

INTRODUCTION : CHOIX PÉDAGOGIQUES

Ce chapitre est l'occasion de montrer comment le savoir scientifique s'est construit, et se construit encore aujourd'hui. L'élaboration de la théorie cellulaire permet d'aborder la question de la théorie scientifique. Le lien étroit entre les progrès techniques et scientifiques est mis en évidence au fil des différentes unités. Une attention particulière est portée aux questions d'échelles, que l'élève est souvent invité à utiliser.

POUR COMMENCER

1. → b.

2. → a.

UNITÉ 1

1

Dans cette unité, il s'agit de repérer à quel moment de l'Histoire les premières observations de cellules ont eu lieu, et d'expliquer le lien entre les progrès de fabrication des lentilles et la qualité des observations réalisées à l'époque.

Il est intéressant de montrer aux élèves que la taille du « microscope » de Leeuwenhoek est très modeste : une réplique est présentée dans la collection « espèces » du Musée des confluences de Lyon, et des informations sont disponibles sur le site du musée : <http://www.museedesconfluences.fr/fr/ressources/microscope-simple-de-leeuwenhoek-r%C3%A9plique>

Il est possible de faire réaliser aux élèves un « microscope » reproduisant le dispositif utilisé par Leeuwenhoek. Voir : <http://www.didier-pol.net/1MICROSC.html> ou, encore plus simple : <https://youtu.be/G7WuUttYOE8>

Activité guidée

1. Docs 3 et 6 : Hooke a observé de petits compartiments qu'il a appelé cellules, mais en réalité il s'agit de cellules mortes et c'est la paroi qui les entoure qu'il a observée et dessinée. Leeuwenhoek a représenté une structure fine qui délimite les cellules : c'est la membrane plasmique.

2. Docs 4, 7 et 8 : Les observations actuelles montrent aussi ces structures, mais l'on observe en outre des structures incluses dans les cellules (noyau, vacuole digestive).

3. Docs 4, 7 et 8 : les cellules de liège ont une taille de l'ordre de 40 µm. Le corps cellulaire des vorticelles mesure environ 25 µm de diamètre. Les spermatozoïdes ont une longueur de l'ordre de 70 µm.

4. Docs 1, 2 et 5 : À cette époque on utilisait déjà des lentilles comme loupes. Hooke a utilisé un microscope composé de deux lentilles, ce qui lui a permis d'obtenir un grossissement de 30 fois environ. Leeuwenhoek a développé une technique de fabrication de lentilles qui lui a permis d'obtenir des grossissements d'environ 200 fois (dans ce cas un spermatozoïde observé avec son microscope avait une longueur apparente de 14 mm : son dessin est plus grand que ce qu'il a observé). Les défauts optiques de ses lentilles nuisaient à la qualité des images obtenues et expliquent les limites des observations de Hooke, alors que la qualité supérieure des lentilles de Leeuwenhoek lui a permis des observations plus précises.

UNITÉ 2

2

Cette unité permet de comprendre comment la théorie cellulaire a été élaborée, et elle peut être confrontée aux critères d'une théorie scientifique : il s'agit de saisir la nature du savoir scientifique.

Les trois principes de la théorie cellulaire sont présentés dans le doc 1 et replacés dans leur contexte historique.

L'exploitation des données concernant l'expérience de Pasteur (docs 1 et 2) conduit à identifier et comprendre les étapes d'une démarche expérimentale.

Les six questions permettant d'examiner le caractère scientifique d'une théorie sont à repérer dans le doc 3, avant d'être appliquées à la théorie cellulaire.

Les docs 4 et 5 présentent des interrogations sur la véracité de la théorie cellulaire : contemporaines de l'élaboration de la théorie avec Thomas Huxley, ou actuelles avec la découverte d'organismes unicellulaires qui peuvent comporter un ou de nombreux noyaux. Les scientifiques continuent à s'interroger sur le niveau le plus pertinent pour décrire l'organisation et le fonctionnement des organismes vivants, notamment concernant les mécanismes de développement.

