



Animation

Rencontre avec le blob



> CAHIER PEDAGOGIQUE



1 Rencontre avec le blob

Il existe sur Terre un être vivant vraiment extraordinaire... il se nomme : *Physarum polycephalum*. La plupart des travaux de recherche d'Audrey Dussutour, directrice de recherche sur la cognition animale au CNRS de Toulouse, porte actuellement sur cet être pas comme les autres.

C'est elle qui a popularisé le surnom de blob en référence au film *The blob* de 1958. Depuis, le blob est une star ! Il a fait l'objet de nombreux articles, émissions radio et conférences. Des blobs sont présentés au Parc Zoologique de Paris depuis octobre 2019 et d'autres ont même rejoint Thomas Pesquet dans l'ISS en 2021.

1.1 Carte d'identité du blob



CLASSE, ORDRE ET FAMILLE :
MYXOMYCÈTES, PHYSARALES, PHYSARACEAE

ESPÈCE :
PHYSARUM POLYCEPHALUM

ZONE DE VIE :
ESPACES SOMBRES ET HUMIDES

RÉGIME ALIMENTAIRE :
CHAMPIGNONS, BACTÉRIES,
MICROORGANISMES

Adeptes des vieux tas de bois dans les zones humides, le blob se développe sous les troncs, au sol et à l'abri de la lumière, dans la litière en décomposition et même dans nos composts. Son alimentation est faite de bactéries et de champignons.

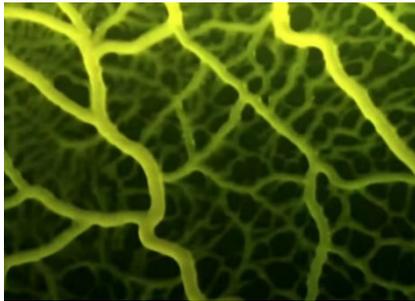
- **Le blob est bien un être vivant car il naît, se nourrit, grandit, se reproduit et meurt.**

Cet être vivant possède d'incroyables capacités :

- Chaque individu est constitué d'une seule cellule géante possédant plusieurs noyaux. C'est donc une des rares cellules visibles à l'œil nu.
- Alors qu'il n'a ni bouche, ni estomac, ni yeux, il arrive parfaitement à détecter la présence de nourriture et à l'ingérer.
- Dépourvu de jambes, de pattes ou d'ailes, il se déplace pourtant à environ 1 cm/h en étirant sa membrane (voir 4 cm/h en vitesse de pointe !).
- Il n'a pas 2 types sexuels différents, mais près de 720.
- Dans de bonnes conditions, le blob grandit très vite et double de taille chaque jour.
- Le blob détient le record de la cicatrisation membranaire, car sa membrane peut cicatriser en 2 minutes ! Un blob peut ainsi être découpé en de nombreux fragments qui deviendront autant de blobs autonomes. À l'inverse, des blobs génétiquement identiques présents dans un même environnement sont capables de fusionner et ne former qu'un seul blob.

Comment se déplace le blob ?

Le blob se déplace sous forme de pseudopodes, c'est-à-dire des déformations de la membrane.



Le blob est parcouru par un réseau de veines où circule le protoplasme, un liquide riche en nutriments et autres molécules essentielles à la vie de l'organisme. Le courant du protoplasme dans les veines s'inverse toutes les deux minutes. Or cette alternance d'une direction à l'autre n'est pas strictement symétrique : le débit est plus élevé dans la direction de déplacement choisie. Sous la pression du courant qui s'exerce sur la membrane, l'organisme tout entier avance.

Les parois de ces veines contiennent des filaments d'actine reliés à des fibres de myosine, molécules que l'on trouve aussi dans nos muscles. Le réseau vasculaire du blob peut ainsi changer de forme et se réorganiser en fonction de la position des sources de nourriture. Lors de cette réorganisation, des embranchements du réseau disparaissent et sa structure semble suivre un schéma d'optimisation. Dans le même temps, le reste de l'organisme se résorbe jusqu'à former de fins vaisseaux reliant les sources de nourriture. C'est ainsi que le blob se déplace. Un blob est même capable de se déplacer sur l'eau.

Le plasmode sécrète un mucus qui le protège contre la dessiccation (déshydratation extrême), qui marque aussi les endroits qu'il a déjà explorés. Le mucus lui sert ainsi de mémoire spatiale lui évitant d'explorer deux fois le même endroit. N'ayant pas de neurone, le blob utilise donc une mémoire externe.

