

Séquence de classe

Maladies infectieuses et microorganismes

Projet Pasteur -
Germes & vaccins
Cycle 4

Résumé et objectifs

Cette séquence aborde le rôle des microorganismes dans la transmission et le déclenchement des maladies infectieuses. Démontrer expérimentalement la responsabilité d'agents microscopiques dans ces maladies a été un véritable défi scientifique au XIX^e siècle. Il fallait en effet passer du constat de corrélation à la preuve d'un lien de cause à effet. Ceci n'a finalement été rendu possible que par la mise en œuvre de protocoles expérimentaux rigoureux. Toute cette connaissance a ensuite été mise à profit pour découvrir les agents responsables d'une grande diversité de maladies, et entrevoir des moyens de lutte contre eux.

Disciplines engagées

SVT, chimie, mathématiques, histoire

La théorie des germes énoncée en 1878 par Louis Pasteur (1822-1895) statuera le rôle clé des agents biologiques microscopiques dans la transmission des maladies infectieuses. Le chimiste français livrera un duel intense, mais fécond avec le médecin allemand Robert Koch (1843-1910), duel qui aboutira à l'identification et à la caractérisation de nombreux microbes pathogènes. Si aujourd'hui, la théorie des germes est connue de tous, nos comportements montrent qu'il ne nous est pas toujours facile de tenir compte de ces organismes invisibles à l'œil nu, qui existent autour de nous et en nous. Par exemple, le fait de peu se laver les mains en sortant des toilettes (les Français occupent une mauvaise place dans le classement par pays des personnes adoptant ce bon comportement) témoigne de la facilité que nous avons à négliger l'existence des microbes.

L'enseignant peut débuter la séquence par une discussion avec le groupe classe sur la question du lavage des mains. Pourquoi doit-on se laver les mains avant de passer à table ? Le fait-on régulièrement ? Le fait-on davantage depuis la pandémie de Covid-19, qui a mis un coup de projecteur médiatique sur ce monde invisible ? Après avoir récolté les préconceptions et idées des élèves, l'enseignant peut poursuivre avec l'une des deux premières activités.

Activité 1 : L'observation d'un bacille

Résumé

Disciplines	SVT
Déroulé et modalités	Les élèves réalisent des observations microscopiques de bactéries lactiques. Ils en reconnaissent la structure cellulaire et appréhendent leur taille.
Durée	1 heure
Matériel	• Protocole à imprimer (Annexe 1) • Matériel par groupes : microscope (avec un grossissement x400), lames et lamelles, yaourt ou ferments lactiques, pipette, bleu de méthyle, éthanol

Message à emporter

Dans notre environnement (eau, terre, aliments), mais aussi sur et dans notre corps (peau, nez, bouche, gorge, intestins...), on trouve des bactéries. Les bactéries partagent des caractéristiques communes avec tous les autres êtres vivants : elles se nourrissent, se reproduisent et sont formées d'une cellule (entourée d'une membrane et renfermant du matériel génétique). Ce sont donc des êtres vivants constitués d'une unique cellule. Il existe en réalité de très nombreux êtres vivants invisibles à nos yeux (d'une taille de l'ordre du micromètre ou moins).

Phase 1 : Une plongée dans l'histoire

L'œil humain est un instrument d'observation formidable. Mais il ne peut pas distinguer des objets qui ont une taille inférieure à environ 0,1 millimètre. Le monde des microbes a été révélé au XVII^e siècle grâce aux progrès techniques réalisés dans le domaine des instruments d'optique.



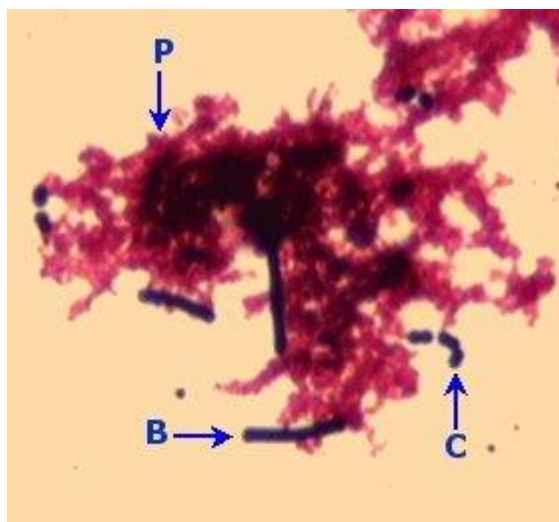
Le savant néerlandais **Antoni van Leeuwenhoek** (1632-1723), également fabricant de draps, a considérablement amélioré les techniques de fabrication des lentilles de microscope. Cela lui a permis de mieux contrôler la qualité de ses draps, mais également de fonder à cette occasion la microscopie scientifique : il est ainsi le premier à avoir pu observer des bactéries et d'autres êtres vivants de très petite taille, présents dans notre environnement.

Phase 2 : L'observation d'un bacille

L'enseignant propose aux élèves de se mettre dans la peau de van Leeuwenhoek. Leur défi est d'observer au microscope des bactéries (à partir d'un échantillon de ferments lactiques ou, à défaut, de yaourt). Le défi est de taille car les bactéries sont très petites. Les élèves vont donc devoir se surpasser et travailler très minutieusement pour le relever ! Cette activité ne convient pas à un public qui découvre le microscope, car nous travaillerons au plus fort grossissement (l'enseignant montrera alors des photographies).

L'enseignant présente aux élèves le matériel disponible, puis il distribue le protocole donné dans l'Annexe 1. Ci-contre une photo de ce que les élèves peuvent espérer observer à partir de l'échantillon de yaourt. Un dessin peut leur être demandé (en portant leur attention uniquement sur les bactéries).

Dans cette image, P désigne l'ensemble des protéines du yaourt visibles (qui ne se retrouvent pas dans l'observation des ferments lactiques). Il y a ensuite deux genres de bactéries présents, désignés par les lettres B et C : le genre *Bacillus*, de forme allongée (bâtonnet), et le genre *Coccus*, de forme sphérique.



**Titre : Observation microscopique de yaourt
(x1 000)**

Source : pedagogie.ac-aix-marseille.fr

Date d'édition : 22 mars 2017

Précision : Préparation réalisée par Sabine Sissan

Éléments de correction

Pour l'enseignant, c'est l'occasion d'introduire ou de rappeler différents concepts biologiques fondamentaux. Il existe un ensemble d'êtres vivants de taille microscopique que nous nommons bactéries (nous généraliserons le concept de micro-organismes dans l'Activité 5). Nous pouvons déterminer que ce sont des êtres vivants car elles possèdent des caractéristiques utilisées pour définir le monde vivant, et que l'on retrouve, par exemple, chez les animaux et les végétaux : elles se nourrissent, se reproduisent, meurent. Les bactéries partagent aussi des caractéristiques structurales communes avec l'ensemble du vivant : elles sont constituées d'une cellule entourée d'une membrane et renfermant un cytoplasme et un matériel génétique.

Note : Le terme « bactérie » ne renvoie pas à un groupe monophylétique, mais cela n'empêche pas son utilisation, éventuellement en rajoutant les précisions que l'enseignant juge nécessaires.

Activité 2 : Les microbes responsables ?

Résumé

Disciplines	SVT, histoire
Déroulé et modalités	L'activité présente différents chercheurs avançant des thèses contradictoires sur l'origine des maladies infectieuses. C'est un processus normal dans la construction d'une théorie scientifique. Le visionnage d'un film est possible pour illustrer la naissance de la rivalité entre Pasteur et Koch, dans ce contexte d'incertitude scientifique et sur fond de conflit franco-germanique.
Durée	1 heure (il est possible de prévoir un temps de travail à la maison)
Matériel	• Cartes <i>Débats</i> à imprimer (Annexe 2) • Optionnel : Film <i>Pasteur et Koch : un duel de géants dans le monde des microbes</i> et questionnaire (Annexe 3)

Message à emporter

Quand une question scientifique émerge, il est fréquent que plusieurs hypothèses soient proposées. Il ne faut pas en conclure que les scientifiques ne sont jamais d'accord entre eux ! Il est normal de formuler plusieurs explications possibles à un phénomène nouvellement observé, puis d'attendre que les preuves s'accumulent en faveur de l'une d'entre elles : ce sera alors une connaissance fiable.

Phase 1 : Une plongée dans l'histoire

L'enseignant présente à la classe le contexte historique de la situation. Il pourra s'inspirer du texte suivant :

La maladie du charbon touche les animaux d'élevage, principalement les moutons et les vaches. Elle doit son nom à la couleur noire du sang dans lequel on retrouve les animaux morts. Lorsqu'ils tombent malades, les animaux sont anormalement excités puis, rapidement, ils sont déprimés, leur abdomen gonfle, du sang coule de leur corps et ils meurent brutalement. À l'époque, les éleveurs ne connaissaient pas la cause de la propagation de cette redoutable maladie et, impuissants, ne pouvaient qu'en constater les dégâts sur leurs troupeaux.

L'enseignant propose aux élèves de découvrir ce que les scientifiques pensaient de l'origine de cette maladie (et des maladies infectieuses plus généralement) au milieu du XIX^e siècle. C'est l'occasion (comme dans la Séquence 1) de montrer la manière dont la science se produit : face à une question, différentes explications possibles (hypothèses) coexistent pendant un certain temps avant que les faits ne permettent d'établir avec solidité que l'une d'entre elles est valable et digne de confiance.

L'enseignant distribue les six cartes *Débats* de l'Annexe 2 et demande aux élèves de les regrouper en différents « clans ». Chaque clan supporte une hypothèse que les élèves doivent déterminer. L'enseignant demande aux élèves de rédiger l'hypothèse de chaque clan ou de la représenter de manière schématique (sous la forme : A → B pour dire que : « A est la cause de B »).

Note : Les personnages ont bien existé et leur prise de position a été reflétée de la manière la plus fidèle possible, mais les citations ont été simplifiées et remaniées pour être davantage accessibles aux élèves.

Pour mener à bien l'activité, nous vous suggérons le format suivant : les élèves sont répartis par groupes de six et reçoivent chacun une carte. Individuellement, chaque élève prend le temps de lire et de comprendre la carte qu'il a reçue. Dans un second temps, tous les élèves de la classe possédant la même carte se regroupent. Ils échangent entre eux et se mettent d'accord sur l'idée exposée. Ils peuvent utiliser le matériel *Coup de pouce* de l'Annexe 2 pour représenter la pensée du chercheur. L'enseignant passe dans les rangs pour s'assurer de la justesse du schéma causal. Puis il réalise une correction en groupe classe.

