République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi –Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Polycopié de cours pédagogique au profit des étudiants de deuxième année Licence (L2) Sciences de la Nature et de la Vie

Travaux Dirigés de Microbiologie Générale

Dr BOUGUERRA Nadia

(Maitre de conférences B à l'Université Echahid Cheikh Larbi tébessi, Tébessa, Algérie)



Année universitaire 2025/2026

Préambule

Ce polycopié de travaux dirigés s'inscrit dans le cadre du module de **Microbiologie Générale**, destiné aux étudiants de deuxième année de Licence en Biologie (L2). Il a pour objectif d'accompagner l'étudiant dans l'acquisition et l'approfondissement des connaissances fondamentales relatives au monde microbien, en mettant l'accent sur la compréhension des mécanismes biologiques, en particulier ceux liés à la structure, la nutrition et à la croissance des micro-organismes. Les travaux dirigés proposés dans ce document visent à renforcer les notions abordées en cours magistral à travers une approche progressive, combinant des QCM, des remplissages de blancs, des questions vrai ou faux, des exercices d'application et des questions de réflexion. Une attention particulière est portée au développement de l'esprit critique, de la rigueur scientifique ainsi qu'à la capacité de raisonnement, compétences essentielles dans le domaine des sciences biologiques.

Ce polycopié couvre différents aspects de la microbiologie générale, notamment :

- la diversité et la classification des micro-organismes,
- la nutrition bactérienne et les types trophiques,
- les conditions de croissance et les facteurs environnementaux,
- les techniques de culture et les milieux microbiologiques,
- ainsi que l'interprétation de données expérimentales.

Il est recommandé aux étudiants d'aborder ces travaux dirigés de manière active, en s'appuyant sur leurs connaissances théoriques et en participant aux discussions en séance. Les corrections proposées doivent être utilisées comme un outil d'auto-évaluation permettant d'identifier les points à renforcer. Ce document a également pour ambition de préparer efficacement les étudiants aux évaluations continues et aux examens, tout en posant les bases nécessaires à la poursuite d'études dans les domaines de la microbiologie, de la biotechnologie, de la santé et de l'environnement.

Nous espérons que ce support contribuera à faciliter votre apprentissage et à susciter votre intérêt pour la microbiologie, une discipline essentielle à la compréhension du vivant et de ses interactions.

Table des matières

Préambule	
TD 01. La cellule bacterienne	01
TD 02. Paroi et coloration de gram	05
TD 03. Sporulation et germination	07
TD 04. Classification Bactérienne	13
TD 05. Nutrition et croissance bacterienne	16
TD 06. Milieux de culture et Techniques d'Isolement	19
TD 07. Mycologie et virologie	21
TD 08. Terminologie en microbiologie	24
TD 09. Tableaux de comparaison	26
Corrige type	29
References Bibliographiques	51

EXERCICES

TD 01. LA CELLULE BACTERIENNE

Exercice 01:

Citez les différents groupes qui composent le monde vivant selon les classifications

établies par:

- Haeckel : ……..

- Whittacker : …….

- Carl Woese : …….

Quelles sont les critères pris en compte ?

- Haeckel : ……

- Wittaker : ……

- Woese : …….

Exercice 02 : Repondez par vrai ou faux

1. La cellule bactérienne possède un noyau entouré d'une membrane.
2. L'ADN bactérien est généralement circulaire.
3. Les ribosomes des bactéries sont de type 80S.
4. La paroi bactérienne contient du peptidoglycane.
5. Les bactéries Gram positives ont une paroi plus épaisse que les Gram négatives.
6. Toutes les bactéries possèdent des flagelles.
7. Les pili peuvent intervenir dans l'adhésion des bactéries aux surfaces.
8. Les bactéries sont des organismes procaryotes.
9. La capsule bactérienne peut protéger contre la phagocytose.
10. Les bactéries possèdent des mitochondries.

Exercice 03 :

Remplacer les chiffres par des mots

- ✓ Les bactéries de forme sphérique sont désignées sous le terme de……...……01.
- ✓ Les bactéries en forme de bâtonnet sont désignées sous le terme de ……..…..02.
- ✓ Les protistes se composent :……..……03.
- ✓ Les cellules procaryotes en forme de bâtonnet sont appelées ……..04.
- ✓ Le terme ……..……05 désigne les bactéries de forme sphérique.

Exercice 04 :

1. Citer les principaux constituants d'une cellule bactérienne.

….……
……
……

2. Quelle est la différence entre une cellule bactérienne et une cellule eucaryote ?

cellule bactérienne	**cellule eucaryote**

3. Quel est le rôle :

- ✓ de la paroi bactérienne
- ✓ de la membrane plasmique
- ✓ du nucléoïde

……

……

……

……

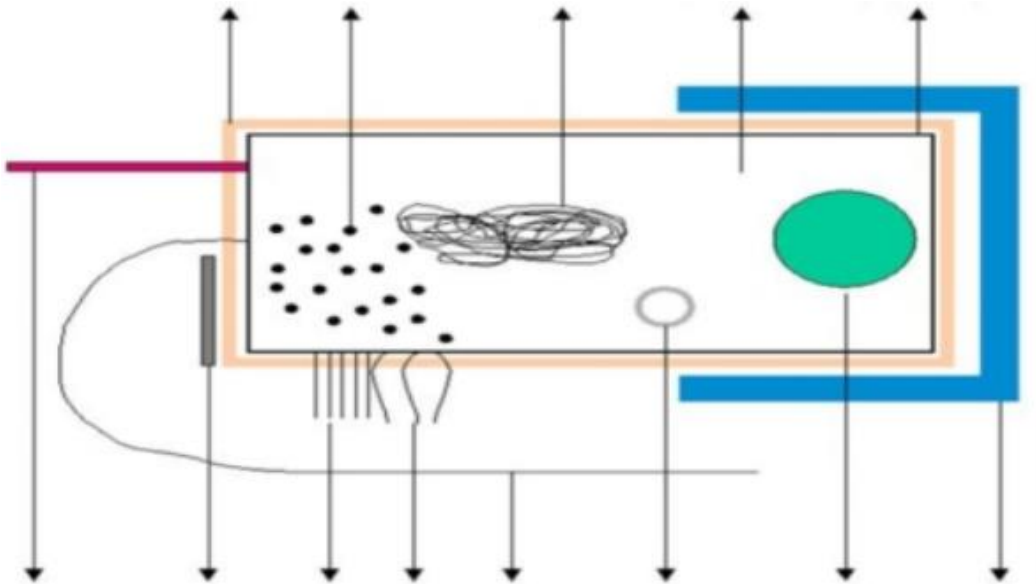
……

……

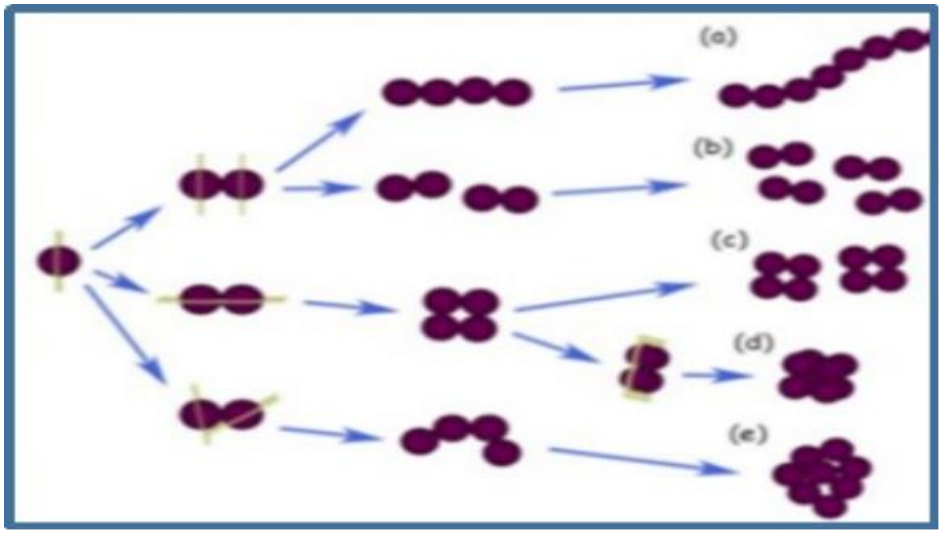
……

Exercice 05 :

1. Legender les figures suivantes et donner un titre pour chaque figure



Titre 01:……..



Titre 02:……..

(a)……..(b)……..(c) ……..(d)……(e) ……

2. Donner les differents synonymes du peptidogycane

……

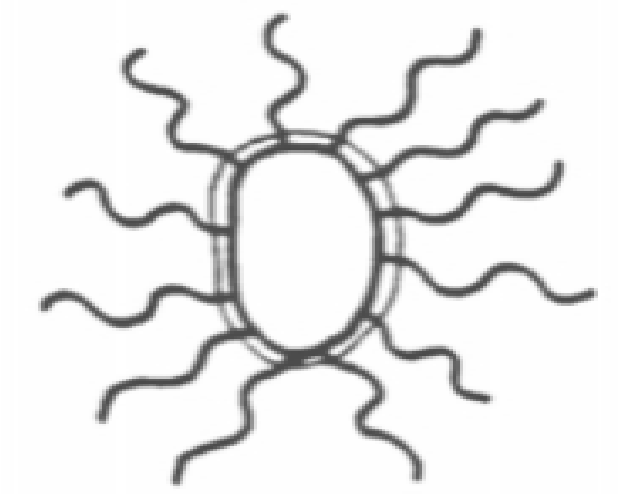
……

…….

Exercice 06 : Compléter le tableau suivant en indiquant le nombre de plans de division, le type de regroupement et la description de l'organisation.

Bactérie (forme)	Nombre de plans de division	Type de regroupement	Description
Coques	1 plan		
Coques	1 plan mais séparation incomplète		
Coques	2 plans perpendiculaires		
Coques	3 plans perpendiculaires		
Coques	plans multiples aléatoires		

Exercice 07: La figure ci-dessous est un dessin d'une bactérie observée en microscopie optique, après coloration spéciale.



- ✓ Quelle est la ciliature montrée sur cette figure ? Donner un exemple de bactéries possédant cette ciliature.
- ✓ Quelles autres ciliatures peut-on rencontrer chez les bactéries ? Répondre sous forme de schémas commentés en donnant un exemple de bactérie pour chaque type de ciliature.
- ✓ Préciser la relation existant entre la ciliature d'une bactérie mobile et son type de mouvement sur un état frais.
- ✓ Donner la différence entre fimbrae et flagelles.

……
……
……
……
……
……
……

TD 02. PAROI ET COLORATION DE GRAM

Exercice 01: Choisissez la bonne reponse

1. La paroi de la bactérie est :

a) Un élément constant de la bactérie

b) Peut représenter un facteur de virulence

c) Est un élément extracellulaire

d) Correspond à l'antigène O

2. La différence de couleur entre bactéries à Gram négatif et bactéries à Gram positif :

a) Une différence de structure de la membrane cytoplasmique

b) Une différence de structure de la paroi

c) La présence d'une capsule

d) Une différence au niveau de la forme bactérienne

3. Le peptidoglycane est un constituant qu'on retrouve chez :

a) Toutes les bactéries

b) Une majorité de bactéries

c) Les protoplastes

d) Les sphéroplastes

e) Les bactéries à Gram positif et à Gram négatif

Exercice 02 : Remettre les étapes dans l'ordre correct

A. Décoloration à l'alcool

B. Contre-coloration à la safranine

C. Fixation du frottis

D. Coloration au violet de cristal

E. Lugol (mordant)

…..……

……

……

…….

Exercice 03 : On observe au microscope des bactéries violettes et des bactéries roses

1. Les bactéries violettes sont : …….
2. Les bactéries roses sont : ……..
3. Quelle structure explique cette différence ?

…….