Trois niveaux d'explication et d'analyse du vivant sont envisagés :

- la cellule ;
- l'organe ou l'organisme ;
- le « corps cellulaire » : structure associant le noyau et les microtubules qui lui sont associés.

Pour plus d'informations, voir l'article « [Eukaryotic Cells and their Cell Bodies : Cell Theory Revised](#) » F. Baluska, D. Volkmann, P. W. Barlow *Ann Bot.* 2004 Jul; 94(1): 9-32.

Critères d'évaluation de la tâche complexe**DÉMARCHE**

Pertinence : le texte répond à la question posée.

Cohérence : pas de grosse erreur (enchaînement logique des idées et mise en relation correcte des informations).

CONTENU

Suffisance : chaque support proposé fait l'objet d'une exploitation et est mis en relation avec les trois principes de la théorie cellulaire.

Complétude : les trois principes de la théorie cellulaire sont énoncés et placés dans leur contexte historique, les critères d'une théorie scientifique sont interrogés et argumentés, les limites à la théorie cellulaires sont énoncées.

COMMUNICATION

Précision : dates, noms, argument précis...

Clarté : vocabulaire scientifique adapté, articulation des idées selon un fil conducteur logique.

Conformité : élocution fluide, détachée des notes, respectant le temps de parole fixé.

Indicateurs de réussite

| Niveaux de réussite | DÉMARCHE Présentation orale | CONTENU Éléments scientifiques tirés des documents et/ou des connaissances | COMMUNICATION Forme de la représentation |
|---------------------|--|---|---|
| 1 | Ne répond pas à la question posée | Absents | Non conforme |
| 2 | Démarche maladroite et partielle à la question posée | Incomplets soit / connaissances soit / extraction d'information des documents | 1 critère (parmi les trois: précision, clarté, conformité) |
| 3 | Démarche pertinente mais maladroite | | 2 critères (parmi les trois: précision, clarté, conformité) |
| 4 | Démarche à la fois pertinente et cohérente | Complets ou suffisants | 3 critères (précision, clarté, conformité) |

UNITÉ 3 et UNITÉ 4

Il s'agit dans ces deux unités de mettre en parallèle les progrès de la microscopie et l'échelle des structures observées dont l'élève est invité à déterminer la taille. Les différentes échelles d'observations conduisent à relier l'échelle de la cellule à celle de la molécule.

Les docs 1 à 4 de l'unité 3 montrent des observations réalisées avec les différentes techniques de microscopie optique : MO classique, MO à fluorescence et la récente nanoscopie.

Dans le cas de la MO à fluorescence (doc 2 unité 3), la technique décrite de détection des molécules est l'immunofluorescence directe, dans laquelle les anticorps marqués sont ceux qui détectent la substance que l'on cherche à repérer. Pour plus d'informations sur l'immunofluorescence indirecte, voir <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Mitose/42fluoverte.htm>

Sur ce cliché les chromosomes apparaissent bleus en raison du marquage par une substance fluorescente qui se fixe spécifiquement à l'ADN, le DAPI (Di Aminido Phenyl Indol), sans intervention d'anticorps. Voir : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Mitose/43fluobleue.htm>

Une recherche documentaire (internet) permet de trouver facilement la date de mise au point des techniques d'immunofluorescence. Sur les docs 3 et 4 de l'unité 3, les anneaux d'actine sont repérables en rouge (doc 3) ou en bleu (doc 4). L'échelle doit permettre à l'élève de comprendre que ce sont des assemblages moléculaires que l'on observe.