Éléments de correction

Le consensus qui émerge au milieu du XIX^e siècle est le suivant : on trouve dans le sang d'animaux morts des petits éléments visibles au microscope. La question est de savoir s'ils sont responsables de la maladie (et donc de la mort des animaux) ou s'ils apparaissent après la mort. Pour l'enseignant, c'est l'occasion de revenir sur les notions de cause et de conséquence, fondamentales en science. Deux hypothèses s'affrontent : ceux qui pensent, comme Davaine, Lister et Pasteur, que les microbes sont la cause de la maladie et ceux qui pensent, comme Delafond ou Virchow, que les microbes en sont la conséquence. Pollender avait une position neutre puisque c'est lui qui a soulevé les différentes hypothèses, tout en refusant de se prononcer en l'absence de preuves supplémentaires.



Travailler l'esprit critique et les méthodes de la science

Corrélation n'est pas causalité. Voici la manière dont on peut résumer le conseil de prudence à donner aux élèves. Quand deux phénomènes surviennent en même temps, il est tentant d'imaginer qu'il y a un lien entre eux, que l'un est la cause de l'autre. La corrélation est un très bon indice de causalité. Appuyer sur l'interrupteur est corrélé à l'allumage d'une lampe... et c'est bien la cause de l'allumage de la lampe. Les bactéries ont un rôle causal dans les maladies infectieuses, mais il a fallu recourir à des méthodes scientifiques élaborées pour s'en convaincre.

Pour un éclairage sur ce point : <https://cqfd-lamap.org/esprit-critique/competences/cause-et-correlation/>

Phase 2 : Robert Koch entre en scène

L'enseignant présente à la classe le contexte historique de la situation. Il pourra s'inspirer du texte suivant :



Robert Koch (1843-1910) a 30 ans lorsqu'il commence ses recherches sur la maladie du charbon. Il est alors médecin de campagne. Contrairement à Pasteur, c'est un inconnu dans le milieu scientifique. Pendant la journée, il s'occupe de ses nombreux malades. Mais il consacre tout son temps libre à étudier les microbes et leur lien possible avec des maladies comme le charbon. En 1876, il réussit à cultiver le bacille du charbon et il a l'idée de l'inoculer à un lapin sain. Ce lapin tombe malade. Koch publie ses résultats, qui arrivent aux oreilles d'un certain Louis Pasteur...

L'enseignant peut réaliser cette phase avec le visionnage d'un extrait du film *Pasteur et Koch : un duel de géants dans le monde des microbes*. L'introduction du film (jusqu'à la minute 18) présente les deux protagonistes de l'affaire : Louis Pasteur et Robert Koch. Pasteur est déjà convaincu du rôle des microbes dans les maladies infectieuses, mais c'est Koch qui marque le premier point dans la preuve de la relation de cause à effet avec son expérience sur les lapins. Le film raconte la naissance de la rivalité scientifique entre les deux hommes et le fond de tension entre leurs deux nations dans lequel elle s'inscrit.

Les enseignants d'histoire et de SVT peuvent utiliser le questionnaire proposé dans l'**Annexe 3**. L'objectif est justement d'attirer l'attention des élèves sur cette thématique du conflit.

Éléments de correction

Questions	Réponses
Quelle est la nationalité des deux protagonistes de cette histoire ?	Louis Pasteur est français. Robert Koch est allemand.
Quelle expérience a été réalisée par Robert Koch et quelle a été sa conclusion ?	Koch est le premier à être parvenu à cultiver le bacille du charbon. Il l'a inoculé à un lapin sain et constate que celui-ci développe la maladie. C'est pour Koch la preuve que les bactéries observées au microscope sont responsables de la maladie du charbon.
Quels sont les reproches que fait Louis Pasteur à Robert Koch ?	Louis Pasteur reproche à Koch de ne pas avoir été assez rigoureux dans sa démonstration. Peut-être est-il blessé qu'un médecin inconnu, allemand de surcroît, apporte la preuve en faveur d'une hypothèse qu'il avait lui-même formulée.
Quelle influence a eu Robert Koch sur Louis Pasteur ?	Cette expérience joue un rôle positif pour Pasteur puisqu'elle l'incite à se consacrer à l'étude des maladies infectieuses chez les animaux, puis chez les humains.
Quelles sont les deux forces qui s'affrontent lors de la guerre de 1870 ?	Il s'agit de l'empire français de Napoléon III et du royaume de Prusse, représenté par le chancelier Otto von Bismarck.
Qui a déclaré le conflit ?	C'est la France qui a déclaré la guerre à la Prusse.

Activité 3 : L'expérience de la discorde

Résumé

Disciplines	Chimie
Déroulé et modalités	Les élèves réalisent une modélisation de l'expérience de dilutions successives réalisée par Pasteur pour démontrer le rôle des bactéries dans le déclenchement des maladies infectieuses.
Durée	1 à 2 heures (si on fait construire l'argumentaire)
Matériel	• Petits cubes de couleur (ou substituts) et deux récipients • Carte <i>Protocole de Pasteur</i> (Annexe 4) • Cartes <i>Éléments du sang</i> (Annexe 5) • Carte <i>Verdict</i> (Annexe 6) [Optionnel] • Grilles de suivi de l'expérience (Annexe 7) [Optionnel] • Verres ou autres récipients • Cubes de couleur ou perles à repasser

Message à emporter

Si les scientifiques ont longtemps constaté la présence de micro-organismes chez des individus malades, il a fallu des expériences sophistiquées pour apporter la preuve de leur rôle comme agents pathogènes. Grâce à un faisceau d'indices, Pasteur a établi la théorie des germes : une maladie infectieuse est causée par un agent pathogène particulier. Déterminer l'agent pathogène responsable d'une maladie ouvre une voie pour la recherche de son traitement.

Attribuer aux bactéries la responsabilité des maladies infectieuses repose sur la capacité des chercheurs à les cultiver de manière isolée. C'est ce que Robert Koch déclare être parvenu à faire. Mais Pasteur exprime des doutes sur l'expérience de l'Allemand. Il réagit en proposant une expérience qu'il juge plus solide : c'est l'expérience des dilutions successives.

Au début du film *Pasteur et Koch : un duel de géants dans le monde des microbes*, le terme « dilution » est mentionné à deux reprises : une première fois par Pasteur, lorsqu'il évoque l'article de Koch (14'35) ; puis une seconde fois (18'), moment où l'expérience est introduite. L'enseignant peut arrêter le visionnage après ce moment-là (par exemple à 19'15).

L'enseignant propose ensuite aux élèves de réaliser une modélisation de l'expérience des dilutions successives. Le raisonnement tenu par Pasteur n'est pas facile à comprendre. Il faudra guider les élèves pour qu'ils puissent se l'approprier. C'est l'occasion pour l'enseignant de revenir sur la notion de prédiction (ou de résultats attendus) : l'hypothèse mène à une prédiction qui sera observée si et seulement si l'hypothèse est vraie. C'est une manière de prouver la véracité de l'hypothèse (ou du moins d'apporter un argument en sa faveur). À la fin de la modélisation, les élèves doivent se mettre

dans la peau de Pasteur et rédiger un argumentaire à destination de Koch, dans lequel ils exposent leur démarche, tout en louant sa grande rigueur.

Phase 1 : Modéliser l'état initial de l'expérience

L'enseignant distribue le texte de l'**Annexe 4**. Il s'agit d'un faux texte historique très librement inspiré du livre d'Émile Duclaux : *Pasteur, histoire d'un esprit*. Le texte présente le point de départ de l'expérience : on prélève une goutte de sang d'un animal malade que l'on dilue dans un volume de liquide de culture, c'est-à-dire de l'eau avec des éléments favorables au développement de bactéries (Pasteur utilise en réalité de l'urine car il la juge stérile).

Les élèves reçoivent la consigne de réaliser une modélisation de la situation initiale (début de l'expérience) dans deux conditions :

- du sang de lapin sain ;
- du sang de lapin malade.

Le sang est constitué de différents éléments (globules rouges, globules blancs et différentes granulations inconnues). Le sang du lapin malade contient en plus des bactéries. Différentes cartes (**Annexe 5**) donnent aux élèves des indications sur la quantité de chaque élément que contient le volume de sang initial, ainsi que la quantité d'éléments représentée par chaque cube. Les élèves doivent reconstituer le contenu du tube à essai initial. Ils utilisent des cubes (ou des perles à repasser de couleur ou encore des petites pâtes comme des coquillettes, peintes en différentes couleurs) pour représenter les différents éléments du sang.

Éléments de correction

Voici le nombre de cubes attendus pour constituer chaque tube :

Éléments	Quantité dans le volume initial	Nombre de cubes correspondants	Commentaires
Globules rouges	20 millions	20	Ce sont les éléments très majoritaires.
Globules blancs	20 000	2	Il peut être étonnant de les retrouver dans la liste des « suspects », mais leur rôle n'était alors pas connu (cf. Séquence 4).
Autres éléments	20 000	2	Ils correspondent à tous les autres éléments présents qui pourraient être les réels vecteurs de la maladie.
Bactéries	4	4	À n'ajouter que dans l'expérience avec le sang du lapin malade. On exagère volontairement leur nombre pour ne pas les « perdre » lors des dilutions.
Eau	En excès, mais non représentée	0	C'est le solvant, il est en excès. On choisit de ne représenter que l'eau qu'on ajoute pour rendre plus visible la dilution.

Phase 2 : Modéliser la suite de l'expérience et conclure

Les élèves reprennent la lecture du document de l'[Annexe 4](#) et réalisent les dilutions successives. Pour simuler la dilution, l'enseignant mettra à la disposition des élèves deux récipients (par exemple deux flacons ou deux couvercles d'une boîte de Petri). Le premier récipient est celui qui contient les cubes ; le second sert à faire la dilution.