…….

Exercice 04 : Compléter le tableau suivant

Élément	**Gram +**	**Gram −**
Peptidoglycane		
Acides teichoïques		
Membrane externe		
LPS		
Espace périplasmique		

Exercice 05 : Question de réflexion

1. Pourquoi l'alcool décolore les bactéries Gram négatif mais pas les Gram positif ?

…….

……

……

……

……

2. Pourquoi les bactéries Gram négatif sont généralement plus résistantes aux antibiotiques que les Gram positif ?

……

……

……

……

……

3. Pourquoi les mycoplasmes ne peuvent-ils pas être classés par la coloration de Gram ?

……

……

……

……

4. Pourquoi la coloration de Gram est-elle toujours utilisée aujourd'hui en microbiologie clinique malgré l'existence de techniques moléculaires plus modernes ?

……

……

……

……

……

Exercice 06. L'observation de l'échantillon d'un patient X sous le microscope à fond noir a fourni au technicien des indices sur l'identité du microbe à l'origine de son infection. Cependant, plus d'informations sont nécessaires pour un diagnostic concluant. Le technicien décide de faire une coloration de Gram de l'échantillon. Cette technique est couramment utilisée comme première étape dans l'identification des bactéries pathogènes. Après avoir terminé la procédure de coloration de Gram, le technicien regarde la lame sous le microscope à fond clair et obtient les résultats montrés dans la figure ci-dessous.

1. Indiquer l'intérêt de la coloration de Gram

……

……

……

2. Décrire les caractéristiques de cette bactérie (forme et mode de regroupement).

……

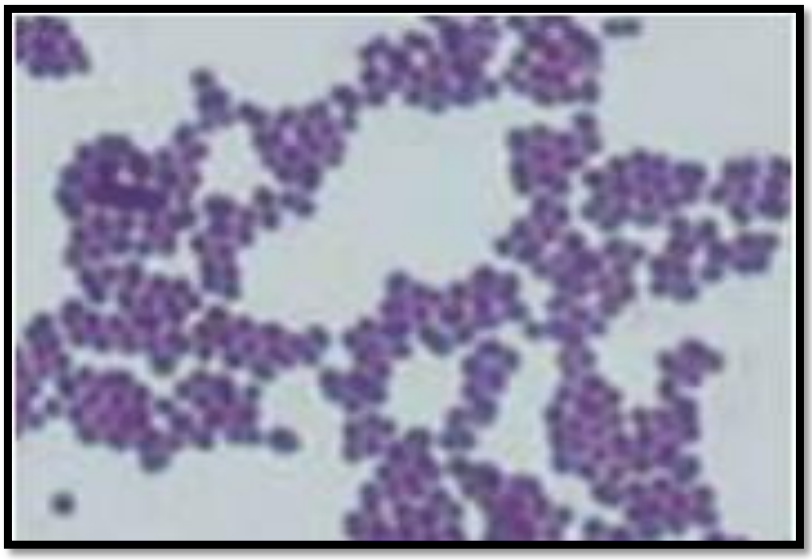
……..

3. Ces bactéries sont-elles Gram-positif ou Gram-négatif (Justifier votre réponse)?

……

…….

4. A l'aide d'un tableau, comparer entre la paroi des bactéries à Gram positif et celledes bactéries à Gram négatif?



TD 03. SPORULATION ET GERMINATION

Partie I. QCM

1. La sporulation bactérienne est déclenchée principalement par:

A. Conditions favorables
B. Manque de nutriments
C. Température basse
D. Excès d'oxygène

2. La structure responsable de la résistance thermique des spores est principalement:

A. La membrane plasmique
B. Le cortex
C. Les ribosomes
D. Les flagelles

3. Pendant la germination bactérienne:

A. La spore absorbe de l'eau
B. Le Ca-DPA est libéré
C. Le métabolisme reprend
D. La cellule mère se forme

4. La sporulation comprend:

A. Formation du septum asymétrique
B. Formation du cortex
C. Lyse de la cellule mère
D. Division binaire

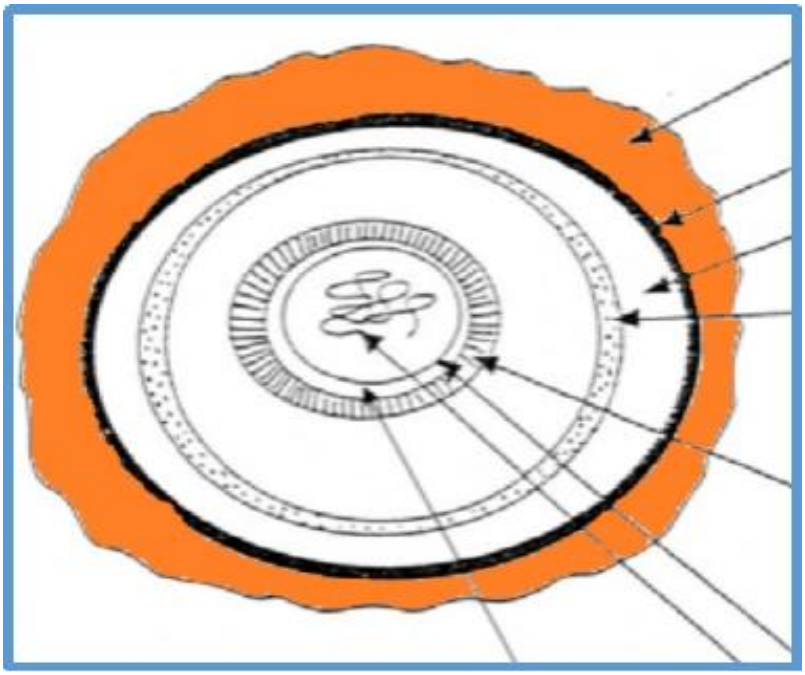
5. La germination des spores est déclenchée par:

A. La présence de nutriments
B. L'absence d'eau
C. Des acides aminés
D. Des sucres

Partie II.

Exercice 01: Certaines bactéries se différencie vers une forme de résistance métaboliquement inactive, appelée **spore**.

1. Legender la figure d'une spore bactériens



2. Citer au moins trois conditions pour qu'une bactérie sporule

…….
……
…….

3. Indiquer si toutes les bactéries peuvent sporuler et donner un exemple d'une bactérie sporulée.

…….
……
……

4. Décrire les principales étapes de la sporulation bactérienne brievement.

……
……
……
……
……

Exercice 02:

1. Définir la germination bactérienne et donner trois facteurs qui déclenchent la germination.

……
……
……
……

2. Quelle structure de la spore est dégradée pendant la germination ?

……
……

3. Compléter les phrases suivantes :

- ✓ La spore bactérienne est une forme……et très…….
- ✓ La germination commence lorsque les conditions deviennent…….
- ✓ Pendant la germination, la spore absorbe de…….

TD 04. Classification Bactérienne

Exercice 01.

1. Définir les termes suivants :

a) Taxinomie
b) Nomenclature
c) Taxon
d) Identification bactérienne

2. Citer les principaux rangs de la hiérarchie taxinomique.

3. Donner deux objectifs de l'identification des bactéries.

Exercice 02. Classification phénotypique

1. Quels sont les caractères morphologiques utilisés dans l'identification bactérienne ?
2. Pourquoi les caractères morphologiques seuls ne suffisent-ils pas pour établir les relations phylogénétiques ?
3. Donner quatre exemples de tests métaboliques utilisés en bactériologie.
4. Quel est le principe de la méthode sérologique ?
5. Quels sont les antigènes recherchés chez les bactéries Gram négatif ?

Exercice 03. Indiquer si les propositions suivantes sont vraies ou fausses.

1. La galerie API permet de réaliser plusieurs tests biochimiques simultanément.
2. Le test de catalase est un test métabolique.
3. Les antigènes H sont des antigènes capsulaires.
4. La lysotypie utilise des bactériophages.
5. L'antibiogramme est un test d'inhibition.

Exercice 04. Taxonomie génétique

1. Quels sont les quatre critères principaux de la taxonomie génétique ?
2. Écrire les règles de Chargaff.

3. Calculer le pourcentage de G+C d'un ADN contenant :

- A = 20 %
- T = 20 %
- G = 30 %
- C = 30 %

4. Quel est l'intérêt du séquençage de l'ARNr 16S ?

Exercice 05. Une bactérie possède :

- A = 15 %
- T = 15 %
- G = 35 %
- C = 35 %

Calculer le pourcentage G+C.

Exercice 06.

1. Quels critères étaient utilisés dans les premières éditions du Manuel de Bergey ?
2. Associer chaque division à sa caractéristique :

Division	**Caractéristique**
Gracilicutes	?
Firmicutes	?
Tenericutes	?
Mendosicutes	?

Exercice 07. Compléter les phrases suivantes

1. La science qui étudie les règles de classification des êtres vivants est appelée _____.
2. L'ensemble des espèces présentant des caractères communs constitue un _____.
3. La réaction spécifique utilisée dans les méthodes sérologiques est la réaction _____ - _____.
4. Les antigènes O sont des antigènes _____.

5. Les antigènes H sont des antigènes _____.
6. La lysotypie utilise des _____ pour identifier les bactéries.
7. Le séquençage du _____ est actuellement le critère moléculaire le plus utilisé en taxonomie bactérienne.

TD 05. NUTRITION ET CROISSANCE BACTERIENNE

Exercice 1 : Classer les bactéries suivantes selon leur mode nutritionnel :

1. Une bactérie qui utilise le CO_2 et la lumière

….……

2. Une bactérie utilisant du glucose et produisant de l'énergie par oxydation chimique

….…….

3. Une bactérie utilisant NH_3 comme source d'énergie et CO_2 comme source de carbone

….……

Exercice 2 : On dispose de 3 milieux :

Milieu	Composition
A	Glucose + sels minéraux
B	CO_2 + NH_3 + sels minéraux
C	Acides aminés + vitamines

1. Quel type de bactéries pousse dans A ?

….……

2. Quel type pousse dans B ?

….……..

3. Pourquoi C est-il appelé milieu enrichi ?

….……

Exercice 3 : Certaines bactéries nécessitent :

- vitamines
- acides aminés
- bases azotées

Questions :

1. Comment appelle-t-on ces bactéries ?

….……

2. Donner l'opposé

….……..

3. Pourquoi ces besoins existent-ils ?

….……

<u>Exercice 4:</u> repondez par Vrai/Faux avec justification

1. Toutes les bactéries utilisent le glucose

….……

2. Les bactéries autotrophes ne nécessitent pas de matière organique

….……

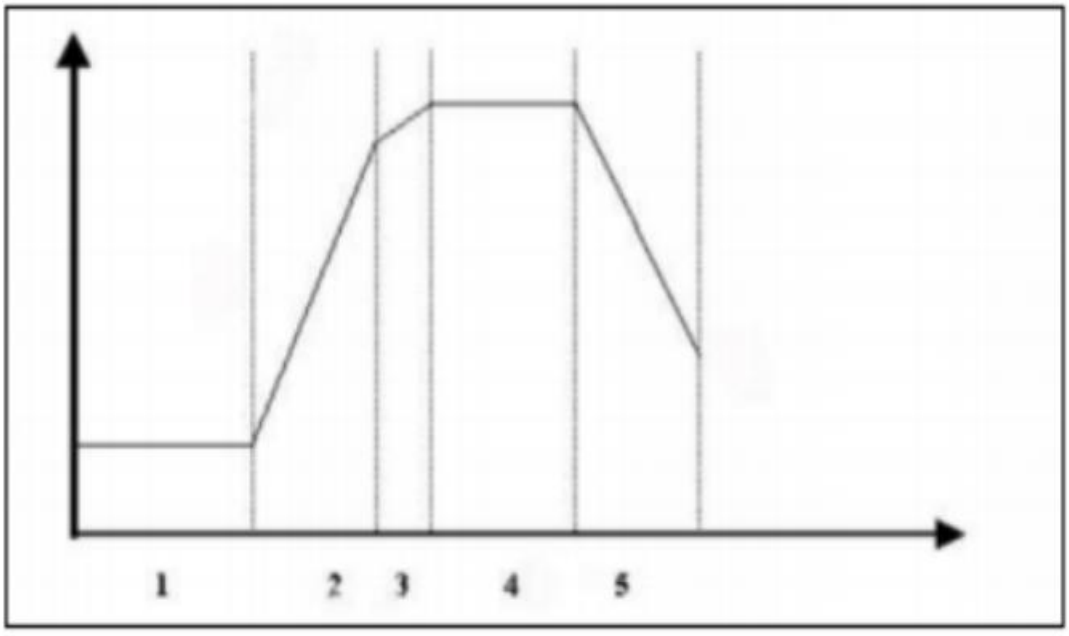
3. Une bactérie phototrophe ne peut pas être hétérotrophe

….……

4. Les milieux enrichis sont toujours sélectifs

….…….