La comparaison entre microscopie optique et microscopie électronique (doc 1 unité 4) doit permettre de comprendre que la différence de résolution entre les deux techniques est liée à la différence de longueur d'onde entre rayonnement électronique et

spectre de la lumière visible. La photographie du dispositif montre d'une part la taille de l'appareil et d'autre part que l'on observe une image et non directement l'objet. Les tissus, cellules... étudiés en microscopie électronique sont nécessairement fixés, contrairement à la microscopie optique. Ces images sont parfois retravaillées en fausses couleurs : il s'agit d'un traitement numérique des données et non d'une « coloration » de l'échantillon avant observation.

L'image de cellules en MET (doc 2 unité 4) présente une cellule dendritique et des lymphocytes qui permettent une comparaison avec l'observation de ce type cellulaire en MO classique (doc 1 unité 3).

En présentant les mêmes structures observées en MET et MEB, le doc 3 est le support d'une comparaison entre les deux techniques et montre la complémentarité de leurs apports. La compréhension des structures observées met en jeu l'utilisation des échelles et la confrontation de l'orientation des structures observées sur une image comparée à l'autre. Les échelles et l'aspect des pores nucléaires suggèrent que ce sont des structures complexes constituées par l'assemblage d'un grand nombre de molécules. Pour aller plus loin, l'article suivant montre les apports de la microscopie électronique à la compréhension de la structure et du fonctionnement des pores nucléaires : <https://pdfs.semanticscholar.org/c42c/10d05e1ed9c51fb78db4f6be256571d15322.pdf>

Le tableau proposé dans « l'essentiel par l'image » récapitule les informations attendues pour répondre à la question posée pour ces deux unités.

Critères d'évaluation de la tâche complexe

| | |
|---------------|--|
| DÉMARCHE | Tableau de comparaison |
| | Pertinence: qui répond à la question posée Cohérence: pas de grosse erreur (particulièrement concernant la chronologie de mise au point des techniques et cohérence entre l'échelle des objets que chacune permet d'observer et les objets mentionnés) |
| CONTENU | Éléments scientifiques attendus tirés des documents du livre |
| | Suffisance: chaque technique est présentée dans le tableau Complétude: pour chaque technique, la date ou période de mise au point, le pouvoir de résolution et la nature des objets observables sont indiqués |
| COMMUNICATION | Forme de la représentation |
| | Précision: dates aussi précises que possible, pouvoir de résolution quantifié avec une unité correcte Clarté: vocabulaire scientifique adapté, organisation logique des données permettant une comparaison Conformité: présentation sous forme de tableau |

Indicateurs de réussite

| Niveaux de réussite | DÉMARCHE Présentation sous forme de tableau | CONTENU Éléments scientifiques tirés des documents et/ou recherches effectuées | COMMUNICATION Forme de la représentation |
|---------------------|---|---|---|
| 1 | Ne répond pas à la question posée | Absents | Non conforme |
| 2 | Réponse pertinente mais des erreurs chronologiques et des incohérences entre résolution et objets observables | Incomplets | 1 critère (parmi les trois: précision, clarté, conformité) |
| 3 | Réponse pertinente mais des erreurs chronologiques ou des incohérences entre résolution et objets observables | | 2 critères (parmi les trois: précision, clarté, conformité) |
| 4 | Réponse pertinente et cohérente | Complets | 3 critères (précision, clarté, conformité) |

UNITÉ 5

L'étude de la membrane plasmique est l'occasion de comprendre les étapes de la construction d'un savoir scientifique en replaçant dans le temps les différentes étapes ayant conduit au modèle actuellement retenu. L'accent est mis sur le lien entre la structure et les propriétés des molécules qui la constituent, qui expliquent la structure, les propriétés et les fonctions de la membrane plasmique.

Activité guidée

1. Doc 1 : la membrane plasmique qui délimite les cellules contient des lipides et des protéines.

Doc 2 : les lipides membranaires se répartissent à la surface de l'eau, ils ne se dissolvent pas dans l'eau : ils sont hydrophobes ; la surface occupée est double de celle des membranes des cellules : cela conduit à l'hypothèse d'une répartition en double couche dans les membranes.