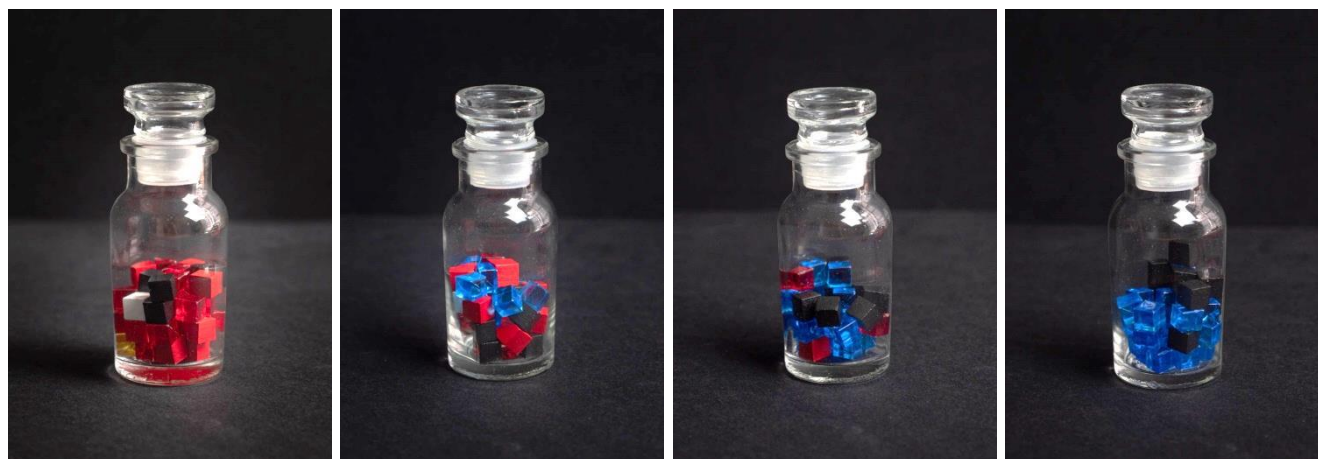
À chaque dilution, les élèves doivent prélever une quantité donnée de cubes dans le récipient 1 (12 pour le sang sain et 14 pour le sang contaminé) et ajouter toujours la même quantité de cubes représentant l'eau dans le récipient 2 (12 pour le sang sain et 14 pour le sang contaminé).

Note : Des enseignants qui souhaiteraient réaliser une simulation plus fidèle de la dilution opteront pour la variante suivante (plus complexe) : on prélève la moitié des cubes du récipient 1 (par exemple, si on a 24 cubes dans le récipient, on en mettra 12. En cas de nombre impair, arrondir à la moitié supérieure). On place ensuite, dans le second récipient, un nombre de cubes symbolisant l'eau égal à celui retiré dans le premier récipient. On ajoute enfin les cubes retirés du premier récipient pour terminer la dilution. Le récipient 2 ainsi obtenu deviendra le récipient 1 pour la prochaine dilution.

Dans le sang contaminé se trouvent des bactéries. Or, chaque nuit, les bactéries se multiplient. Pour représenter ce fait, on quadruple le nombre de cubes noirs après la dilution. On fixe une limite de huit bactéries dans le milieu.

Note : Il se peut que dans certains groupes, le nombre de bactéries tombe à zéro et que l'expérience mène à une conclusion erronée (l'hypothèse de Pasteur est fausse). C'est l'occasion pour l'enseignant d'expliquer aux élèves pourquoi il est fondamental de multiplier les expériences pour parvenir à une conclusion fiable.

Pour guider les élèves dans leur réflexion, il est possible de leur distribuer la carte *Aide-mémoire* de l'[Annexe 4](#). L'enseignant pourra fixer à dix le nombre de dilutions successives, comme cela est présenté dans le film, mais le résultat final sera généralement atteint plus rapidement. Observez ci-dessous quatre photos successives montrant la diminution de la proportion de globules rouges et blancs, et l'augmentation du nombre de bactéries.



L'enseignant peut demander aux élèves de remplir les grilles proposées en **Annexe 7** pour garder une trace des événements. Chaque case correspond à un cube. Nous avons rempli la première grille correspondant à l'état initial avec 20 cases (cubes) rouges (globules rouges), 2 cases blanches (globules blancs) et 2 cases vertes (autres éléments). Au-dessous, on retrouve la même série de grilles pour l'expérience test, qui débute avec la dilution d'un volume de sang contaminé.

Quand les élèves d'un groupe ont terminé de remplir la dernière grille, l'enseignant leur distribue la carte *Verdict* de l'**Annexe 6** (ou leur communique oralement les résultats). Ils se mettent alors à rédiger l'argumentaire à destination de Koch, dans lequel ils résument les motivations de leur travail, la démarche employée, les résultats attendus et ceux obtenus et, enfin, leurs conclusions.

Éléments de correction

Dans l'expérience témoin (sang d'un individu sain), la séquence de dilution aboutit à un état final où il ne reste en apparence que le solvant (l'eau), ou presque.

Dans l'expérience test (sang d'un individu contaminé), on réalise la même séquence de dilutions, mais chaque « nuit » (entre chaque phase de dilution), les bactéries se multiplient. Ainsi, le milieu final ne contient que de l'eau (ou presque, car il reste encore quelques molécules) et des bactéries qui parviennent à se développer (nous avons limité leur nombre car le milieu n'est pas favorable à leur prolifération).

L'argumentaire final des élèves doit reprendre les différentes étapes de la démarche de Pasteur et insister sur le rôle clé de la dilution. Comme le suggère le texte de l'**Annexe 4** et comme la modélisation l'a mis en évidence, tous les éléments vont disparaître (ou être extrêmement dilués) et ne joueront plus aucun rôle dans l'inoculation finale faite au lapin sain. Comme les bactéries se multiplient entre chaque dilution, ce sont les seuls éléments susceptibles d'être transférés lors de cette inoculation. Puisque l'on constate que cette inoculation contamine bien les lapins, les élèves peuvent conclure – avec Pasteur – que les microbes sont bien l'élément responsable de la mort des lapins. La conclusion plus générale est la suivante : des agents pathogènes sont responsables des maladies infectieuses.



Activité 4 : Les héritiers du duel

Résumé

Disciplines

Histoire, sciences

Déroulé et modalités

Les élèves découvrent une mallette contenant différents documents qui évoquent un même personnage. Ils doivent croiser les informations pour découvrir l'identité de cette figure historique (Alexandre Yersin) et son œuvre scientifique majeure.

Durée

1 heure

Matériel

- Dossier documentaire et fiche d'enquête (Annexe 8)
- Les différents suspects (Annexe 9)

Message à emporter

Il est souvent tentant de se forger une opinion à partir de quelques éléments isolés, mais les conclusions auxquelles nous parvenons ne sont alors pas fiables. En science comme en histoire, les experts s'appuient sur un ensemble de preuves convergentes pour construire un savoir. Plus les preuves sont nombreuses, plus le savoir construit est fiable.

Phase 1 : Une plongée dans l'histoire

L'enseignant présente à la classe le contexte historique de la situation. Il pourra s'inspirer du texte suivant :

Au cœur de Paris, les lieux que Louis Pasteur et ses collègues ont fréquentés sont devenus très précieux pour les historiens qui essaient de reconstituer la manière dont ces grands chercheurs ont fait progresser la connaissance. Dans l'un de ces lieux, au fond d'une salle remplie d'objets de science, se trouve une grande armoire. Et tout en haut de cette armoire, comme oubliée depuis des décennies, une vieille mallette poussiéreuse. Il est trop tentant de l'ouvrir pour découvrir ce qu'elle renferme...



Phase 2 : Dans la mallette mystérieuse

Note : Dans l'idéal, cette phase peut être menée de manière collaborative entre le professeur d'histoire et celui de sciences. Le message de l'activité (la collecte d'indices convergents pour parvenir à une conclusion fiable) sera ainsi mis en valeur et l'élève percevra d'autant mieux sa portée générale.

Les élèves sont répartis en différents groupes d'enquêteurs. L'enseignant distribue à chaque groupe l'ensemble des documents de la mallette (Annexe 8). Les élèves ont pour mission de récolter le maximum d'indices (lieux, dates, personnages) pour dresser le portrait du personnage à qui semble appartenir la mallette et déterminer la terrible maladie qu'il tentait d'affronter.

Note : Il faut bien préciser aux élèves qu'ils ne peuvent pas, à ce stade, trouver le nom de la personne. À la fin de l'enquête, différents suspects leur seront proposés. Ils devront essayer de choisir le bon sur la base des indices récoltés. Pour l'heure, ils ne doivent faire qu'imaginer les caractéristiques de ce personnage.

Il est important de faire comprendre aux élèves qu'il n'est pas légitime d'établir une conclusion sur la base d'un ou deux indices isolés. Sans de telles mises en garde, les élèves sont par exemple tentés de déclarer qu'ils ont la réponse dès qu'ils trouvent un nom sur l'un des documents (ils diront « C'est Louis Pasteur », parce qu'ils voient sa signature sur la lettre de recommandation). Ils pourront encore se convaincre que le personnage en question est une femme parce que Yersin a fait une faute d'orthographe et écrit « Je suis sûre », même si plus loin, il écrit aussi « Après être resté ». La tentation est légitime : spontanément, nous nous contentons d'informations limitées pour tirer des conclusions (qui peuvent être hâtives). Mais l'historien comme le scientifique cherchent à accumuler différentes preuves et à vérifier si elles convergent toutes vers la même conclusion, avant de se prononcer sur un sujet.

Pour inciter les élèves à adopter une telle attitude prudente et rigoureuse, l'enseignant pourra leur distribuer la fiche d'enquête présente en fin d'Annexe 8. Celle-ci doit les inciter à récolter au moins quatre indices avant de conclure. L'enseignant peut aussi attribuer des points pour chaque indice récolté et correctement traité par les élèves ; il organise ainsi l'enquête sous la forme d'un défi entre groupes (le groupe qui a le plus de points remporte le défi).

Enfin, nous suggérons que l'enseignant interrompe les recherches menées dans les différents groupes au bout de dix minutes. Il demande alors à chaque groupe de donner le portrait du personnage recherché, tel qu'ils se l'imaginent à ce stade de l'enquête, sans forcément présenter les indices sur lesquels ils s'appuient. Certains élèves diront qu'ils imaginent un individu jeune, d'autres un individu âgé ; certains un homme, d'autres une femme ; certains évoqueront sa nature d'aventurier, élément que d'autres n'auront pas trouvé... L'enseignant pourra alors rebondir : puisque tous les groupes ne sont pas d'accord entre eux (ce qui est inévitable, car ils ne se seront pas focalisés sur les mêmes indices), il semble nécessaire d'accumuler des preuves nombreuses avant de parvenir à une conclusion fiable. Sans une telle vigilance, trop de pistes restent envisageables.