<u>Exercice 5:</u>



1. Nommez les 5 phases de croissance, en commentant l'allure générale de cette courbe.

2. Sur quelle partie détermine-t-on le temps de génération ?

3. Comment est-il exprimé ?

…….

……

……

……

……

……

TD 06. Milieux de culture et Techniques d'Isolement

Exercice 01: Compléter les phrases suivantes :

1. Un milieu de culture est une préparation nutritive permettant la croissance des _____.
2. Un milieu contenant de l'agar est appelé milieu _____.
3. Un milieu liquide sans agar est appelé _____.
4. Un milieu utilisé pour favoriser la croissance d'une bactérie particulière est un milieu _____.
5. Un milieu qui permet de distinguer plusieurs bactéries grâce à leurs caractéristiques biochimiques est un milieu _____.
6. L'isolement consiste à obtenir une _____ bactérienne à partir d'un mélange de micro-organismes.

Exercice 02: Donner un exemple de :

a) Milieu ordinaire

b) Milieu enrichi

c) Milieu sélectif

d) Milieu différentiel

Exercice 03: Répondre aux questions

1. Quel est le but de l'isolement bactérien ?
2. Quelle technique est la plus utilisée pour obtenir des colonies isolées ?
3. Pourquoi flambe-t-on l'anse entre les stries lors de l'isolement par épuisement ?
4. Classer les étapes suivantes de l'isolement par stries :

   - ✓ Incubation
   - ✓ Prélèvement de l'inoculum
   - ✓ Stérilisation de l'anse
   - ✓ Réalisation des stries
   - ✓ Observation des colonies

Exercice 04 : Un laboratoire reçoit trois échantillons :

- Échantillon A: prélèvement de gorge suspect de streptocoques.
- Échantillon B: prélèvement de selles pour rechercher des entérobactéries.
- Échantillon C: prélèvement de pus contenant probablement des staphylocoques.

Questions

1. Quel type de milieu choisiriez-vous pour chaque échantillon ?
2. Justifiez votre réponse.
3. Quels résultats attendriez-vous sur ces milieux ?

Exercice 05 : Un étudiant réalise un isolement par stries en quatre secteurs.

Après incubation:

- Secteur 1: croissance très abondante.
- Secteur 2: croissance modérée.
- Secteur 3: quelques colonies séparées.
- Secteur 4: colonies bien isolées.

Questions

1. L'isolement a-t-il réussi ?
2. Pourquoi observe-t-on moins de bactéries du secteur 1 au secteur 4 ?
3. Dans quel secteur faut-il prélever la bactérie pour obtenir une culture pure ?
4. Quel est l'intérêt de cette technique ?

TD 07. MYCOLOGIE ET VIROLOGIE

Exercice 01. Cocher la ou les reponses juste

1. Les mycètes sont :

a) Des procaryotes

b) Des eucaryotes

c) Des autotrophes

d) Des chimiohétérotrophes

2. La paroi cellulaire des champignons contient principalement :

a) Peptidoglycane

b) Chitine

c) Glucanes

d) Lipopolysaccharides

3. Les levures sont:

a) Des organismes pluricellulaires

b) Des champignons unicellulaires

c) Des virus

d) Toujours pathogènes

4. L'ensemble des hyphes constitue:

a) Une spore

b) Un sporange

c) Un mycélium

d) Une capsule

5. Les levures se reproduisent asexuellement principalement par:

a) Conjugaison

b) Bourgeonnement

c) Sporulation

d) Fragmentation

6. Un virus contient:

a) ADN et ARN simultanément

b) ADN ou ARN

c) Ribosomes

d) Mitochondries

7. La capside virale est constituée de:

a) Acides aminés libres

b) Capsomères

c) Peptidoglycane

d) Lipides

8. Les rétrovirus appartiennent à:

a) La classe I

b) La classe III

c) La classe VI

d) La classe VII

9. Le VIH est:

a) Un virus à ADN

b) Un rétrovirus

c) Un bactériophage

d) Un virus nu

10. La multiplication des virus est:

a) Extracellulaire

b) Facultativement intracellulaire

c) Obligatoirement intracellulaire

d) Indépendante de la cellule hôte

Exercice 02. Compléter les phrases

1. Les champignons filamenteux sont appelés .....
2. L'ensemble des hyphes forme un .....
3. La paroi des champignons contient principalement de la .....
4. Les spores issues d'une reproduction asexuée sont appelées .....
5. Les spores issues d'une reproduction sexuée sont appelées .....
6. L'ensemble formé par la capside et l'acide nucléique constitue la .....
7. Les sous-unités protéiques de la capside sont appelées .....
8. Le virus de la grippe possède un génome à .....
9. Les rétrovirus utilisent une enzyme appelée .....
10. La multiplication virale débute par l'..... à la cellule hôte.

Exercice 03. Remettre dans l'ordre chronologique les étapes suivantes, puis expliquer brièvement chaque étape.

- ✓ Réplication du génome viral
- ✓ Assemblage des virions
- ✓ Pénétration
- ✓ Décapsidation
- ✓ Libération
- ✓ Attachement

Exercice 04.

1. Pourquoi les virus sont-ils considérés comme des parasites intracellulaires obligatoires?

2. Quelles différences fondamentales existent entre un champignon et un virus?

3. Pourquoi les champignons peuvent-ils se développer dans des milieux relativement acides?

4. Quels avantages biologiques présente la reproduction sexuée chez les champignons?

5. Expliquez le rôle de la transcriptase inverse chez les rétrovirus.

TD 08. Terminologie en microbiologie

Micro-organisme: être vivant microscopique, invisible à l'œil nu, comprenant les bactéries, les archées, certains champignons, les protozoaires, les algues microscopiques et, selon le contexte, les virus.

Microbiologie: branche de la biologie qui étudie les micro-organismes.

Bactérie: micro-organisme unicellulaire procaryote dépourvu de noyau véritable.

Procaryote: Cellule ne possédant pas de noyau entouré d'une membrane.

Eucaryote: Cellule possédant un noyau délimité par une membrane et des organites spécialisés.

Virus: Agent infectieux acellulaire qui ne peut se multiplier qu'à l'intérieur d'une cellule hôte.

Pathogène: Micro-organisme capable de provoquer une maladie.

Flore microbiote (Microbiote): Ensemble des micro-organismes vivant naturellement dans un environnement donné, notamment dans le corps humain.

Culture microbienne: Croissance de micro-organismes dans un milieu nutritif approprié.

Milieu de culture: Préparation nutritive utilisée pour cultiver les micro-organismes.

Colonie: Amas visible de micro-organismes issus de la multiplication d'une seule cellule ou d'un petit groupe de cellules.

Inoculation: Introduction d'un micro-organisme dans un milieu de culture.

Incubation: Maintien d'une culture dans des conditions favorables à sa croissance.

Stérilisation: Destruction totale de tous les micro-organismes, y compris les spores.

Désinfection: Élimination ou réduction des micro-organismes pathogènes sur des surfaces ou objets.

Asepsie: Ensemble des méthodes empêchant la contamination par des micro-organismes.

Antisepsie: Utilisation de produits chimiques pour détruire ou inhiber les micro-organismes sur les tissus vivants.

Spore bactérienne: Structure de résistance produite par certaines bactéries pour survivre à des conditions défavorables.

Gram positif / Gram négatif: Classification des bactéries basée sur la coloration de Gram et la structure de leur paroi cellulaire.

Métabolisme: Ensemble des réactions chimiques assurant le fonctionnement cellulaire.

Aérobie: Micro-organisme nécessitant de l'oxygène pour sa croissance.

Anaérobie: Micro-organisme pouvant vivre en absence d'oxygène.

Saprophyte: Micro-organisme se nourrissant de matière organique morte.

Symbiose: Association durable entre deux organismes avec bénéfice mutuel.

Parasitisme: Relation dans laquelle un organisme tire profit d'un autre à son détriment.

Antibiotique: Substance capable d'inhiber la croissance ou de tuer certaines bactéries.

Antibiogramme: Test permettant de déterminer la sensibilité d'une bactérie aux antibiotiques.

Immunité: Capacité de l'organisme à se défendre contre les agents infectieux.

Infection: Invasion et multiplication d'un agent pathogène dans un organisme.

Épidémie: Augmentation inhabituelle du nombre de cas d'une maladie dans une population donnée.

Taxonomie microbienne: Science qui classe et nomme les micro-organismes.

TD 09. Tableaux de comparaison

1. Bactéries Gram positives vs Gram negatives

Caractéristique	**Gram positif**	**Gram négatif**
Couleur après coloration de Gram	Violet	Rose / rouge
Paroi cellulaire	Épaisse	Fine
Peptidoglycane	Très abondant	Faible
Membrane externe	Absente	Présente
Sensibilité aux antibiotiques	Plus sensible	Plus résistante
Toxines	Exotoxines fréquentes	Endotoxines (LPS)
Exemples	Staphylococcus, Streptococcus	E. coli, Salmonella

2. Bactéries aérobies vs anaérobies

Caractéristique	**Aérobies**	**Anaérobies**
Besoin en oxygène	Obligatoire	Absence d'oxygène
Production d'énergie	Respiration aérobie	Fermentation / respiration anaérobie
Toxicité de l'O_2	Non toxique	Souvent toxique
Milieu de culture	Surface du milieu	Fond du tube
Exemples	Pseudomonas aeruginosa	Clostridium tetani

3. Stérilisation vs désinfection vs antisepsie

Caractéristique	**Stérilisation**	**Désinfection**	**Antisepsie**
Définition	Élimination totale des microbes	Réduction des microbes	Élimination sur tissus vivants
Spore bactérienne	Détruite	Pas toujours détruite	Pas toujours détruite
Application	Matériel médical	Surfaces, objets	Peau, plaies
Produits utilisés	Autoclave, chaleur sèche	Javel, alcool	Alcool, povidone iodée

4. Virus vs bactéries

Caractéristique	Virus	Bactéries
Nature	Acellulaire	Cellulaire
Taille	Très petite	Plus grande
Reproduction	Dans cellule hôte	Division binaire
Métabolisme	Absente	Présent
Traitement	Antiviraux	Antibiotiques
Exemples	VIH, Influenza	E. coli, Staphylococcus

5. Bacilles vs cocci vs spirilles

Forme	Description	Exemple
Cocci	Sphériques	Streptococcus
Bacilles	Bâtonnets	E. coli
Spirilles	Spiralés	Helicobacter pylori

6. Milieux liquides vs solides vs semi-solides

Caractéristique	Liquide	Solide	Semi-solide
Consistance	Fluide	Ferme (agar)	Gélifiée
Utilisation	Multiplication bactérienne	Isolement colonies	Mobilité bactérienne
Exemple	Bouillon nutritif	Gélose nutritive	Gélose semi-solide

