouilliraient. Les extrêmophiles montrent que la "vie" a des définitions bien plus larges que ce que notre expérience quotidienne suggère.

■ ■ ■

## b. L'anecdote du chercheur du lac Kivu

Un jeune biologiste du Centre de Recherche en Sciences Naturelles (CRSN) de Lwiro, dans le Sud-Kivu, effectuait des prélèvements dans les profondeurs du lac Kivu. Au-delà de 200 mètres, l'eau est anoxique (sans oxygène) et saturée en gaz, notamment en dioxyde de carbone et en méthane. Pour la plupart des êtres vivants, c'est un piège mortel. En analysant ses échantillons au laboratoire, il fut stupéfait. L'eau "morte" grouillait de vie microscopique. Il avait isolé des Archées méthanogènes. Ces micro-organismes n'avaient pas

besoin d'oxygène. Au contraire, l'oxygène est un poison pour eux. Ils "respiraient" le $CO_2$ et "expiraient" du méthane. Sa découverte confirmait que la richesse gazeuse du lac n'était pas seulement géologique, mais aussi biologique.

## Exercice 1 : Le sel du Kasaï

**Énoncé :** À Kananga, Maman Hélène prépare du sel alimentaire selon une méthode traditionnelle. Elle fait bouillir des plantes spécifiques pour obtenir une saumure très concentrée. Un élève observe le liquide trouble et se demande si quelque chose peut vivre dedans.

**Résolution pas-à-pas :**

1. **Étape 1 : Identification de la condition extrême** Le processus de fabrication crée une saumure, qui est une solution avec une concentration en sel extrêmement élevée. L'environnement est donc hypersalin.
2. **Étape 2 : Association au type d'extrêmophile** Les organismes qui aiment les fortes concentrations de sel sont appelés "halophiles".
3. **Étape 3 : Conclusion** Si des micro-organismes vivent dans la saumure de Maman Hélène, il s'agit très probablement de bactéries ou d'archées halophiles.

## Exercice 2 : Le mystère de la mine de Kipushi

**Énoncé :** L'eau qui s'écoule d'une ancienne galerie de la mine de cuivre de Kipushi, dans le Haut-Katanga, a un pH très bas (pH 2) et une couleur rouge-orange. Les ingénieurs cherchent à comprendre l'origine de cette pollution acide.

**Résolution pas-à-pas :**

1. **Étape 1 : Identification de la condition extrême** L'eau a un pH de 2, ce qui est extrêmement acide. L'environnement est donc de type acidophile. La couleur rouge-orange suggère la présence de fer oxydé.
2. **Étape 2 : Identification du rôle microbien** Dans les mines, des micro-organismes dits "acidophiles" et "chimioautotrophes" se nourrissent des minéraux sulfurés (comme la pyrite). En oxydant ces minéraux pour obtenir de l'énergie, ils libèrent de l'acide sulfurique, ce qui acidifie l'eau.

3. **Étape 3 : Conclusion** La pollution acide est probablement causée par l'activité de bactéries acidophiles. Elles sont responsables de la transformation des minéraux et de la libération d'acide dans l'environnement minier.

## 1.3. Systématique phylogénétique

### a. L'arbre généalogique des microbes

Même si deux bactéries semblent identiques sous un microscope, elles peuvent être aussi différentes l'une de l'autre qu'un champignon et un éléphant. Pendant longtemps, les scientifiques classaient les microbes selon leur forme : coque (ronde), bacille (bâtonnet). C'était comme juger les membres d'une famille uniquement sur la couleur de leurs cheveux.

Cette méthode montrait vite ses limites. La systématique phylogénétique change complètement la donne. Elle ne demande pas "À quoi ressembles-tu ?", mais plutôt "Qui sont tes ancêtres ?". Pour cela, elle utilise un test de paternité moléculaire, basé sur l'ADN ou l'ARN, pour reconstruire l'arbre généalogique de tout le monde vivant.

### A. Le principe : de l'apparence à l'ADN

La classification traditionnelle par la morphologie est une approche phénotypique. Elle se base sur les caractères observables. La systématique phylogénétique est une approche génotypique. Elle compare les séquences génétiques des organismes pour déterminer leurs liens de parenté.

Pour les bactéries, la molécule de référence est l'ARN ribosomique 16S (ARNr 16S). Cette molécule a plusieurs avantages : - Elle est présente chez toutes les bactéries. - Sa fonction est vitale et donc très conservée au fil de l'évolution. - Elle possède des régions qui évoluent très lentement, permettant de comparer des espèces très éloignées. - Elle possède aussi des régions variables, utiles pour différencier des espèces proches.

L'analyse de l'ARNr 16S, initiée par le microbiologiste Carl Woese, a permis de redessiner entièrement l'arbre de la vie.

### B. L'arbre phylogénétique : lire une histoire évolutive

Un arbre phylogénétique est une représentation graphique des relations évolutives. Il se lit comme une carte de famille. Les extrémités des branches