Doc 3 : les molécules lipidiques de la membrane plasmique présentent une région hydrophile et une région lipophile, donc hydrophobe (on dit qu'ils sont amphiphiles, c'est une propriété partagée par tous les lipides membranaires – mais pas par tous les lipides). La queue hydrophobe « fuit » l'eau et explique que les lipides soient insolubles dans l'eau, et qu'ils se répartissent à sa surface avec seulement la région hydrophile au contact de l'eau. On observe que la région hydrophobe est seulement constituée d'atomes de carbone et d'hydrogène, alors que la région hydrophile comprend, en plus des atomes de carbone et de l'hydrogène, un ou plusieurs atomes d'oxygène et un atome de phosphore et d'azote pour les phospholipides. Cette différence de composition explique la différence de comportement au contact de l'eau (c'est le caractère polaire ou apolaire des fonctions chimiques d'une molécule qui détermine si celle-ci est capable d'établir des liaisons faibles avec des molécules d'eau ou pas ; or la polarité d'une fonction chimique dépend de l'électronégativité des atomes qui la constituent).

Doc 4 : La structure observée est clairement délimitée, et présente une taille du même ordre de grandeur qu'une cellule (pas trop grande) : il s'agit d'une vésicule. On peut en déduire que dans un milieu aqueux agité, les lipides membranaires s'assemblent et délimitent de petites vésicules. Leur caractère insoluble dans l'eau les empêche de se disperser dans l'eau. En conséquence ils se regroupent et forment spontanément des membranes en milieu aqueux. Leur stabilité suggère une cohésion entre les molécules qui permet le maintien de l'architecture de la membrane.

2. Schéma d'une bicouche lipidique. À ce stade de l'activité, le modèle ne prend pas en compte les protéines membranaires.

Attendus du schéma : (voir l'organisation des lipides de la membrane dans le schéma du bas de « l'essentiel par l'image », p.59).

- les deux types de lipides membranaires présentés dans le **doc 3** sont représentés ;

- les lipides sont organisés sous forme de double couche ;

- les parties hydrophiles et hydrophobes sont bien identifiées (couleurs différentes) et bien orientées dans la double couche ;

- une échelle est indiquée (autour de 6-7 nm : une recherche documentaire permet aisément à l'élève de trouver l'épaisseur d'une membrane lipidique. On peut aussi fournir cette valeur) ;

- le schéma est bien légendé et possède un titre ; les légendes sont bien orthographiées.

3. Doc 5 : Les liposomes présentent une surface lisse, la membrane plasmique présente une surface granuleuse. Or la membrane des liposomes est uniquement constituée de lipides, alors que celle de la membrane plasmique contient des lipides et des protéines. On peut en déduire que les protéines correspondent aux granulations réparties dans la membrane. Elles sont enchâssées parmi les lipides membranaires. La membrane plasmique est donc constituée par une juxtaposition de lipides et de protéines.

4. Doc 6 : La disparition de la tâche d'extinction au bout de 5 minutes indique qu'il y a de nouveau des molécules fluorescentes dans cette zone. On peut en déduire que des constituants membranaires marqués se sont déplacés latéralement dans la membrane : ses constituants sont donc mobiles les uns par rapport aux autres, c'est pourquoi on parle de fluidité. Le terme de mosaïque rend compte de la juxtaposition des différents constituants.

Si cette fluidité n'empêche pas le maintien de la structure membranaire, c'est qu'il existe des forces de cohésion entre les constituants, assez fortes pour les maintenir ensemble, mais suffisamment souples pour permettre des changements de position au sein de la membrane (les phospholipides membranaires forment un cristal liquide).

5. Il faut ajouter au schéma précédent les protéines enchâssées au sein des lipides. Voir le schéma proposé dans « l'essentiel par l'image » (sur ce dernier figurent en outre les résidus glucidiques portés par de nombreux lipides et protéines membranaires. Localisés sur la face extracellulaire de la membrane plasmique, ces résidus constituent le glycocalix dont les rôles sont multiples).