7. Culture pure vs culture mixte

Caractéristique	Culture pure	Culture mixte
Composition	Une seule espèce	Plusieurs espèces
Utilisation	Études microbiologiques	Milieux naturels
Isolement	Facile	Difficile
Exemple	Souche isolée de Staphylococcus	Flore intestinale

TD 10. Figures demonstratives des differentes notions en microbiologie générale

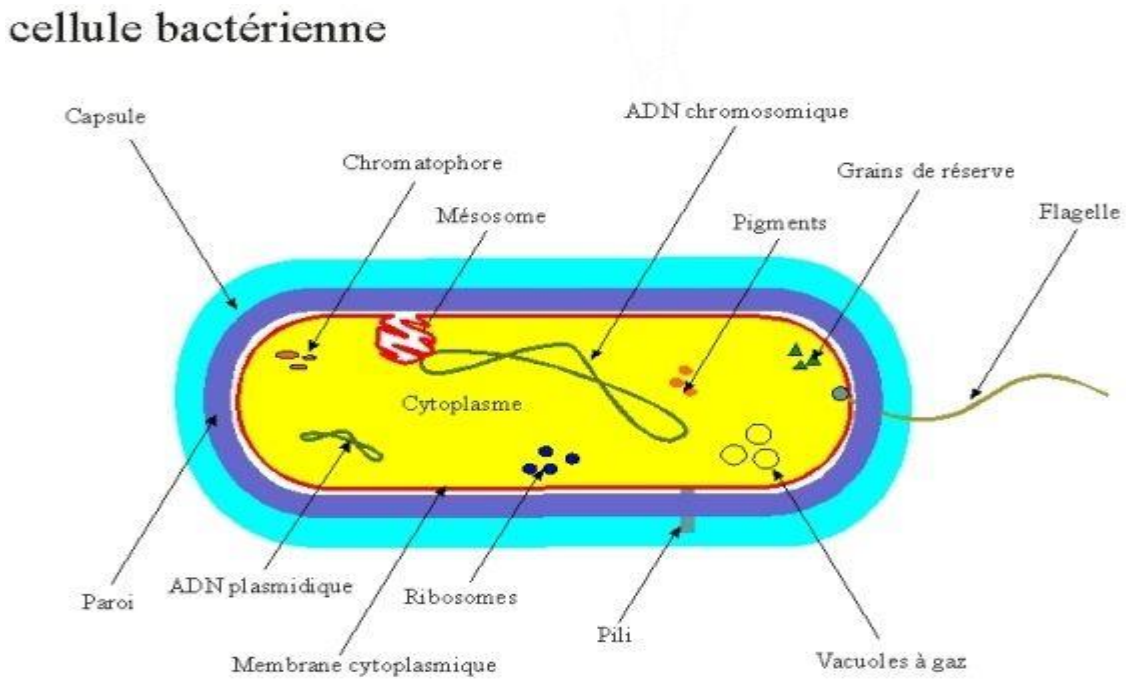


Figure 01. Structure d'une cellule bacterienne

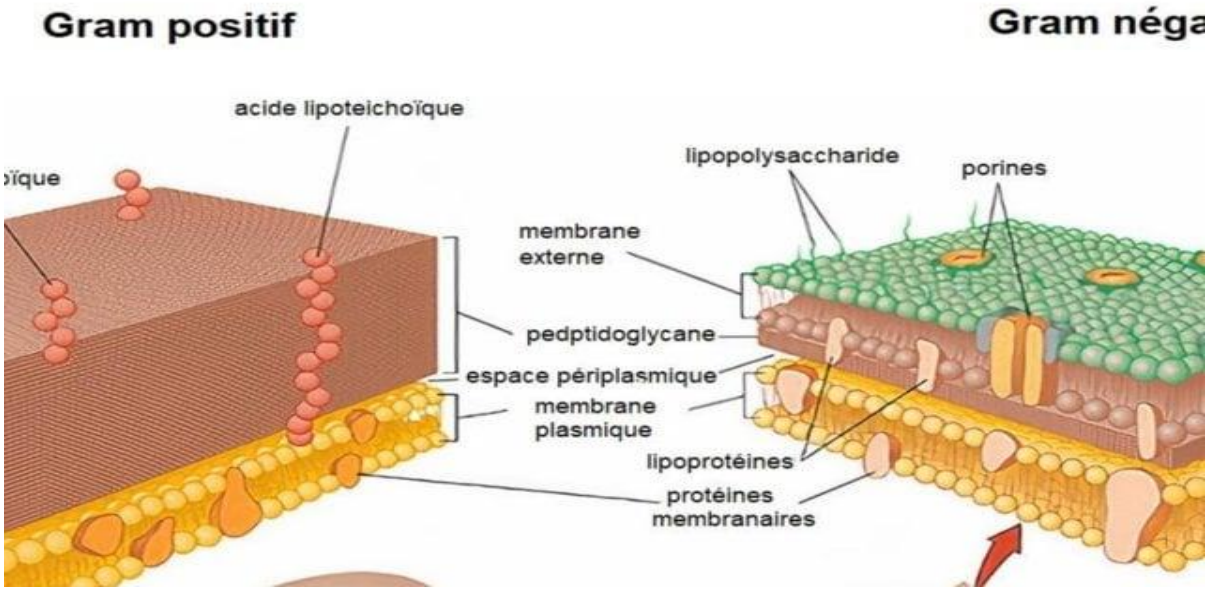


Figure 02. Paroi des gram+ et gram-

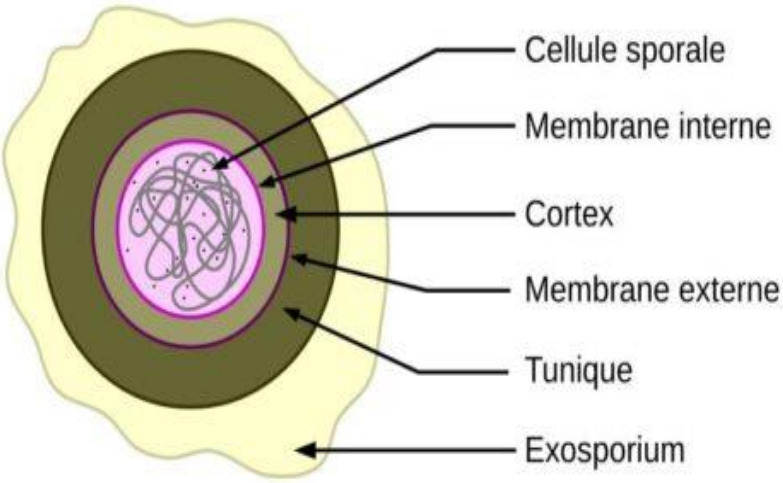


Figure 03. Structure d'une spore bacterienne

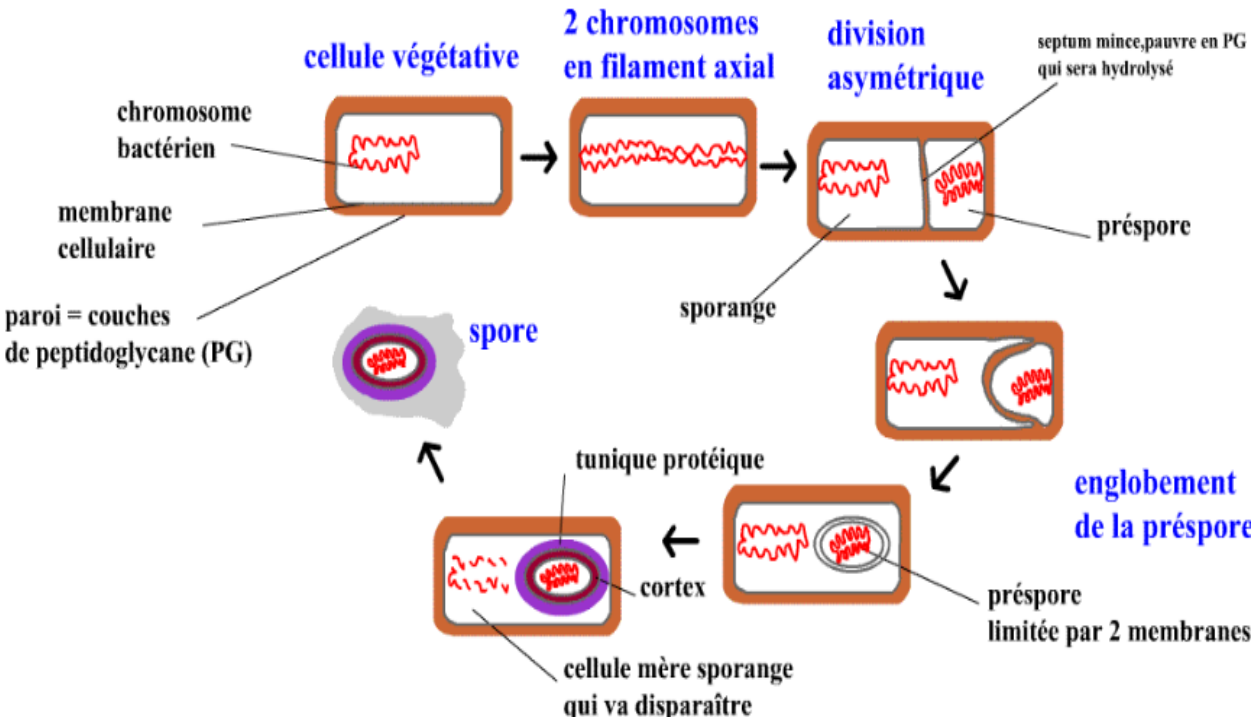


Figure 04. La sporulation bacterienne

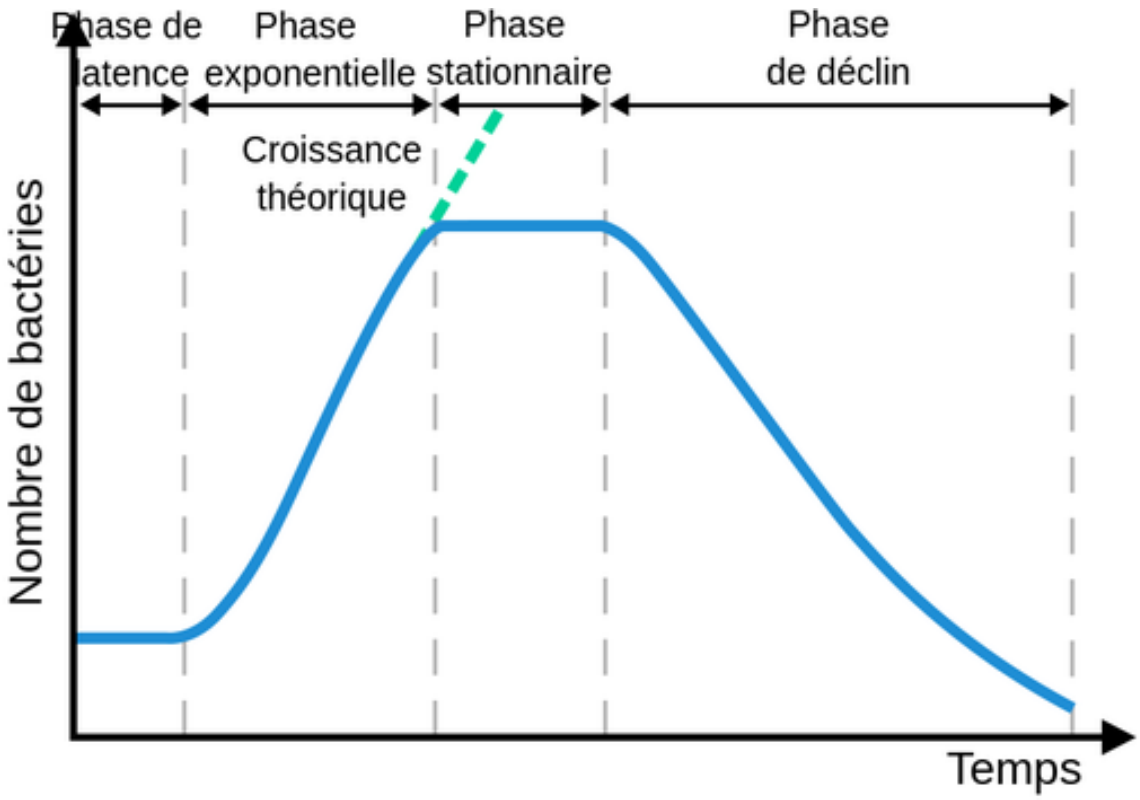