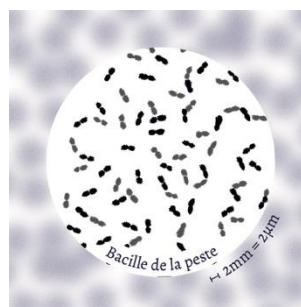
Éléments de correction

Nom du document	Commentaires
Une lettre manuscrite	Il s'agit d'une lettre écrite par Yersin à sa mère. Il évoque une « paillote » (que l'on voit sur la photographie) à côté de l'hôpital des « pestiférés ». Il s'agit là d'un indice en faveur de la peste, mais les élèves pourront facilement passer à côté. La ville de Hong Kong est aussi mentionnée.
Un billet de bateau	Le billet évoque un départ vers Saigon (devenue Hô Chi Minh-Ville), ville du sud du Vietnam. Le départ a eu lieu à Marseille en 1890. Yersin était un aventurier et un explorateur, et il s'agit là de son premier voyage vers l'Indochine, une région dont il tombera amoureux.
Une photographie	En 1894, Yersin part en mission à Hong Kong. Il est envoyé par le gouvernement français. Mais à son arrivée, il réalise que des Japonais, et notamment Kitasato (formé par Koch) occupent les lieux. Yersin décide de mener son enquête dans un laboratoire de fortune, sa petite paillote construite pour l'occasion.
Une ancienne carte d'exploration	Yersin était médecin, chercheur et explorateur. Il a mené plusieurs expéditions en Indochine, notamment pour aller à la rencontre du peuple des Mois ou traverser la jungle dans des conditions particulièrement difficiles.
Quelques pages d'un carnet de notes	Ces pages donnent beaucoup d'indices. Elles évoquent les relations conflictuelles avec les Japonais, et notamment Kitasato, grand admirateur et élève de Robert Koch. Les Japonais font fausse route dans leur recherche de la bactérie, alors que Yersin oriente ses recherches de l'agent pathogène dans les « bubons » (d'où le terme de « peste bubonique »). Les commentaires sur les planches permettent d'établir un lien avec le rat, vecteur de la peste (les rats portent en réalité des puces elles-mêmes infectées).
Une lettre de recommandation	Cette lettre est signée de la main de Louis Pasteur. Yersin a travaillé à l'institut dès 1886 avec le docteur Émile Roux. Il a obtenu sa thèse et a donné des cours à l'institut. Pasteur avait visiblement une opinion favorable de Yersin.

Phase 3 : Un chercheur pas comme les autres

L'enseignant propose enfin aux élèves d'utiliser ces indices pour retrouver la réelle identité du scientifique recherché (et celle de la maladie qu'il combattait alors). La recherche peut être faite sur une sélection d'ouvrages mis à leur disposition ou sur un site internet. Pour faciliter la tâche de l'enseignant, nous proposons en **Annexe 9** 12 vignettes issues du site officiel de l'Institut Pasteur (<https://www.pasteur.fr/fr/institut-pasteur/notre-histoire>). Chaque vignette montre le portrait d'un ou d'une célèbre membre de l'Institut Pasteur, avec une courte description. Les élèves devraient s'orienter vers Alexandre Yersin, surnommé l'explorateur, mais d'autres pistes sont possibles et il leur faudra consulter les biographies (par exemple sur le site de l'Institut Pasteur) pour vérifier leurs hypothèses et, le cas échéant, s'orienter vers une nouvelle piste.

Les élèves reçoivent également quelques cartes *Pathogènes* de l'Annexe 10 et choisissent une carte qui correspond à la maladie que Yersin affrontait selon eux. L'enseignant aura pris la précaution d'ajouter la carte illustrant le bacille de la peste.



Pour conclure l'activité, l'enseignant peut lire aux élèves le texte suivant ou s'en inspirer librement :

La peste noire, la mort noire, le fléau universel, la grande pestilence... Peu de maladies évoquent avec autant de force la tragédie que représentaient les épidémies pour l'humanité. Et pour cause : la peste au XIV^e siècle a certainement fait 25 millions de victimes, soit 30 à 50 % de la population européenne décimée en six années à peine. La peste fait aussi des ravages économiques, entraînant beaucoup de misère dans son sillage. Pendant des siècles, la cause de la maladie est restée inconnue et il n'y avait aucun remède. Jusqu'à ce qu'en 1894, un jeune médecin, doté de courage et d'un esprit aigu d'investigateur, entre en scène : il s'agit d'**Alexandre Yersin** (1863-1943). En un temps record et avec des moyens dérisoires, il est parvenu à isoler le bacille de la peste, à en comprendre les mécanismes d'action et à ouvrir ainsi la voie à un vaccin et à des traitements.



Activité 5 : La biodiversité des microbes

Résumé

Disciplines

SVT

Déroulé et modalités

L'enseignant propose aux élèves deux courtes activités : la première est une activité de tri des agents pathogènes pour mettre en évidence des grandes catégories de microbes. La seconde est un jeu d'association entre les maladies et les méthodes de lutte. C'est l'occasion pour l'enseignant de résumer l'importance pratique des connaissances produites par Pasteur et Koch dans le domaine de la microbiologie.

Durée

30 minutes

Matériel

- Cartes *Pathogènes* (Annexe 10) à imprimer recto-verso
- Plateau *Modalités de lutte contre les maladies infectieuses* (Annexe 11)

Message à emporter

Ce que nous appelons microbes recouvre en réalité une très grande diversité d'organismes. Les bactéries sont des êtres unicellulaires. Les virus ont des caractéristiques bien différentes : ils sont généralement plus petits, n'ont jamais de membrane et ne réagissent pas aux mêmes traitements. Il existe encore d'autres êtres vivants formés d'une seule cellule, mais possédant un noyau qui renferme le matériel génétique.

Toute cette connaissance a des retombées pratiques : elle a permis de développer des méthodes de lutte adaptées à chaque type de pathogène.

Phase 1 : Diversité des microbes

Comme dans l'activité finale de la Séquence 1, l'enseignant choisit un certain nombre de maladies et il récupère les cartes *Pathogènes* correspondantes (Annexe 10). Ces cartes présentent au recto un dessin sans échelle du pathogène puis, au verso, le même pathogène représenté avec une échelle fixe (qui donne une idée de la manière dont Pasteur pouvait le voir au microscope optique). L'objectif est de laisser les élèves proposer un tri des agents pathogènes sur la base de critères de leur choix. Après une phase assez courte, les groupes exposent les modalités de tri qu'ils ont choisies. L'enseignant montre alors comment les scientifiques rangent ces différents êtres vivants. La classification des micro-organismes est une opération complexe et il ne s'agira pas d'entrer dans les détails. Même s'ils ne correspondent pas à des groupes monophylétiques, les termes « bactéries », « virus » et « unicellulaires » renvoient à des caractéristiques structurales qu'il peut être intéressant de souligner.

Phase 2 : Diversité des modalités de lutte

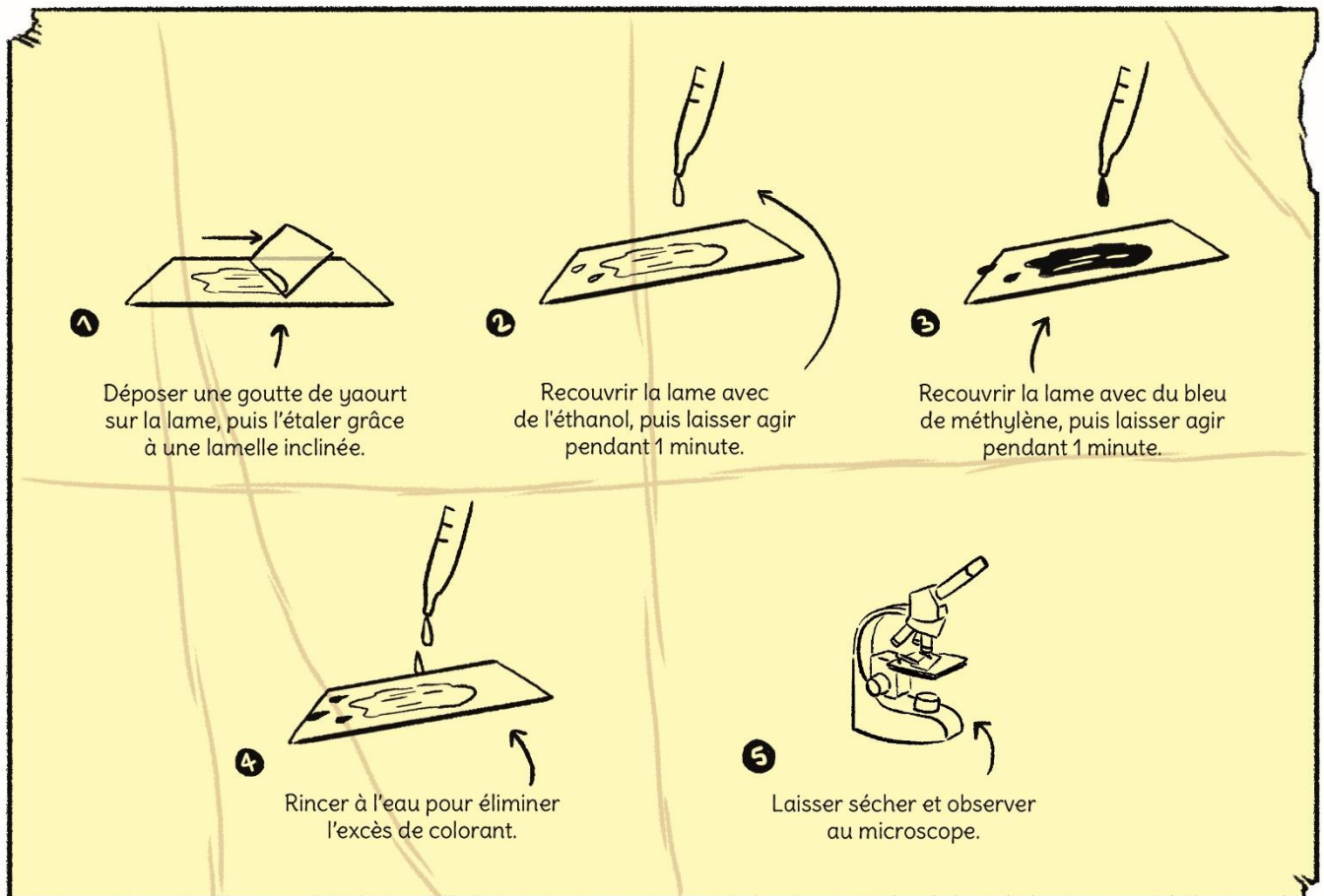
Les élèves doivent maintenant tenter d'associer une maladie infectieuse et des méthodes de lutte. La lutte contre les maladies infectieuses n'avait pas attendu les travaux de Pasteur, Koch et de leurs disciples, mais elle était jusqu'alors empirique, sans base scientifique, avec une efficacité variable. En comprenant l'origine microbienne des maladies infectieuses, Pasteur a ouvert la voie à des progrès considérables de la médecine, notamment via les méthodes d'asepsie et d'antisepsie. D'autres progrès majeurs sont dus à l'invention de la vaccination (Séquence 3) et de la sérothérapie (Séquence 4) et, plus tard, à la découverte des antibiotiques.