Contenu attendu du schéma :

- des phospholipides et des molécules de cholestérol sont représentés, avec un rapport d'échelle cohérent ;
- les lipides sont associés en une double couche et correctement orientés au sein de chaque couche ;
- des protéines sont représentées enchâssées dans chaque feuillet lipidique ;
- les régions hydrophobes et lipophiles des constituants membranaires sont distinguées (couleurs différentes par exemple) ;
- le schéma est orienté et la localisation du milieu extracellulaire et du cytoplasme est indiquée ;
- soit des molécules d'eau sont représentées, soit il est fait mention que les deux milieux intra- et extracellulaires sont aqueux ;
- la représentation suggère que les constituants sont mobiles et que la membrane est fluide ;
- une échelle est indiquée ;
- le schéma contient des légendes et un titre.

Tester ses savoirs

1 Vrai/faux

- Faux, la taille des cellules animales est en général inférieure à 100 μm .
- Faux, le microscope optique permet, au mieux, de distinguer deux structures distantes de 200 nm.
- Vrai.
- Vrai.

2 QCM

- Faux, les premières observations de cellules remontent au XVII^e siècle, avec la mise au point des premiers microscopes.
 - Faux, il faut attendre le XIX^e siècle pour que l'idée que la cellule est l'unité du monde vivant apparaisse.
 - Vrai.
 - Faux, il faut attendre le XIX^e siècle et les travaux de Pasteur pour que la théorie de la génération spontanée soit réfutée.
- Faux, l'épaisseur moyenne de la membrane plasmique est de 6 nm.
 - Faux, les protéines sont intégrées à la double-couche lipidique, formant une mosaïque lipo-protéique.
 - Faux, la membrane plasmique est constituée d'un assemblage de lipides et de protéines.
 - Vrai.
- Vrai.
 - Faux, au XIX^e siècle par exemple, plusieurs scientifiques défendaient la théorie de la génération spontanée, invalidée ensuite par les travaux de Pasteur.
 - Faux, le troisième principe de la théorie cellulaire stipule au contraire que toute cellule naît d'une cellule.
 - Faux, cet aphorisme ne résume que le troisième principe de la théorie cellulaire, mais pas les deux premiers.
- Faux, les lipides et protéines de la membrane s'organisent en bicouche grâce aux interactions entre les parties lipophiles au cœur de la bicouche, et grâce aux interactions entre les parties

hydrophiles (en surface de la bicouche) et les molécules d'eau du milieu environnant.

b. Faux, le cytoplasme contient majoritairement des molécules hydrophiles (donc lipophobes) et des molécules d'eau.

c. Vrai.

d. Faux, le cœur de la bicouche lipidique étant lipophile (donc hydrophobe), il n'y a pas de molécules d'eau dans la membrane plasmique.

5. a. Faux, avec un grossissement de 70 000, on calcule approximativement qu'un cm sur la photo représente environ 140 nm dans la réalité ($\frac{1 \times 10^{-2}}{70\,000} = 140 \times 10^{-9} \text{ m} = 140 \text{ nm}$). On observe donc une structure d'un ordre de grandeur de 100 nm, c'est-à-dire 100 fois plus petite qu'une cellule de 10 μm . Il ne peut donc pas s'agir de cellules, mais de molécules.

b. Faux, même raisonnement que pour la réponse a. Il ne peut pas s'agir d'une cellule entière qui serait au moins 100 fois plus grosse que ce qui est observé. Nous sommes dans l'ordre de grandeur des molécules.

c. Vrai.

d. Faux, on ne peut pas observer les atomes au microscope électronique à transmission (il faudrait un grossissement au moins 1 000 fois plus important car un atome est 1 000 fois plus petit qu'une molécule de 100 nm).