Figure 05. Courbe de croissance bacterienne

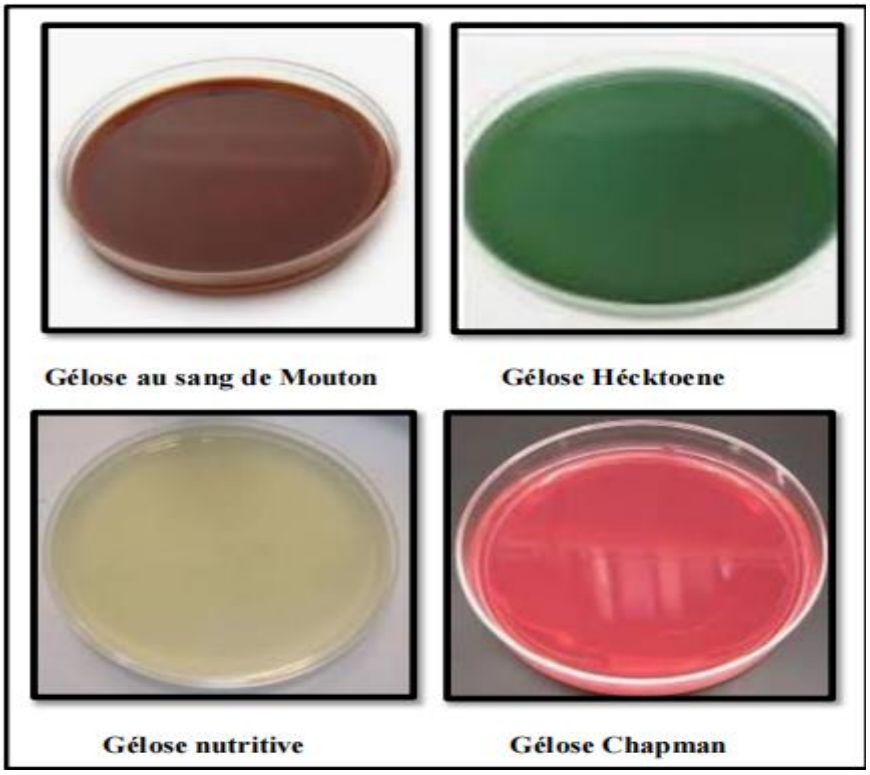


Figure 06. Differents milieu de culture

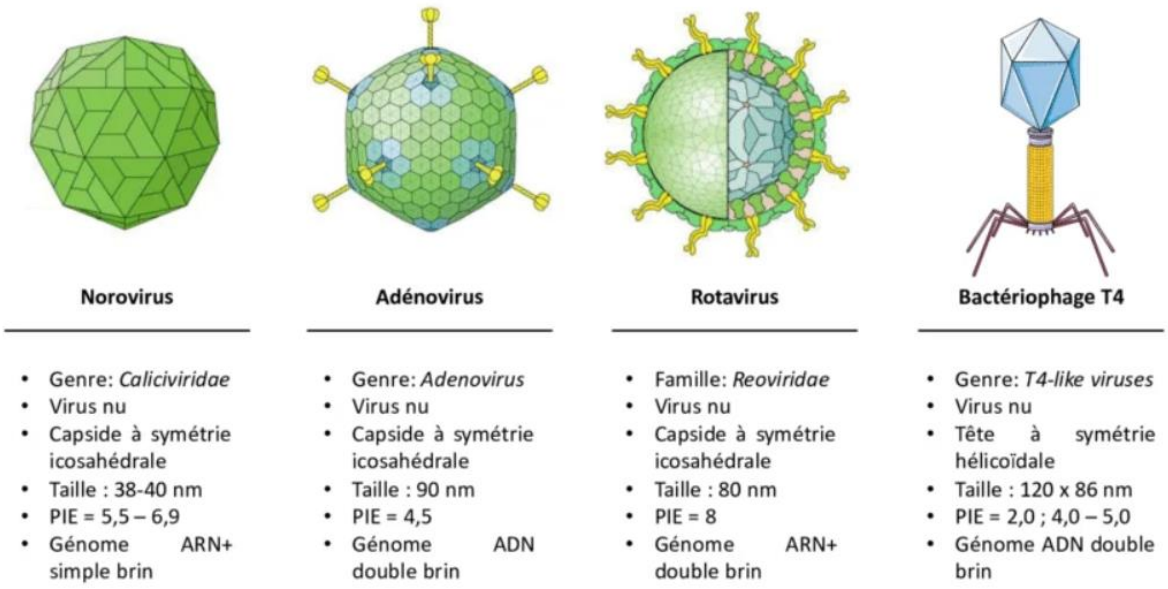


Figure 07. Différents types de virus

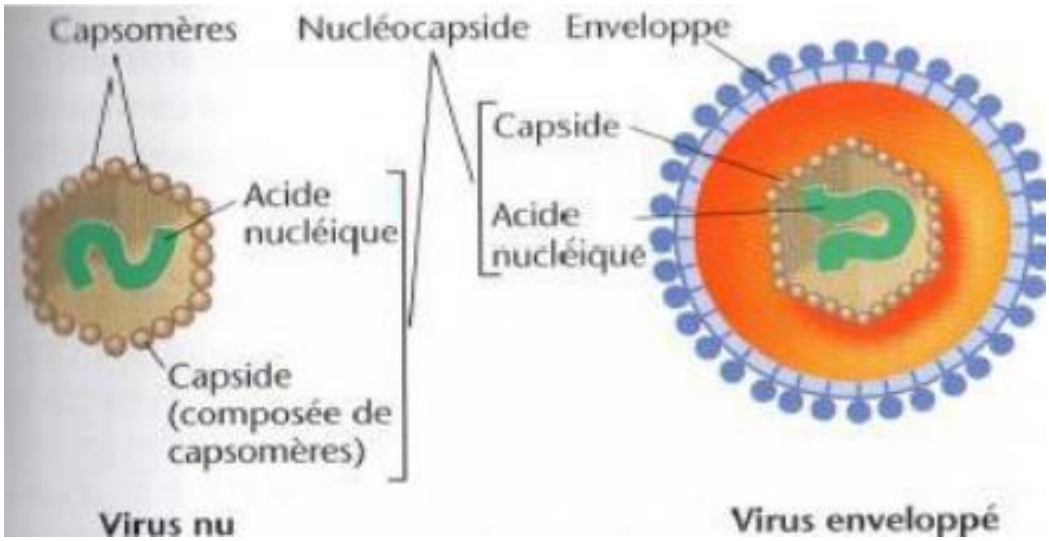


Figure 08. Comparaison d'un virus nu et d'un virus enveloppée

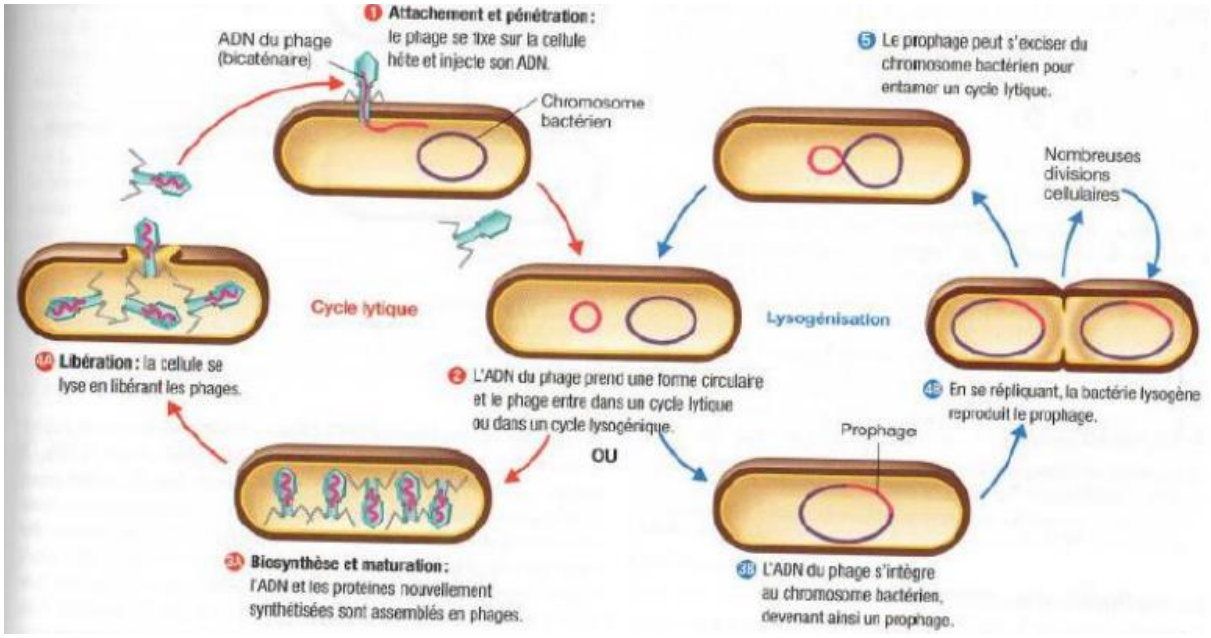
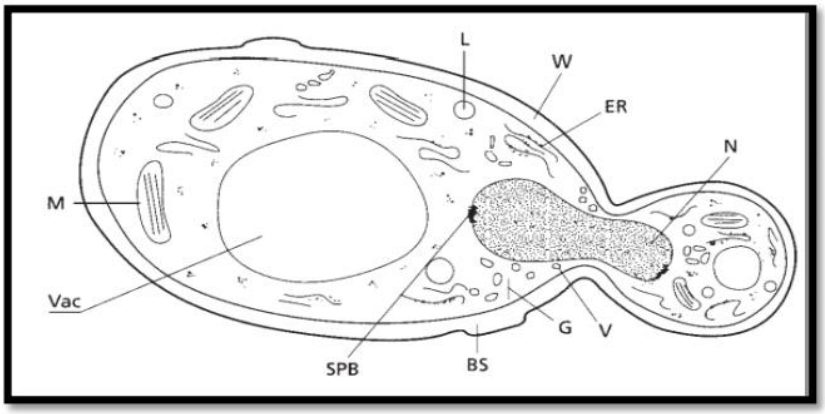


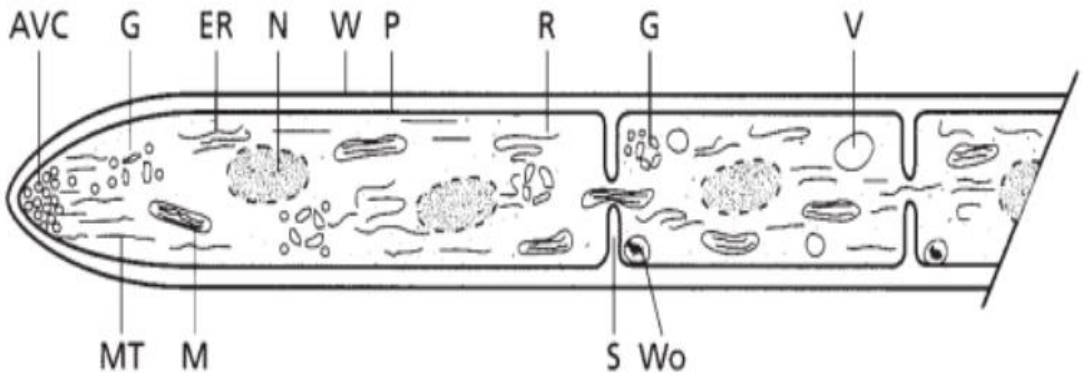
Figure 09. Cycle lytique et lysogénique du bactériophage lambda dans *Escherichia coli*

AVC : vésicule apicale, **G :** golgi **N :** noyau, **W :** paroi, **ER** : réticulum endoplasmique, **P :** membrane plasmique, **R :** polysomes, **V :** vacuole, **S :** septum, **Wo** : corps de Woronin (de nature protéique).