Les élèves reçoivent par groupes le plateau *Modalités de lutte contre les maladies infectieuses* (Annexe 11) et utilisent les jetons de l'Annexe 3 de la Séquence 1 pour associer une maladie avec une ou plusieurs méthodes de lutte (il faut prévoir plusieurs jetons par groupes). Les élèves ne peuvent évidemment pas tout savoir (notamment si le vaccin existe ou non pour une maladie donnée). Ils doivent cependant prendre en compte des notions essentielles sur lesquelles il faut insister lors de la correction :

- La vaccination est une modalité de lutte majeure, aussi bien contre des maladies virales, bactériennes ou parasitaires. Mais elle ne doit pas faire négliger les méthodes d'hygiène (lavage des mains, lavage des aliments, stérilisation de l'eau, par exemple) qui restent indispensables.
- Les antibiotiques représentent également une autre modalité majeure, mais ils agissent uniquement contre les bactéries. On peut à nouveau insister sur la différence entre bactéries et virus, et évoquer le problème de la résistance aux antibiotiques. Notons qu'il existe aussi des antiviraux et des antiparasitaires, en moins grand nombre.
- La propagation des maladies infectieuses virales et bactériennes qui se transmettent d'humain à humain peut être fortement réduite par des mesures barrières (distanciation, port d'un masque couvrant le nez et la bouche, port du préservatif dans le cas des infections sexuellement transmissibles) complétant le lavage des mains.
- Les maladies à vecteur nécessitent une protection contre les vecteurs eux-mêmes. Il peut s'agir de méthodes pour détruire les vecteurs, mais une réflexion sur nos comportements, et notamment notre mise en contact avec les êtres vivants sauvages par la destruction des habitats naturels, est aussi nécessaire.

Note : Même si les micro-organismes pathogènes sont la cause de terribles épidémies, il n'est pas possible de réduire l'univers microbien aux maladies. De nombreux micro-organismes ont joué des rôles très complexes dans l'histoire évolutive humaine, et ils assurent aujourd'hui encore des fonctions (physiologiques, écologiques...) qui nous sont absolument nécessaires. À titre d'exemple, nous renvoyons le lecteur vers le module « Pasteur – Fermentations ». Il est utile de faire entrevoir aux élèves la complexité des relations que notre espèce entretient avec l'univers des bactéries et virus.

Annexe 1 : Protocole d'observation de bactéries de yaourt



Note : Il est possible de remplacer cette manipulation par l'observation de ferments lactiques, ce qui présente l'avantage de ne pas avoir de protéines qui gênent l'étude des bactéries.

Annexe 2 : Débat sur le rôle des microbes

En 1870, la cause de la maladie du charbon – qui touche le bétail – et, plus généralement, la cause de toutes les maladies infectieuses fait débat. Quand une question scientifique émerge, il est fréquent que plusieurs hypothèses soient proposées avant que les preuves ne s'accumulent en faveur de l'une d'entre elles. Voici l'avis de quelques grands scientifiques de l'époque sur le sujet.



Louis Pasteur, chimiste français

« Depuis que j'ai découvert, dans mes précédentes études, que la bière et le vin peuvent être altérés quand ils contiennent des organismes microscopiques, je ne peux m'empêcher de penser que des faits similaires peuvent et doivent se présenter quelques fois chez l'Homme et les animaux. »



Joseph Lister, chirurgien britannique

« Vaporiser du phénol sur les instruments, les blouses et les zones d'opération réduit la mortalité des patients. Avec d'autres produits, on peut traiter des plaies pour éviter qu'elles s'infectent. Tous ces produits doivent empêcher les germes de s'installer, ou tuer ceux déjà présents. »



Aloys Pollender, médecin allemand

« Dans le sang d'animaux atteints de la maladie du charbon, j'ai observé de mystérieux petits bâtonnets. Je ne sais rien d'eux. Existont-ils dans le sang vivant ou surviennent-ils après la mort de l'animal ? Sont-ils ou non des agents infectieux ? »



Rudolf Virchow, médecin et anatomiste allemand

« Les micro-organismes n'ont rien à voir avec le déclenchement des maladies infectieuses. Pour moi, chaque maladie est causée par des perturbations dans l'activité d'un groupe de cellules en particulier. »



Casimir Davaine, médecin français

« J'ai inoculé du sang d'un animal malade du charbon à un animal sain et ce dernier est tombé malade. Dans le sang de tous les animaux malades, j'ai trouvé les mêmes êtres microscopiques : leur relation avec la maladie, qui a entraîné la mort ne peut être mise en doute. »



Onésime Delafond, vétérinaire de l'École d'Alfort

« J'ai réussi l'exploit de cultiver les petits bâtonnets de Pollender : ce sont donc bien des êtres vivants ! Mais je ne pense pas que ces éléments sont capables de provoquer le charbon ou qu'ils renferment un constituant infectieux. »

Coup de pouce

Présence de germes ou organismes microscopiques



Apparition de la maladie



est la CAUSE de

Annexe 3 : Un double conflit

Questions	Réponses
Quelle est la nationalité des deux protagonistes de cette histoire ?	
Quelle expérience a été réalisée par Robert Koch et quelle a été sa conclusion ?	
Quels sont les reproches que fait Louis Pasteur à Robert Koch ?	
Quelle influence a eu Robert Koch sur Louis Pasteur ?	
Quelles sont les deux forces qui s'affrontent lors de la guerre de 1870 ?	
Qui a déclaré le conflit ?	
Comment cet affrontement s'est-il terminé ?	
Comment Pasteur a-t-il vécu ce conflit et son issue ?	

Annexe 4 : Le protocole de Pasteur

Le sang initial contient beaucoup d'éléments auxquels nous pourrions être tentés d'attribuer un rôle dans le déclenchement de la maladie du charbon : des globules rouges, très nombreux ; des globules blancs aussi ; et d'autres éléments que l'on observe (ou que l'on ne voit pas) et qui n'ont pas tous la même forme ou la même nature. Et puis, bien sûr, les bactéries.

On prélève un volume de sang d'un lapin malade et on le dilue dans un volume identique d'eau accompagnée d'éléments favorables au développement des bactéries. On laisse reposer toute la nuit. Les bactéries se multiplient.

On recommence une seconde fois. Puis une troisième. Puis une quatrième. Et chaque nuit, on laisse les bactéries se multiplier.

On réalise la même expérience avec un individu sain dont le sang ne contient pas de bactéries.

À la fin de l'expérience, la dilution est si importante que le sang initial a été, pour ainsi dire, noyé dans un océan. Tout ce qu'il contenait a été éliminé ou est devenu introuvable. Seules les bactéries ont échappé à la dilution parce qu'elles se multipliaient dans chacune des cultures.

Aide-mémoire



1
ÉVÉNEMENT

JOUR
Dilution

Étape 1 : Dans un récipient vide, introduire 12 cubes représentant l'eau pour le sang sain (14 pour le sang contaminé).

Étape 2 : Prélever au hasard 12 cubes pour le sang sain (14 pour le sang contaminé) et les ajouter au récipient contenant l'eau. Éliminer les cubes non prélevés.



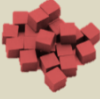
2
ÉVÉNEMENT

NUIT
Repos

Pendant la nuit, seules les bactéries se multiplient (pour chaque cube noir présent, en ajouter 3 autres).

On ne peut jamais dépasser 8 cubes noirs au total.

Annexe 5 : La composition du sang

GLOBULES ROUGES	Symbole 
- Quantité dans le volume initial : 20 millions - Quantité représentée par un cube : 1 million	

GLOBULES BLANCS	Symbole 
- Quantité dans le volume initial : 20 000 - Quantité représentée par un cube : 10 000	

AUTRES ÉLÉMENTS	Symbole 
- Quantité dans le volume initial : 20 000 - Quantité représentée par un cube : 10 000	

EAU	Symbole 
L'eau est un solvant : il est en excès dans le milieu. Cependant, pour visualiser la dilution, on remplacera chaque jeton enlevé par la suite par un jeton bleu.	

BACTÉRIES	Symbole 
- Quantité dans le volume initial : 4 - Quantité représentée par un cube : 1	