3 Question de synthèse

L'attention est portée sur la mise en relation structure / propriétés / conséquences sur la structure de la membrane plasmique.

Attendus du schéma : (voir l'organisation des lipides de la membrane dans le schéma du bas de « l'essentiel par l'image », p.59).

- les phospholipides et le cholestérol sont représentés avec un rapport d'échelle cohérent ;
- les lipides sont organisés sous forme de double couche ;
- les parties hydrophiles et hydrophobes sont bien identifiées (couleurs différentes) et bien orientées dans la double couche ;
- le schéma est orienté et la localisation du milieu extracellulaire et du cytoplasme est indiquée ;
- soit des molécules d'eau sont représentées, soit il est fait mention que les deux milieux intra- et extracellulaires sont aqueux ;
- le schéma fait le lien entre l'organisation des molécules (parties hydrophiles orientées vers les milieux aqueux), leurs propriétés et la constitution de la membrane (cohésion de l'ensemble mais les constituants sont mobiles et la membrane est fluide) ;
- une échelle est indiquée ;
- le schéma est bien légendé et possède un titre ; les légendes sont bien orthographiées.

4 Comparer des données et raisonner

1. En l'absence d'insuline, les taches fluorescentes sont localisées à l'intérieur de la cellule. Or ces taches correspondent à la GFP, protéine fluorescente qui est ici fusionnée avec la protéine GLUT. La protéine GLUT est donc localisée dans le cytoplasme. En présence d'insuline, la membrane plasmique apparaît fluorescente. La protéine GLUT est donc localisée dans la membrane plasmique.

2. On peut faire l'hypothèse que l'insuline entraîne un changement de la localisation de la protéine GLUT, et son insertion dans la membrane plasmique des cellules.

Or la protéine GLUT est un transporteur membranaire du glucose, et l'on sait que l'insuline est une hormone qui favorise l'absorption du glucose sanguin par les cellules qui y sont sensibles.

On peut donc conclure que les effets de l'insuline s'expliquent par le changement de localisation des protéines GLUT, qui, lorsqu'elles sont plus nombreuses dans la membrane plasmique, permettent à la cellule d'importer davantage de glucose.

3. La GFP est une molécule facile à détecter en raison de sa fluorescence. Fusionnée avec une autre protéine, elle permet de savoir si une protéine est présente ou pas dans une cellule et de la localiser précisément. C'est donc un outil précieux pour comprendre la fonction des protéines cellulaires, et suivre leur activité.

5 Analyser des données

La fixation d'un marqueur fluorescent permet de suivre spécifiquement la localisation d'une molécule membranaire au cours du temps, donc son déplacement. Le schéma présente une reconstitution d'une observation de la surface membranaire alors qu'un seul phospholipide membranaire a été marqué.

On observe que le phospholipide marqué se déplace au cours du temps : on identifie 5 régions dans lesquelles il se localise successivement, pendant une durée de 4 à 25 ms. Dans chaque région, il présente une trajectoire complexe qui suggère que son déplacement est lié à une agitation moléculaire et qu'il n'est pas guidé.

La durée du séjour dans chaque région est variable, elle semble donc aléatoire.

Cette durée est brève, et si on ajoute tous les temps de séjour, on obtient une durée de l'ordre de 62 ms pour une distance de 0,7 µm environ entre la localisation initiale et la localisation finale. Il faudrait donc environ $\frac{30 \times 62}{0,7} = 2,7$ s à cette molécule pour parcourir la longueur d'une cellule de 30 µm. La vitesse de déplacement des constituants membranaires est élevée.

La propriété mise ici en évidence est la fluidité membranaire. On peut ajouter que celle-ci repose sur l'agitation moléculaire et sur la nature des liaisons qui assurent la cohésion entre les constituants membranaires (liaisons faibles facilement rompues et remises en place).