M : mitochondrie,
Vac : vacuole
L : corps lipidiques.
BS : cicatrice de bourgeonnement.
ER : reticulum endoplamsique.
N : noyau,
W : paroi, **G :** Golgi,
V : visicule.

Figure 10. Schéma d'une Levure bourgeonnante



AVC : vésicule apicale**, G :** golgi **N :** noyau, **W :** paroi**, ER** : réticulum endoplasmique, **P :** membrane plasmique**, R :** polysomes**, V :** vacuole**, S :** septum**, Wo** : corps de Woronin (de nature protéique).

Figure 11. Schéma d'un hyphe de champignons

CORRIGE TYPE

CORRIGE TYPE TD MICROBIOLOGIE

TD 01. LA CELLULE BACTERIENNE

Exercice 01:

✓ Les différents groupes qui composent le monde vivant selon les classifications établies par:

- Haeckel : 3 règnes: Animal, végétal, Protistes
- Whittacker : 5 règnes: Animal, végétal, protistes, monères, fungi
- Carl Woese: 3 domaines, Archaea, Bacteria, Eukarya

✓ Les critères pris en compte sont:

Haeckel : Animaux et végétaux, les cellules sont différenciées en tissus, les protistes non.

Wittaker : Type cellulaire ; niveau d'organisation cellulaire, type de nutrition

Woese : Séquences des molécules de l'ARNr

Exercice 02 : Repondez par vrai ou faux

1. La cellule bactérienne possède un noyau entouré d'une membrane. Faux
2. L'ADN bactérien est généralement circulaire. Vrai
3. Les ribosomes des bactéries sont de type 80S. Faux
4. La paroi bactérienne contient du peptidoglycane. Vrai
5. Les bactéries Gram positives ont une paroi plus épaisse que les Gram négatives. Vrai
6. Toutes les bactéries possèdent des flagelles. Faux
7. Les pili peuvent intervenir dans l'adhésion des bactéries aux surfaces. Vrai
8. Les bactéries sont des organismes procaryotes. Vrai
9. La capsule bactérienne peut protéger contre la phagocytose. Vrai
10. Les bactéries possèdent des mitochondries. Faux

Exercice 03 :

Remplacer les chiffres par des mots

✓ Les bactéries de forme sphérique sont désignées sous le terme de coccis.
✓ Les bactéries en forme de bâtonnet sont désignées sous le terme de bacilles.
✓ Les protistes se composent : .
✓ Les cellules procaryotes en forme de bâtonnet sont appelées bacilles.
✓ Le terme cocci désigne les bactéries de forme sphérique.

Exercice 04 :

1. Les principaux constituants d'une cellule bactérienne.

- ✓ Paroi bactérienne
- ✓ Membrane plasmique
- ✓ Cytoplasme
- ✓ Nucléoïde (ADN circulaire)
- ✓ Ribosomes (70S)
- ✓ Flagelles (mobilité)
- ✓ Pili ou fimbriae
- ✓ Capsule (chez certaines bactéries)

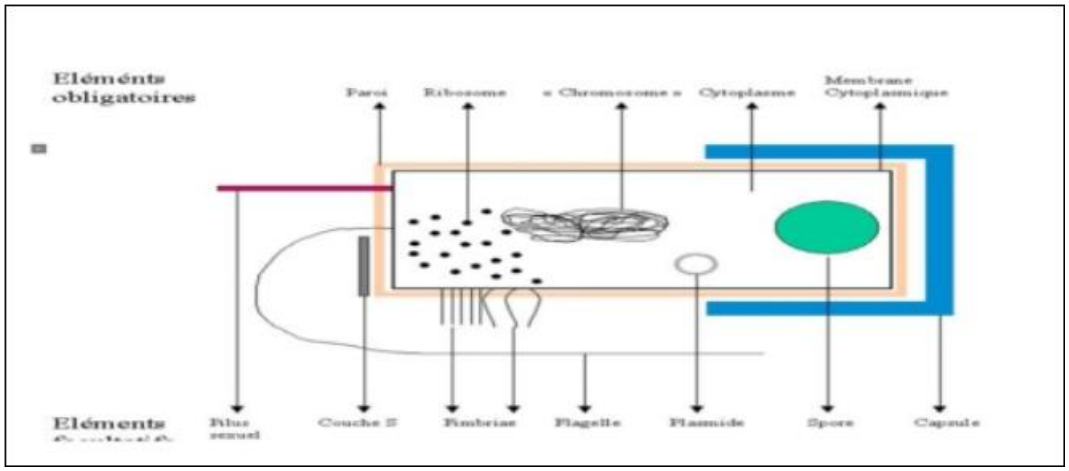
2. Différences entre bactéries / eucaryotes :

Bactéries = procaryotes (pas de noyau vrai), ADN circulaire, Pas d'organites membranaires, Taille plus petite (1–5 µm)

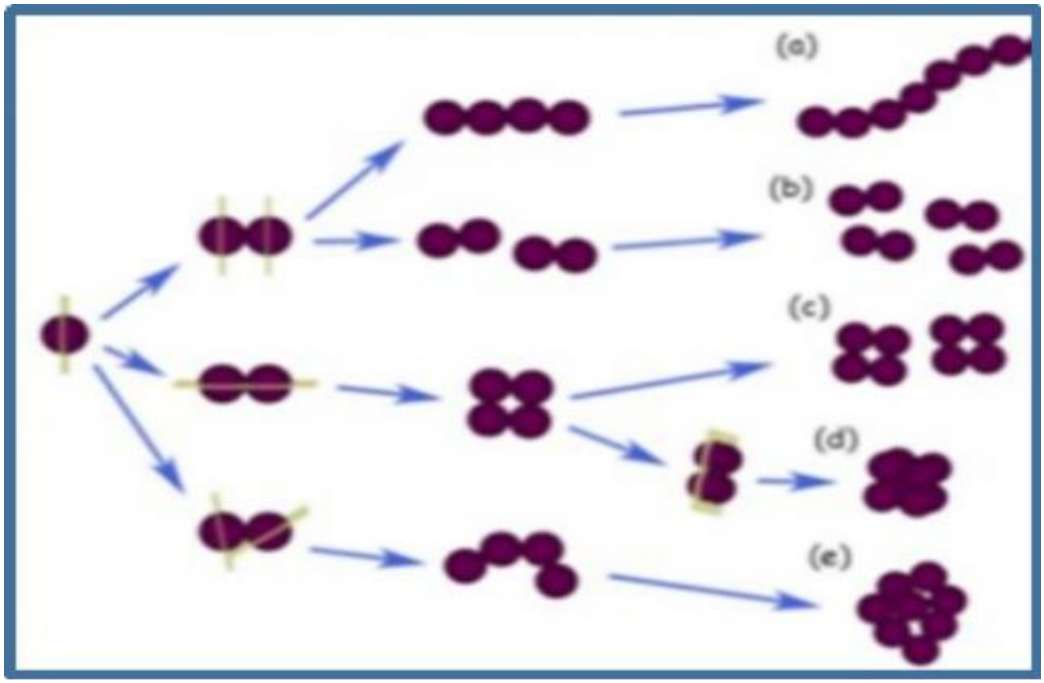
3. Rôles :

- ✓ Paroi bactérienne: protection et maintien de la forme
- ✓ Membrane plasmique: échanges et métabolisme
- ✓ Nucléoïde: contient l'information génétique

Exercice 05 :



Titre 01: Structure de la cellule microbienne



Titre 02. Mode de regroupement des coques

(a) En chainette.(b) diplocoque.(c) tetrade. (d)palissade. (e) en amas

2. Les different synonymes du peptidogycane

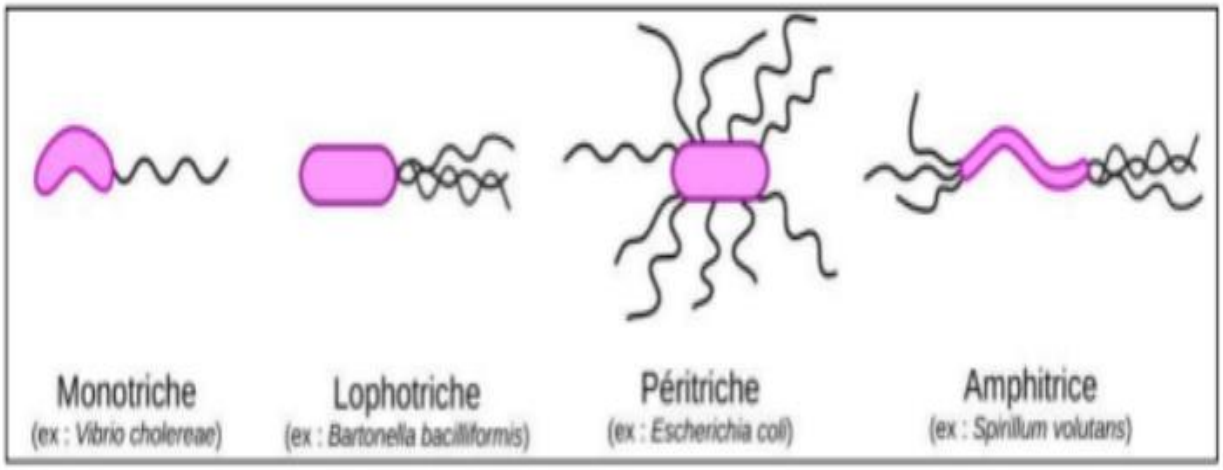
Peptidoglycane=mureine=mucopeptide=mucocomplexe

Exercice 06 : Compléter le tableau suivant en indiquant le nombre de plans de division, le type de regroupement et la description de l'organisation.

Bactérie	Nombre de plans de division	Type de regroupement	Description
Coques	1 plan	Diplocoques	cellules par paires
Coques	1 plan mais séparation incomplète	Streptocoques	chaînes de cellules
Coques	2 plans perpendiculaires	Tétrades	groupe de 4 cellules
Coques	3 plans perpendiculaires	Sarcines	cube de 8 cellules
Coques	plans multiples aléatoires	Staphylocoques	amas en grappe

Exercice 07 :

- ✓ Ciliature péritriche (*Escherichia coli, Proteus vulgaris*).
- ✓ Autres ciliatures :



- ✓ Déplacement en long trajets rectilignes (monotriche) ou en courts trajets avec changements fréquents de direction (péritriche).
- ✓ Fimbrae : court appendices protéiques fins et plus minces que les flagelles. Ils ne sont pas impliqués dans les mouvements. Flagelles : appendices locomoteurs de nature protéique (flagelline) avec une structure hélicoïdale qui s'étendent à l'extérieur de la membrane plasmique et de la paroi cellulaire.