Annexe 6 : Verdict

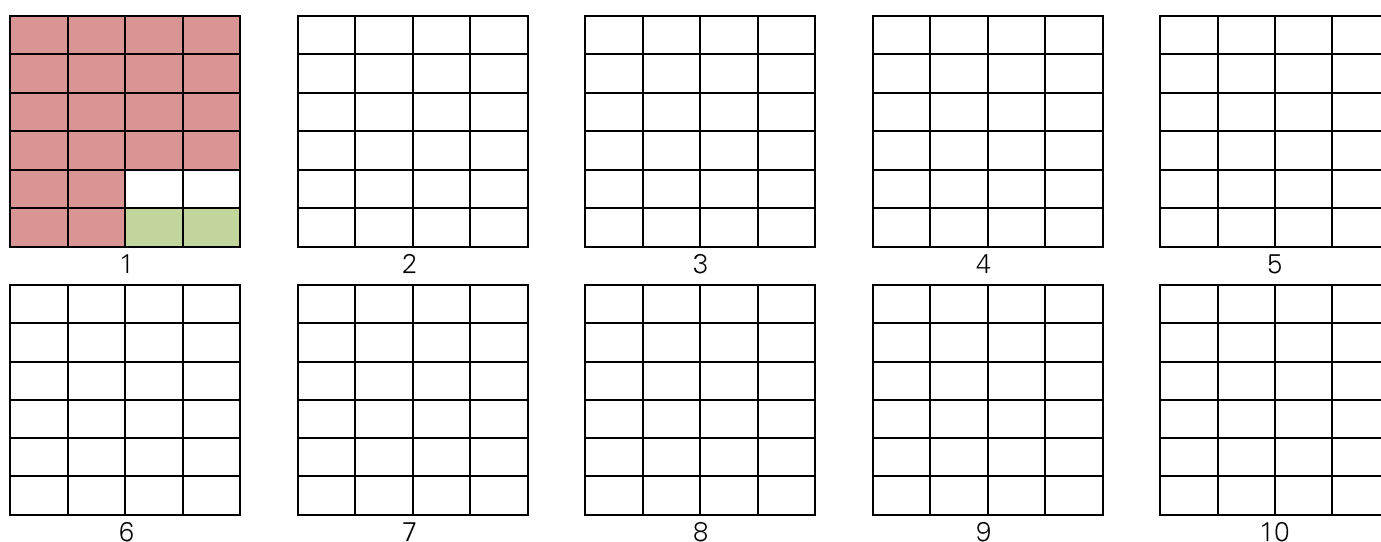


Annexe 7 : Suivi de l'expérience des dilutions successives

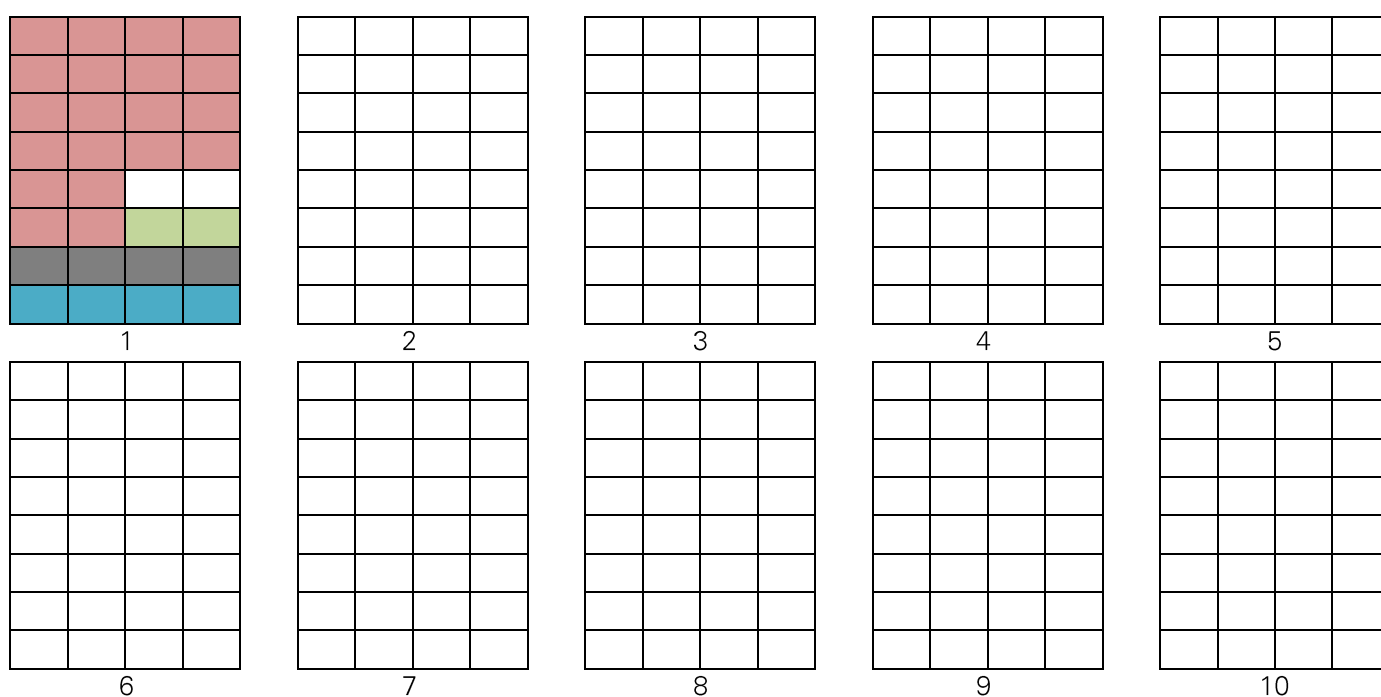
Colorie chaque grille pour représenter l'ensemble des cubes de chaque tube. La grille n° 1 correspond au jour n° 1, et donc à l'état initial. Nous l'avons déjà remplie avec le code couleur suivant : rouge = globule rouge, blanc = globule blanc, vert = autre élément, noir = bactérie, bleu = eau.

- Continue pour les jours suivants, d'abord pour l'expérience témoin (où l'on part du sang d'un individu sain), ensuite pour l'expérience test (individu malade).
- Quand tu as terminé la dernière dilution, tu es prêt à inoculer un nouveau lapin sain. Demande à l'enseignant la carte *Verdict*.

Expérience témoin (sang sain)



Expérience test (sang contaminé)



Annexe 8 : La mallette poussiéreuse et la fiche d'enquête

Une lettre manuscrite

Hong Kong 24 juin 1894
1894

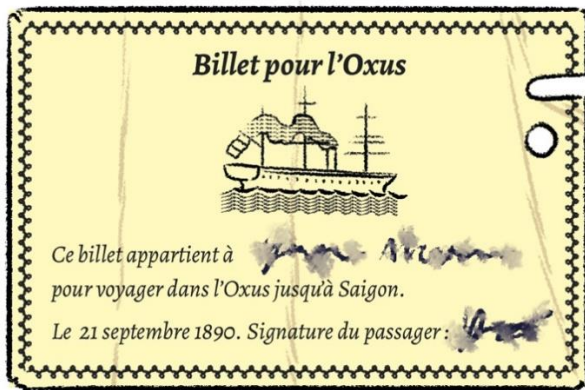
Chère maman,

Je suis sûre que tu dois être un peu anxieuse de recevoir cette lettre, me sachant dans un endroit où l'on n'irait pas précisément faire aujourd'hui un voyage d'agrément !

Après être resté quelques jours à l'hôtel j'en suis fait construire une paillotte à côté de l'hôpital des pestiférés, et j'ai établi là mon domicile et mon laboratoire.

Tout cela n'a pas été sans peine, et si je n'avais pas eu le bonheur de découvrir un brave missionnaire catholique qui a bien voulu m'accompagner partout et me servir d'interprète, je ne sais pas comment je me serais tiré d'affaire ! Le missionnaire s'appelle le Père Vigano. Voilà 30 ans qu'il réside à Hong Kong aussi il connaît tout le monde.

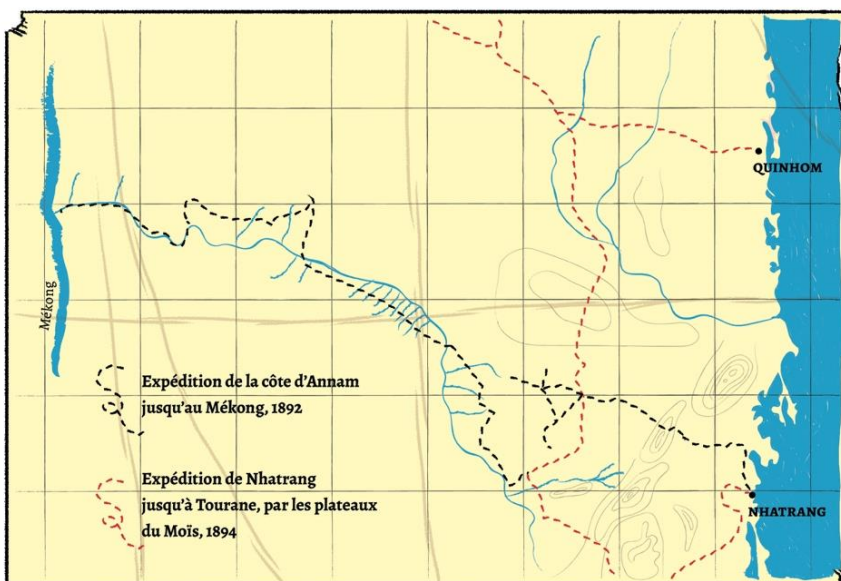
Un billet de bateau



Une photographie



Une carte d'exploration



Une lettre de recommandation

Ses connaissances très étendues en médecine lui ont valu le titre de docteur. Son avenir comme savant eût été brillant. Mais, tout à coup, à la suite des lectures nombreuses, il fut pris d'un désir ardent de voyages lointains et rien ne put le retenir auprès de nous. Je puis certifier qu'il est un homme des plus sérieux, d'une honnêteté à toute épreuve, d'un courage extraordinaire, possédant des connaissances aussi variées que précises, capable en un mot de faire grand honneur à notre pays.

L. Pasteur

Quelques pages d'un carnet personnel

Je vois M. Kitasato recueillir lui-même un peu du sang du cœur dans une boîte en verre et monter dans son laboratoire pour l'examiner. Pendant ce temps, ses aides continuent l'autopsie.

Je suis surpris de voir qu'on ne recherche même pas le bubon ; par contre, on examine très minutieusement le cœur, les poumons, le foie, la rate, etc. (...)

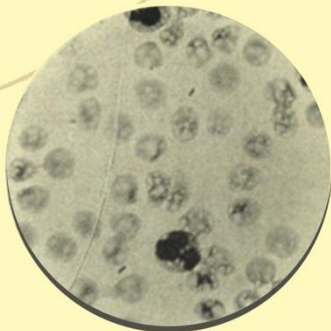
Je m'abstiens cependant de toute réflexion. Les Japonais n'ont pas l'air enchanté de faire ma connaissance. (...) Puisqu'ils paraissent ignorer ce qu'est la courtoisie, je m'abstiendrai de rechercher leur société ; je travaillerai seul de mon côté et eux du leur.

J'espère être plus heureux en cherchant le microbe dans le bubon. Mais on ne veut me laisser faire aucune autopsie (...)

J'essaie, avec le père Vignani, d'obtenir de quelques matelots anglais qui ont pour mission de faire enterrer les cadavres de la ville et des autres hôpitaux qu'ils ne me laissent enlever le bubon des morts, avant qu'on ne les porte en terre.

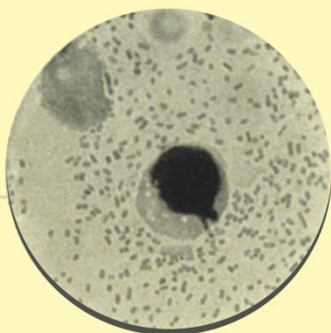
Quelques piastres judicieusement distribuées et la promesse d'un bon pourboire pour chaque bubon que je pourrai enlever ont un effet immédiat.

Page d'un carnet de laboratoire



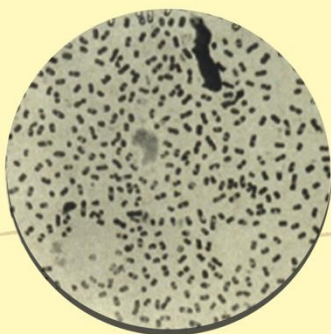
Photographie d'un échantillon de sang de malade vu au microscope, deux heures avant sa mort.

Remarque : on ne voit que deux bacilles en tout et pour tout !



Photographie d'un échantillon de bubon de malade vu au microscope.