6 Mettre en relation des documents, calculer et raisonner

1. L'organe ici étudié est le pancréas. Les cellules sont des cellules acineuses. Diverses molécules peuvent être citées : enzymes, protéines en général, acides aminés.

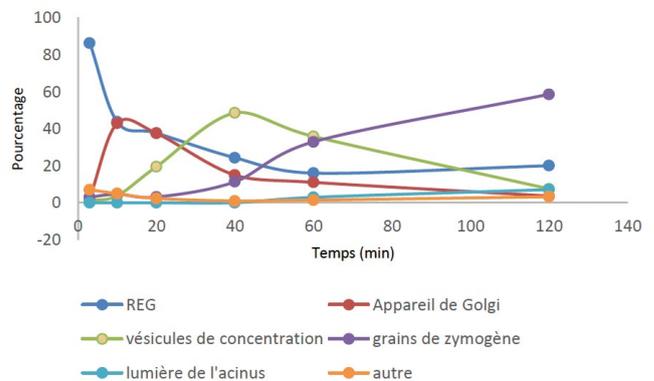
2. Les vésicules de concentration présentées ici un diamètre d'environ 1 à 2,5 µm.

3. Palade utilise le microscope électronique à transmission pour

observer les autoradiographies qu'il a obtenues. Or ce microscope a été mis au point dans les années 1950.

4. Les données du doc 3 peuvent être utilisées pour construire un graphique, éventuellement en utilisant un tableur.

Pourcentage de grains noirs dans différents compartiments en fonction du temps



Les grains noirs reflètent la localisation de la radioactivité, donc celle des enzymes qui incorporent les acides aminés marqués lors de leur synthèse.

La radioactivité est d'abord maximale dans le REG, où elle diminue au cours du temps. Vers 15 s elle est maximale dans l'appareil de Golgi puis diminue. Au bout de 40 s elle est maximale dans les vésicules de concentration. Elle augmente de façon plus marquée dans les grains de zymogène à partir de 40 s. Enfin elle augmente faiblement dans la lumière de l'acinus à partir de 40 s. On peut donc en déduire que les enzymes fabriquées sont successivement localisées dans le REG, l'appareil de Golgi, les vésicules de concentration puis les grains de zymogène. Elles seront ensuite localisées dans la lumière de l'acinus lorsqu'elles sont sécrétées vers l'intestin (la lumière de l'acinus est en continuité avec le canal pancréatique qui débouche dans le duodénum).

ÇA VOUS CONCERNE

- Titan Krios

Titan Krios est un cryo-microscope électronique de pointe qui permet la reconstitution d'images 3D de l'échantillon.

Principe de la cryo-microscopie électronique de Titan Krios : un échantillon très fin est traversé par des faisceaux d'électrons qui permettent d'obtenir des informations structurales. L'échantillon biologique est maintenu intact grâce à une congélation à très basse température qui empêche la formation de cristaux (vitrification à -180 °C). Un ordinateur compile les images 2D obtenues par les caméras du microscope et permet une reconstruction en 3D de la structure de l'échantillon.

Voir la description complète avec les avantages de ce microscope sur le site de l'institut Pasteur : <https://www.pasteur.fr/fr/journal-recherche/actualites/titan-krios-tm-inauguration-du-plus-puissant-microscope-du-monde-institut-pasteur>

- La découverte de nouvelles cellules

Voir l'article de Sciences et Avenir : https://www.sciencesetavenir.fr/sante/decouverte-d-un-nouveau-type-de-cellules-pulmonaires-implique-dans-la-mucoviscidose_126455

Ces cellules ont été identifiées grâce à la quantité et à l'activité plus importante des protéines CFTR qui gèrent le flux d'ions chlorure entre les milieux intra- et extracellulaires.

Une discussion peut aussi être abordée quant aux conséquences d'une telle découverte (espoirs de développement de nouvelles thérapies contre la mucoviscidose).