TD 02. PAROI ET COLORATION DE GRAM

Exercice 01: Choisissez la bonne reponse

1. La paroi de la bactérie est :

a) Un élément constant de la bactérie

b) Peut représenter un facteur de virulence

c) Est un élément extracellulaire

d) Correspond à l'antigène O

2. La différence de couleur entre bactéries à Gram négatif et bactéries à Gram positif :

a) Une différence de structure de la membrane cytoplasmique

b) Une différence de structure de la paroi

c) La présence d'une capsule

d) Une différence au niveau de la forme bactérienne

3. Le peptidoglycane est un constituant qu'on retrouve chez :

a) Toutes les bactéries

b) Une majorité de bactéries

c) Les protoplastes

d) Les sphéroplastes

e) Les bactéries à Gram positif et à Gram négatif

Exercice 02 : Remettre les étapes dans l'ordre correct

A. Décoloration à l'alcool 4

B. Contre-coloration à la safranine 5

C. Fixation du frottis 1

D. Coloration au violet de cristal 2

E. Lugol (mordant) 3

C-D-E-A-B

Exercice 03 : On observe au microscope des bactéries violettes et des bactéries roses

1. Les bactéries violettes sont : **Gram+**
2. Les bactéries roses sont : **Gram -**
3. Quelle structure explique cette différence ? **Peptidoglycane**

Exercice 04 : Compléter le tableau suivant

Élément	**Gram +**	**Gram −**
Peptidoglycane	Epais	Couche mince
Acides teichoïques	presents	absents
Membrane externe	absente	presente
LPS	absent	Présent dans la membrane externe
Espace périplasmique	Très réduit ou absent	Bien développé, entre les deux membranes

Exercice 05 :

1. **Pourquoi l'alcool décolore les bactéries Gram négatif mais pas les Gram positif ?**

L'alcool dissout la membrane externe des Gram négatif et le peptidoglycane mince ne retient pas le complexe violet-lugol.
Chez les Gram positif, le peptidoglycane épais retient le complexe coloré.

2. **Pourquoi les mycoplasmes ne peuvent-ils pas être classés par la coloration de Gram?**
   - ✓ Absence de paroi
   - ✓ Pas de peptidoglycane
   - ✓ Ne retiennent aucun colorant

   La coloration de Gram dépend entièrement de la paroi.

3. **Pourquoi la coloration de Gram est-elle toujours utilisée aujourd'hui en microbiologie clinique malgré l'existence de techniques moléculaires plus modernes?**
   - ✓ Technique rapide (quelques minutes)
   - ✓ Peu coûteuse
   - ✓ Permet une orientation thérapeutique immediate
   - ✓ Donne des informations morphologiques (forme, arrangement)
   - ✓ Première étape du diagnostic en laboratoire
   - ✓ outil simple, fiable et indispensable en première intention.

TD 03. SPORULATION ET GERMINATION

Partie I. QCM

1. La sporulation bactérienne est déclenchée principalement par:
A. Conditions favorables
B. Manque de nutriments
C. Température basse
D. Excès d'oxygène

2. La structure responsable de la résistance thermique des spores est principalement :
A. La membrane plasmique
B. Le cortex
C. Les ribosomes
D. Les flagelles

3. Pendant la germination bactérienne :
A. La spore absorbe de l'eau
B. Le Ca-DPA est libéré
C. Le métabolisme reprend
D. La cellule mère se forme

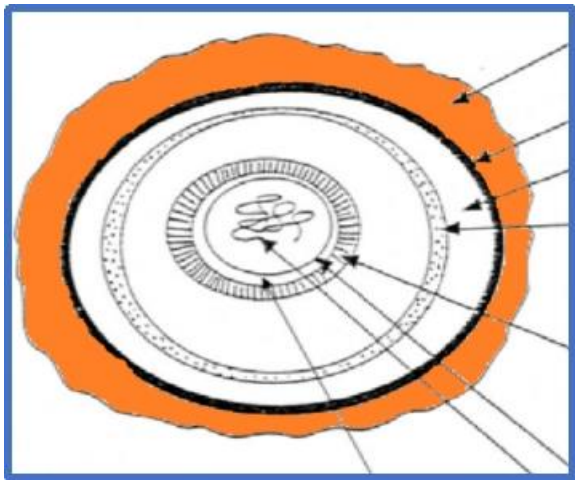
4. La sporulation comprend :
A. Formation du septum asymétrique
B. Formation du cortex
C. Lyse de la cellule mère
D. Division binaire

5. La germination des spores est déclenchée par :
A. La présence de nutriments
B. L'absence d'eau
C. Des acides aminés
D. Des sucres

Partie II:

Exercice 01: Certaines bactéries se différencie vers une forme de résistance métaboliquement inactive, appelée **spore**.

1. Légender la figure d'une spore bactérienne



Les principales structures d'une endospore bactérienne sont (de haux en bas) :

1. Exosporium
2. Tunique sporale (coat)
3. Cortex
4. Paroi germinative
5. Membrane interne
6. Cœur ou protoplaste
7. ADN bactérien

2. Citer au moins trois conditions pour qu'une bactérie sporule

- ✓ Carence en nutriments (carbone, azote, phosphore...)
- ✓ Manque d'eau (dessiccation)
- ✓ Températures extrêmes

3. Indiquer si toutes les bactéries peuvent sporuler et donner un exemple d'une bactérie sporulée.

Non, toutes les bactéries ne peuvent pas sporuler.

La sporulation est une propriété de certains genres bactériens seulement, principalement :

- ✓ Bacillus
- ✓ Clostridium

Exemple :

- ✓ Bacillus subtilis

- ✓ ou Clostridium tetani

4. Décrire les principales étapes de la sporulation bactérienne brievement.

- ✓ Réplication de l'ADN de la cellule végétative.
- ✓ Formation d'un septum asymétrique qui sépare la cellule en deux compartiments.
- ✓ Englobement de la préspore par la cellule mère.
- ✓ Formation du cortex entre les deux membranes.
- ✓ Formation des tuniques sporales protectrices.
- ✓ Maturation de la spore avec déshydratation du cœur et accumulation d'acide dipicolinique.
- ✓ Lyse de la cellule mère et libération de la spore mature dans le milieu.

Exercice 02:

1. Définir la germination bactérienne et donner trois facteurs qui déclenchent la germination.

La germination bactérienne est le processus par lequel une spore bactérienne dormante reprend son activité métabolique et se transforme en cellule végétative active lorsque les conditions du milieu deviennent favorables.

Trois facteurs qui déclenchent la germination:

- ✓ Présence de nutriments (glucose, acides aminés, etc.).
- ✓ Présence d'eau (hydratation).
- ✓ Température favorable à la croissance bactérienne.

2. Quelle structure de la spore est dégradée pendant la germination?

La structure principalement dégradée pendant la germination est le **cortex de la spore**.

3. Compléter les phrases suivantes :

✓ La spore bactérienne est une forme **dormante** et **très résistante**.

✓ La germination commence lorsque les conditions deviennent **favorables.**

✓ Pendant la germination, la spore absorbe de **l'eau.**

TD 04. Classification Bactérienne

Exercice 01.

- ✓ **Taxinomie:** science de la classification des êtres vivants.
- ✓ **Nomenclature:** attribution d'un nom aux organismes.
- ✓ **Taxon:** unité de classification.
- ✓ **Identification:** détermination de l'identité d'un micro-organisme.

2. Citer les principaux rangs de la hiérarchie taxinomique.

Domaine → Règne → Phylum → Classe → Ordre → Famille → Genre → Espèce

3. Donner deux objectifs de l'identification des bactéries.

- ✓ Utilisation des bactéries bénéfiques.
- ✓ Contrôle des bactéries pathogènes.

Exercice 02.

1. Quels sont les caractères morphologiques utilisés dans l'identification bactérienne ?

- ✓ Forme cellulaire
- ✓ Taille
- ✓ Arrangement
- ✓ Mobilité
- ✓ Présence de spores
- ✓ Coloration de Gram

2. Pourquoi les caractères morphologiques seuls ne suffisent-ils pas pour établir les relations phylogénétiques ?

Parce qu'ils ne reflètent pas toujours la parenté génétique réelle.

3. Donner quatre exemples de tests métaboliques utilisés en bactériologie.

- ✓ Catalase
- ✓ Oxydase
- ✓ Utilisation du citrate
- ✓ Hydrolyse de l'urée

4. Quel est le principe de la méthode sérologique ?

Réaction spécifique antigène-anticorps.

5. Quels sont les antigènes recherchés chez les bactéries Gram négatif ?

- ✓ Antigène O
- ✓ Antigène H
- ✓ Antigène K

Exercice 03.

Proposition	**Réponse**
1	**Vrai**
2	**Vrai**
3	**Faux**
4	**Vrai**
5	**Vrai**

Exercice 04.

1. Quels sont les quatre critères principaux de la taxonomie génétique ?

- ✓ Taille du génome
- ✓ % G+C
- ✓ Hybridation ADN/ADN
- ✓ Séquençage ARNr 16S

2. Écrire les règles de Chargaff.

- ✓ A = T
- ✓ G = C
- ✓ (A+G) = (C+T)

3. Calculer le pourcentage de G+C

G+C = 30 + 30 = 60 %

4. Quel est l'intérêt du séquençage de l'ARNr 16S?

Permet d'étudier les relations phylogénétiques et d'identifier les bactéries.

Exercice 05.

G+C = 35 + 35 = 70 %

G+C= 70 %

Exercice 06.

1. Quels critères étaient utilisés dans les premières éditions du Manuel de Bergey ?

- ✓ Morphologie
- ✓ Gram
- ✓ Mobilité
- ✓ Température de croissance
- ✓ Sporulation
- ✓ Type respiratoire
- ✓ Besoins nutritionnels

3. Associer chaque division à sa caractéristique :

Division	**Caractéristique**
Gracilicutes	Gram négatif
Firmicutes	Gram positif
Tenericutes	Sans paroi
Mendosicutes	Archéobactéries

Exercice 07. Compléter les phrases suivantes

1. La science qui étudie les règles de classification des êtres vivants est appelée **taxinomie**.

2. L'ensemble des espèces présentant des caractères communs constitue un **taxon**.

3. La réaction spécifique utilisée dans les méthodes sérologiques est la réaction **antigène – anticorps**.
4. Les antigènes O sont des antigènes **somatiques**.
5. Les antigènes H sont des antigènes **flagellaires**.
6. La lysotypie utilise des **bactériophages** pour identifier les bactéries.
7. Le séquençage de l'**ARNr 16S** (ARN ribosomal 16S) est actuellement le critère moléculaire le plus utilisé en taxonomie bactérienne.