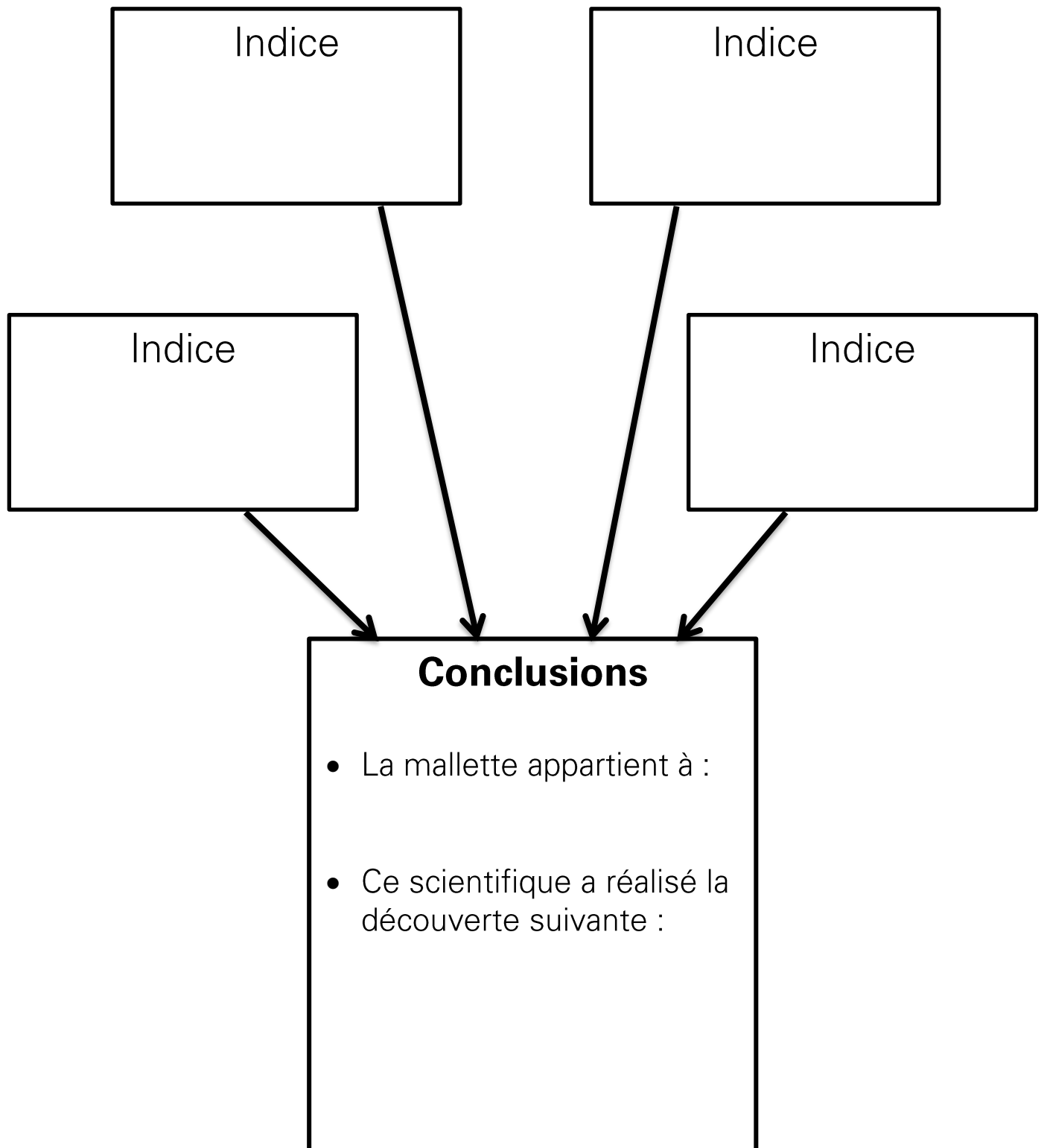
Remarque : la lame est recouverte de bacilles...



Photographie d'un échantillon de bubon de rats vu au microscope.

Remarque : le rat a été prélevé dans la rue, mort. J'ai remarqué beaucoup de rats morts qui gisent sur le sol, ce qui me laisse penser que les rats pourraient être les principaux propagateurs de l'épidémie. Et cette photographie semble confirmer cette hypothèse...

La fiche d'enquête



Annexe 9 : Les différents suspects



Émile Duclaux,
l'héritier de Pasteur



Edmond Nocard,
l'allié vétérinaire



Charles Chamberland,
l'inventeur de génie



Émile Roux,
héros pour les enfants



Paul-Louis Simond,
le multimissionnaire



Albert Calmette,
fondateur de l'Institut de Saïgon



Alexandre Yersin,
l'aventurier



Amédée Borrel,
l'intuitif



Félix d'Hérelle,
le savant voyageur



Gaston Ramon,
le passionné

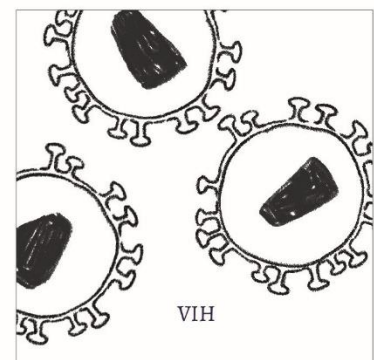
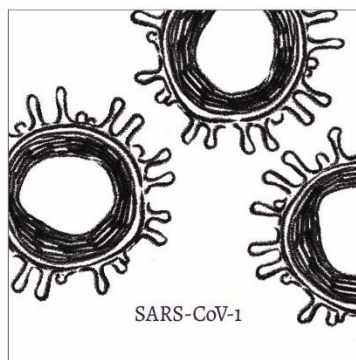
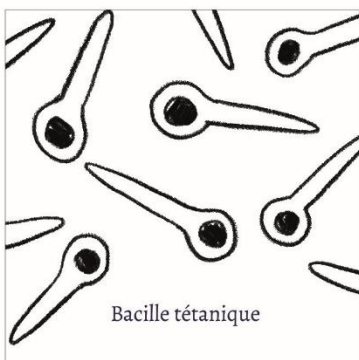
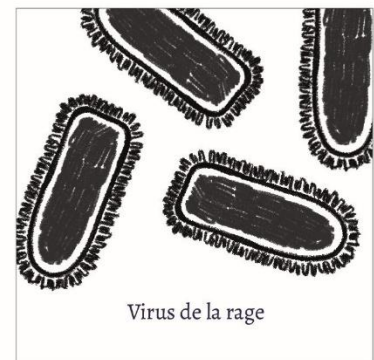
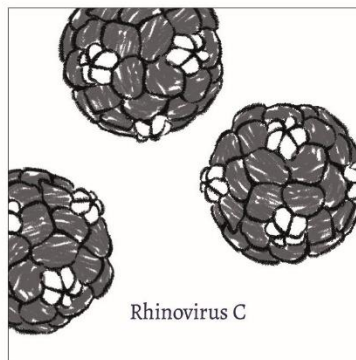
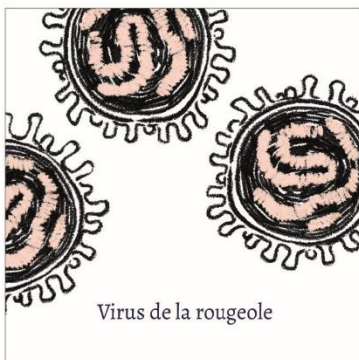
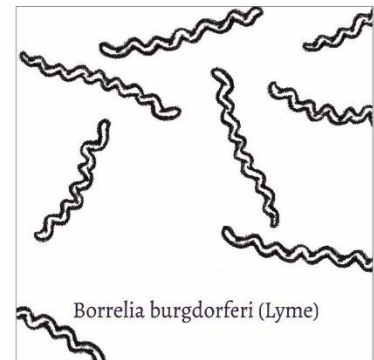
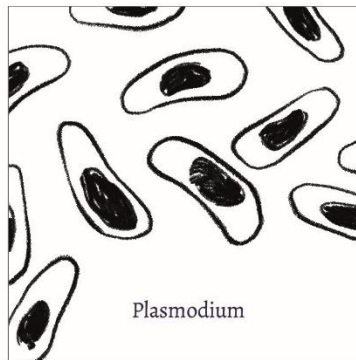
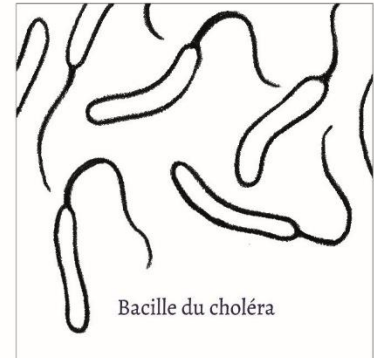
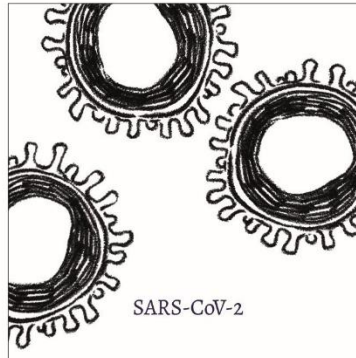
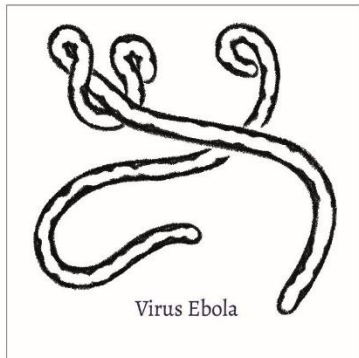