TD 05. NUTRITION ET CROISSANCE BACTERIENNE

Exercice 01:

Classer les bactéries suivantes selon leur mode nutritionnel :

1. Une bactérie qui utilise le CO_2 et la lumière: Photoautotrophe
2. Une bactérie utilisant du glucose et produisant de l'énergie par oxydation chimique : Chimiohétérotrophe
3. Une bactérie utilisant NH_3 comme source d'énergie et CO_2 comme source de carbone: Chimioautotrophe (nitrifiante)

Exercice 02:

1. Quel type de bactéries pousse dans A?

   Chimiohétérotrophes

2. Quel type pousse dans B?

   Chimioautotrophes

3. Pourquoi C est-il appelé milieu enrichi? Car il contient des facteurs de croissance (vitamines, AA)

Exercice 03:

1. Comment appelle-t-on ces bactéries ?

   Auxotrophes

2. Donner l'opposé

   Prototrophes

3. Pourquoi ces besoins existent-ils ?

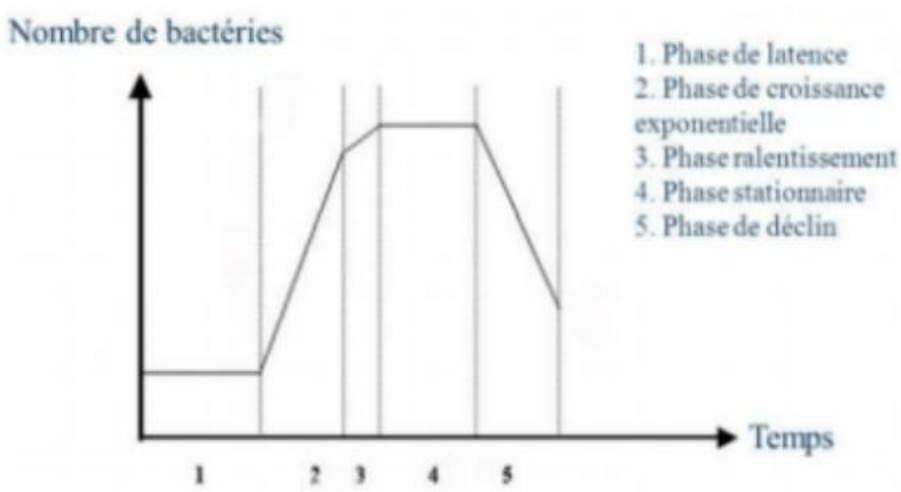
   Elles ont perdu certaines voies de biosynthèse

Exercice 04:

1. Toutes les bactéries utilisent le glucose Faux — Certaines bactéries utilisent d'autres sources de carbone ou d'énergie (comme les lipides, protéines, ou même des composés minéraux). Le glucose n'est pas universel.

2. Les bactéries autotrophes ne nécessitent pas de matière organique Vrai — Elles utilisent le CO_2 comme source de carbone et n'ont pas besoin de matière organique.
3. Une bactérie phototrophe ne peut pas être hétérotrophe Faux — Certaines bactéries sont photohétérotrophes : elles utilisent la lumière comme source d'énergie mais nécessitent une source organique de carbone.
4. Les milieux enrichis sont toujours sélectifs Faux — Un milieu enrichi favorise la croissance de certaines bactéries (apport de nutriments), mais il n'est pas forcément sélectif (il ne bloque pas la croissance des autres).

Exercice 05:



1. Les 5 phases de croissance sont :

· Phase 1 : Phase de latence :

- Adaptation au nouveau milieu. Préparation de la machinerie enzymatique nécessaire à la dégradation des nouveaux substrats.

- Pas de division bactérienne (µ = zéro).

· Phase 2 : Phase d'accélération :

- Phase intermédiaire entre la phase de latence et la phase exponentielle.

- Il y a accélération du rythme de division bactérienne (µpasse de zéro et tend vers µmax).

· Phase 3 : Phase exponentielle :

- Les bactéries sont dans leur état physiologique et métabolique optimum. D'où un maximum de synthèses surtout d'ADN et par conséquent un maximum de divisions bactérienne. Le taux de croissance est maximum (µmax).

· Phase 4 : Phase stationnaire :

- Arrêt de croissance. Arrêt de divisions bactérienne (µ = zéro).

- Les conditions de culture commencent à devenir défavorables.

· Phase 5 : Phase de déclin :

- Les conditions de culture sérieusement défavorables.

- Il y a mort des bactéries (µ < zéro).

- Existence possible de formes de résistance (spores) pour les souches qui sporulent.

2. Phase de croissance exponentielle.

3. G= t/n

TD 06. Milieux de culture et Techniques d'Isolement

Exercice 01:

1. Un milieu de culture est une préparation nutritive permettant la croissance des **micro-organismes**.
2. Un milieu contenant de l'agar est appelé milieu **solide (gélosé)**.
3. Un milieu liquide sans agar est appelé **bouillon**.
4. Un milieu utilisé pour favoriser la croissance d'une bactérie particulière est un milieu **sélectif**.
5. Un milieu qui permet de distinguer plusieurs bactéries grâce à leurs caractéristiques biochimiques est un milieu **différentiel**.
6. L'isolement consiste à obtenir une **culture pure** bactérienne à partir d'un mélange de micro-organisme

Exercice 02:

- ✓ Milieu ordinaire : Gélose nutritive
- ✓ Milieu enrichi : Gélose au sang
- ✓ Milieu sélectif : Gélose Chapman
- ✓ Milieu différentiel : Gélose MacConkey

Exercice 03: Répondre aux questions

1. Quel est le but de l'isolement bactérien ?

   Obtenir une culture pure.
2. Quelle technique est la plus utilisée pour obtenir des colonies isolées ?

   La méthode des stries d'épuisement (épuisement en quadrants).
3. Pourquoi flambe-t-on l'anse entre les stries lors de l'isolement par épuisement ?

   Pour diminuer progressivement le nombre de bactéries déposées sur la gélose.
4. Classer les étapes suivantes de l'isolement par stries :
   - ✓ Stérilisation de l'anse
   - ✓ Prélèvement de l'inoculum
   - ✓ Réalisation des stries
   - ✓ Incubation
   - ✓ Observation des colonies

Exercice 04:

A : Prélèvement de gorge

- Milieu : gélose au sang.
- Justification : milieu enrichi permettant la croissance des bactéries exigeantes comme les streptocoques.
- Résultat attendu : observation d'une éventuelle hémolyse (α, β ou γ).

B : Prélèvement de selles

- Milieu : gélose MacConkey.
- Justification : milieu sélectif pour les bactéries Gram négatif intestinales.
- Résultat attendu :
  - ✓ colonies roses : fermentation du lactose ;
  - ✓ colonies incolores : absence de fermentation.

C : Prélèvement de pus

- Milieu : gélose Chapman.
- Justification : forte concentration en NaCl favorisant les staphylocoques.
- Résultat attendu :
  - ✓ colonies jaunes pour les staphylocoques fermentant le mannitol ;
  - ✓ colonies roses pour les non-fermentants.

Exercice 05:

1. L'isolement a-t-il réussi ?

Oui, l'isolement est réussi.

2. Pourquoi observe-t-on moins de bactéries du secteur 1 au secteur 4 ?

Chaque passage de l'anse diminue la concentration bactérienne.

3. Dans quel secteur faut-il prélever la bactérie pour obtenir une culture pure ?

Dans le secteur 4.

4. Quel est l'intérêt de cette technique ?

Obtenir une colonie isolée et donc une culture pure.

TD 07. MYCOLOGIE ET VIROLOGIE

Exercice 01. Cocher la ou les reponses juste

1. Les mycètes sont :
a) Des procaryotes
b) Des eucaryotes
c) Des autotrophes
d) Des chimiohétérotrophes

2. La paroi cellulaire des champignons contient principalement :
a) Peptidoglycane
b) Chitine
c) Glucanes
d) Lipopolysaccharides

3. Les levures sont:
a) Des organismes pluricellulaires
b) Des champignons unicellulaires
c) Des virus
d) Toujours pathogènes

4. L'ensemble des hyphes constitue:
a) Une spore
b) Un sporange
c) Un mycélium
d) Une capsule

5. Les levures se reproduisent asexuellement principalement par:
a) Conjugaison
b) Bourgeonnement
c) Sporulation
d) Fragmentation

6. Un virus contient:
a) ADN et ARN simultanément
b) ADN ou ARN
c) Ribosomes
d) Mitochondries

7. La capside virale est constituée de:
a) Acides aminés libres
b) Capsomères
c) Peptidoglycane
d) Lipides

8. Les rétrovirus appartiennent à:
a) La classe I
b) La classe III
c) La classe VI
d) La classe VII

9. Le VIH est:
a) Un virus à ADN
b) Un rétrovirus

c) Un bactériophage
d) Un virus nu

10. La multiplication des virus est:

a) Extracellulaire
b) Facultativement intracellulaire
c) Obligatoirement intracellulaire
d) Indépendante de la cellule hôte

Exercice 02. Compléter les phrases

1. Les champignons filamenteux sont appelés **Moisissures**
2. L'ensemble des hyphes forme un **Mycélium**
3. La paroi des champignons contient principalement de la **Chitine**
4. Les spores issues d'une reproduction asexuée sont appelées **Mitospores**
5. Les spores issues d'une reproduction sexuée sont appelées **Méiospores**
6. L'ensemble formé par la capside et l'acide nucléique constitue la **Nucléocapside**
7. Les sous-unités protéiques de la capside sont appelées **Capsomères**
8. Le virus de la grippe possède un génome à **ARN**
9. Les rétrovirus utilisent une enzyme appelée **Transcriptase inverse**
10. La multiplication virale débute par l' **Attachement** à la cellule hôte.

Exercice 03. Remettre dans l'ordre chronologique les étapes suivantes, puis expliquer brièvement chaque étape.

✓ **Ordre correct :**

1. Attachement
2. Pénétration
3. Décapsidation
4. Réplication du génome viral
5. Assemblage des virions
6. Libération

✓ Explication courte :

- Attachement: fixation au récepteur cellulaire
- Pénétration: entrée du virus
- Décapsidation: libération du génome

- Réplication: synthèse des composants viraux
- Assemblage: formation des virions
- Libération: sortie des nouveaux virus

Exercice 04.

1. Pourquoi les virus sont-ils considérés comme des parasites intracellulaires obligatoires?

2. Virus = parasites intracellulaires obligatoires car incapables de produire énergie ou protéines seuls.

3. Quelles différences fondamentales existent entre un champignon et un virus?

Champignons = eucaryotes cellulaires / Virus = acellulaires, non vivants hors cellule.

4. Pourquoi les champignons peuvent-ils se développer dans des milieux relativement acides?

Champignons tolèrent pH acide grâce à enzymes adaptées et faible compétition bactérienne.

5. Quels avantages biologiques présente la reproduction sexuée chez les champignons?

Reproduction sexuée = variabilité génétique + adaptation.

6. Expliquez le rôle de la transcriptase inverse chez les rétrovirus.

Transcriptase inverse : synthétise ADN à partir ARN (rétrovirus) permettant intégration au génome hôte.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Madigan M. T., Bender K. S., Buckley D. H., Sattley W. M., Stahl D. A. (2021). *Brock Biology of Microorganisms* (16e édition). Pearson.

2. Willey J. M., Sherwood L. M., Woolverton C. J. (2022). *Prescott's Microbiology* (12e édition). McGraw-Hill Education.

3. Tortora G. J., Funke B. R., Case C. L. (2019). *Microbiology: An Introduction* (13e édition). Pearson.

4. Bauman R. W. (2018). *Microbiology: With Diseases by Body System* (5e édition). Pearson.

5. Leboffe M. J., Pierce B. E. (2017). *Microbiology: Laboratory Theory and Application* (4e édition). Morton Publishing.

6. Pelczar M. J., Chan E. C. S., Krieg N. R. (2008). *Microbiology* (5e édition). McGraw-Hill.

7. Atlas R. M. (2010). *Handbook of Microbiological Media*. CRC Press.

8. Deacon J. (2006). *Fungal Biology* (4th edition). Blackwell Publishing.

9. Madigan M. T., Martinko J. M. (2015). *Brock Biology of Microorganisms* (14e édition). Pearson.

10. Murray P. R., Rosenthal K. S., Pfaller M. A. (2021). *Medical Microbiology* (9e édition). Elsevier.

11. Schaechter M. (2019). *Microbiologie médicale et infectieuse*. Elsevier Masson.

12. Guiraud J. P. (2003). *Microbiologie alimentaire*. Dunod.

13. Bourgeois C. M., Mescle J. F., Zucca J. (1996). *Microbiologie alimentaire*. Lavoisier.

14. Prieur D. (2011). *Mini manuel de microbiologie*. Dunod.

15. Prats G. (2023). *Microbiologie et parasitologie médicales*. Elsevier Masson.