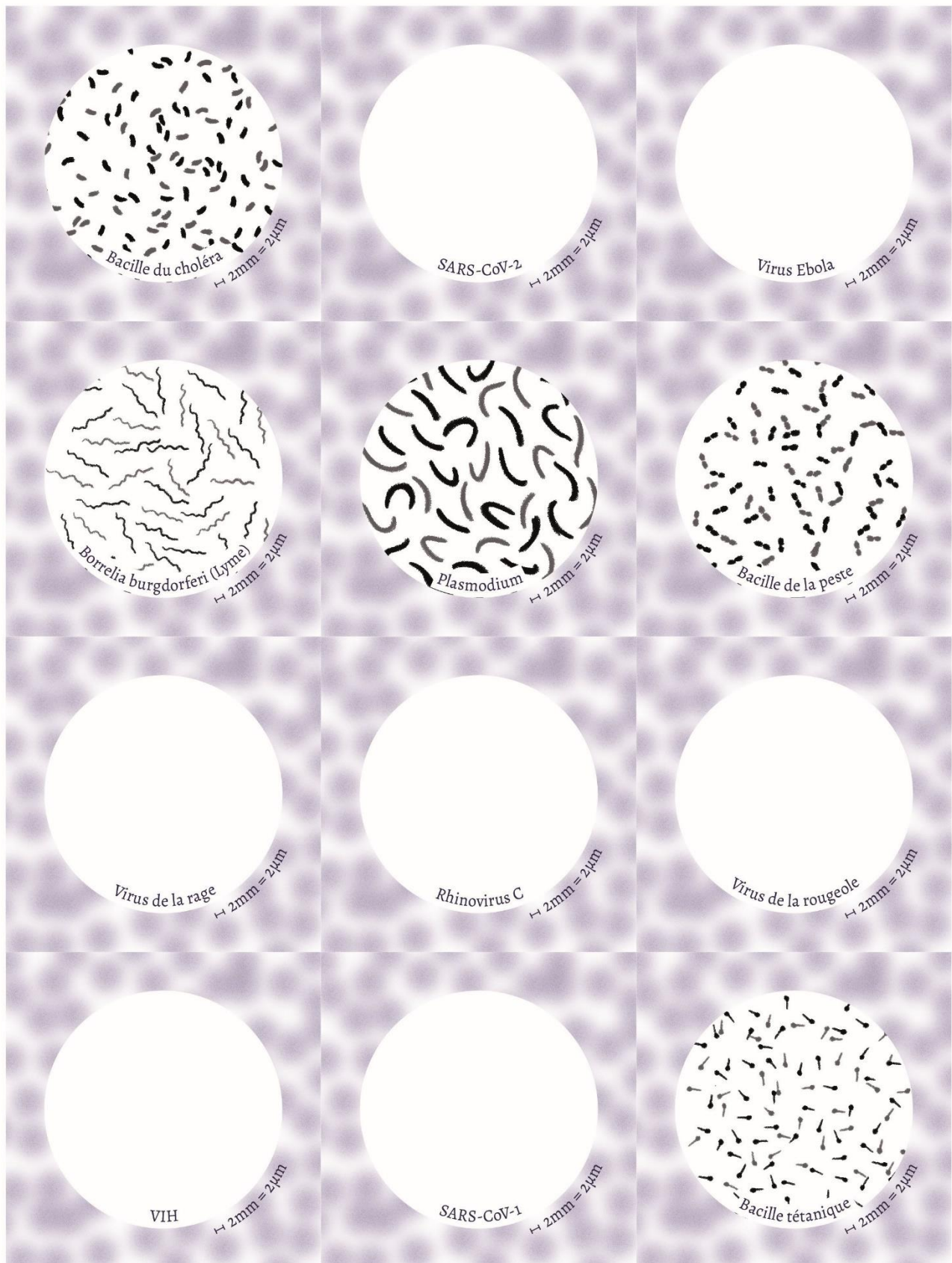
Hélène Sparrow,
chasseuse de microbes

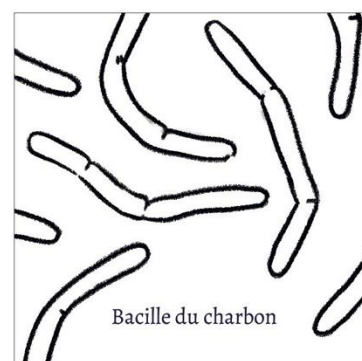
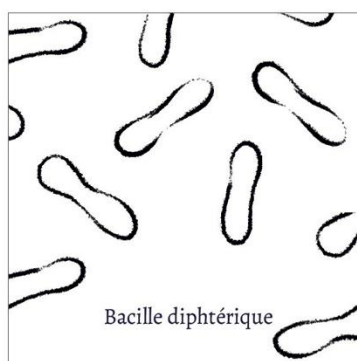
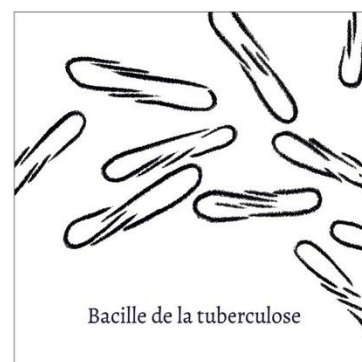
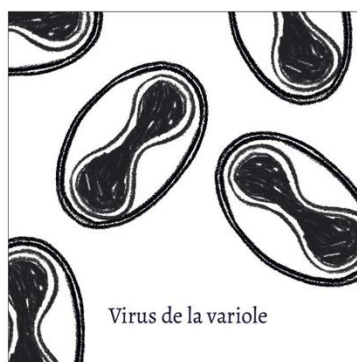


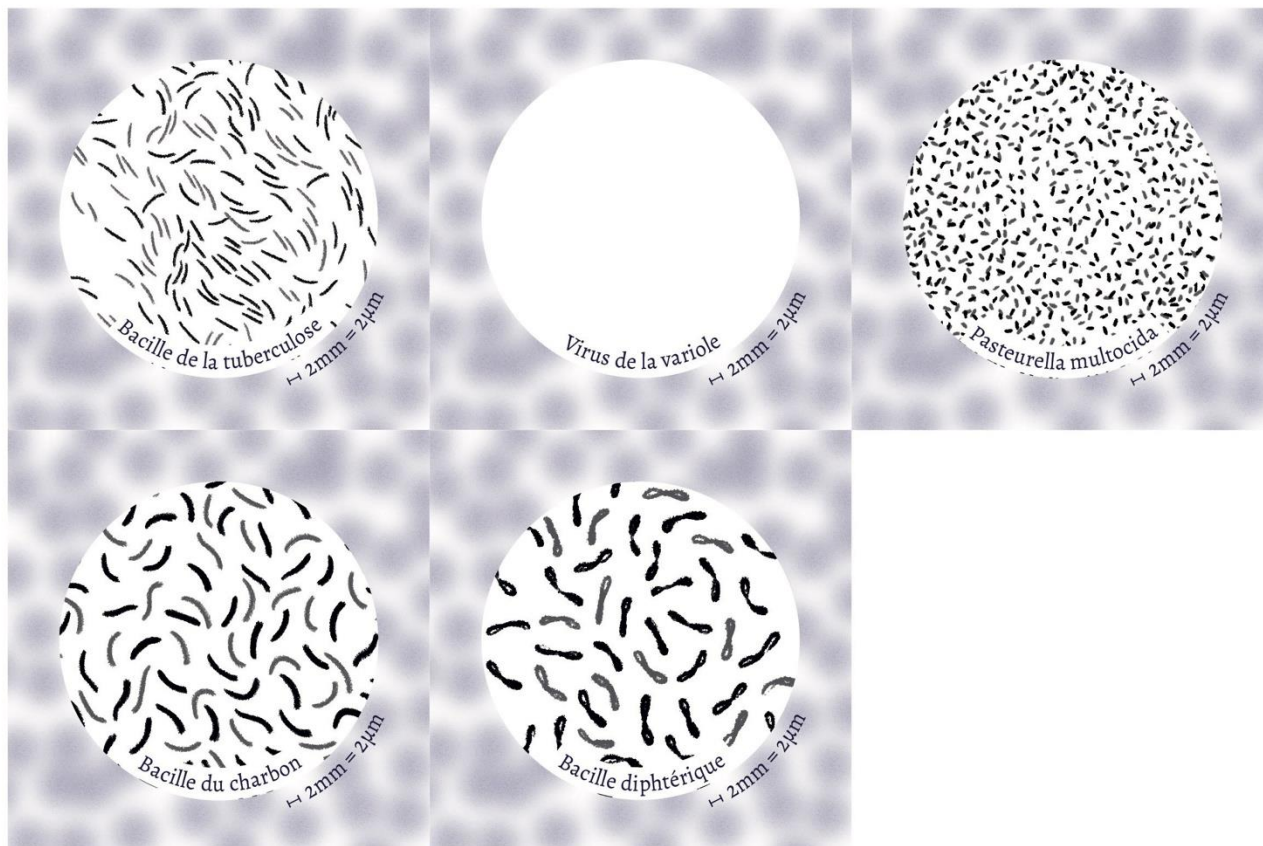
Jacques et Thérèse Trefouël,
un binôme parfait

Annexe 10 : Catalogue de meurtriers invisibles

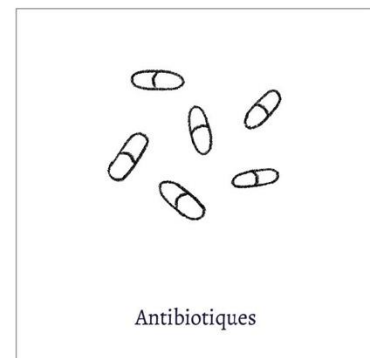
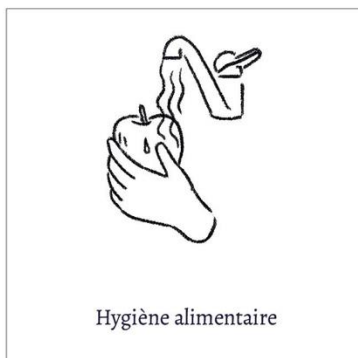
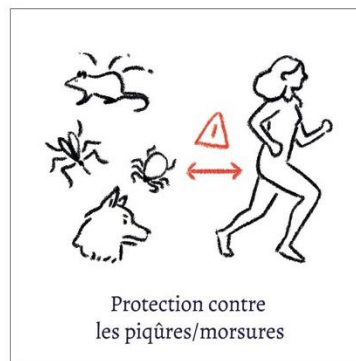
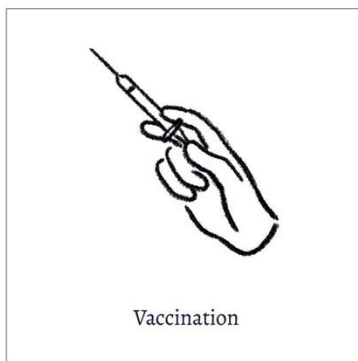
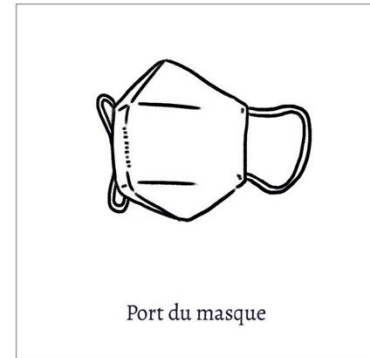
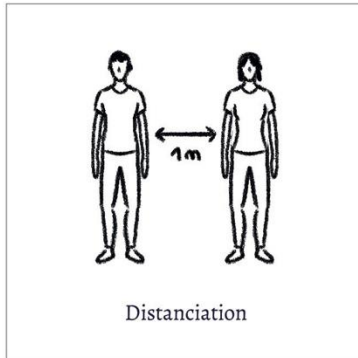








Annexe 11 : Plateau Modalités de lutte contre les maladies infectieuses



Auteur

Mathieu Farina

Illustrations

Marjorie Garry

Tous les documents originaux des Annexes 8 et 9 (lettre de Yersin, photographie de la paillotte, page du carnet et fiche des suspects) ont été reproduits avec l'aimable autorisation de l'Institut Pasteur. Ils sont disponibles sur le site de la photothèque de l'Institut Pasteur.

Logo du bicentenaire Louis Pasteur : dessin réalisé par l'artiste Fabrice Hyber

Remerciements

Véronique Belkhir, Anne Bernard-Delorme, Julien Boquet, Patrice Debré, Priscillia Dubois, Djamila Gadouche, Edwige Herjean, Caroline Mairot, Eve Montier-Sorkine, Fatima Rahmoun, Daniel Raichvarg, Maxime Schwartz, Caroline Seneschal

Cette ressource a été produite avec le soutien de bioMérieux



Et en partenariat avec l'Institut Pasteur



Date de publication

Mars 2022

Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'utilisation commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes

75006 Paris

01 85 08 71 79

contact@fondation-lamap.org

www.fondation-lamap.org