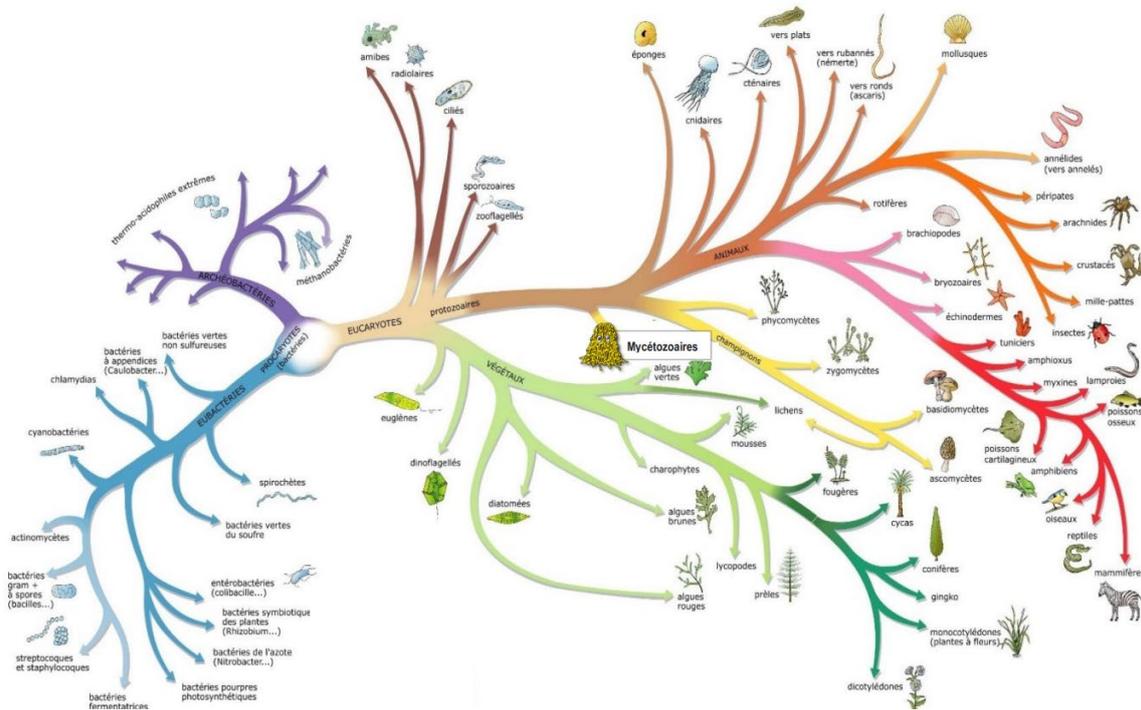
1.2 Classification du blob

Physarum polycephalum est un casse-tête pour les scientifiques qui veulent l'intégrer dans l'arbre du vivant.

- Est-ce un animal (*eumétazoaire*) ? Non, car il n'a pas de tube digestif différencié avec notamment une bouche.
- Est-ce un végétal (*plantae*) ? Non, car il n'a pas de chloroplastes¹ et ne produit donc pas sa propre matière organique grâce à la photosynthèse. D'ailleurs, les myxomycètes vivent à l'obscurité et non à la lumière.
- Est-ce un champignon (*fungi*) ? Non, car le blob ingère sa nourriture par phagocytose, alors que les champignons ne se nourrissent que par absorption.

¹ Organite qui contient la chlorophylle des végétaux

Physarum polycephalum fait partie des myxomycètes : organismes unicellulaires qui produisent des pseudopodes (prolongements temporaires de la cellule) et changent de forme à mesure qu'ils se déplacent.



Classification phylogénétique des êtres vivants (source : Larousse)

Il existe plus d'un millier d'espèces connues de myxomycètes (parfois aussi appelés blobs par extension) ! Les myxomycètes sont apparus il y a au moins 500 millions d'années (voire 1 milliard d'années selon certaines études !), bien avant les plantes (300 millions d'années) et *Homo sapiens* (300 000 ans).

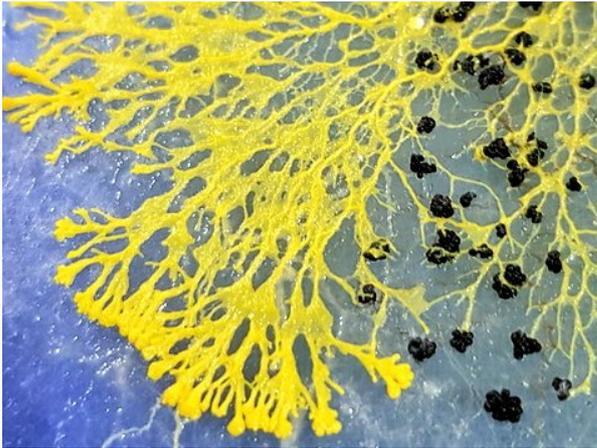


Quelques exemples de myxomycètes

1.3 Reproduction

Le cycle de vie des myxomycètes est relativement compliqué. Il peut passer par plusieurs phases, selon les conditions environnementales. Le plasmode est sa forme développée, visqueuse et mobile. C'est une cellule géante pouvant contenir plusieurs milliards de noyaux génétiquement semblables, qui répliquent leur ADN et se divisent de manière synchronisée toutes les 8h.

Reproduction sexuée : Lorsqu'il est affamé ou exposé à la lumière, le blob enclenche la sporulation et forme des milliers d'organes nommés sporanges. Ce sont des sortes de boules (de 0,5 millimètre de diamètre environ) reposant sur un pied très fin. Ces boules renferment des spores qui seront disséminées par le vent, l'eau et les animaux.



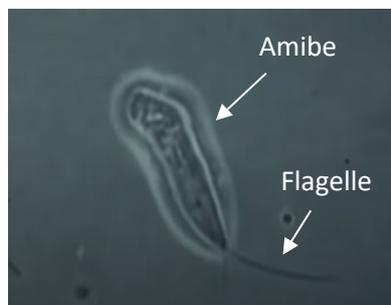
Chaque boule noire est un sporange : un bouquet de spores.

Ces spores sont des cellules aux noyaux haploïdes (qui ne comportent qu'un seul lot de chromosomes (n chromosomes), comme nos ovules et spermatozoïdes).

Chaque spore peut survivre plusieurs années en attendant des conditions propices avant d'engendrer un gamète haploïde (stade amibe) avec ou sans flagelle selon l'humidité du substrat.



Spore qui germe



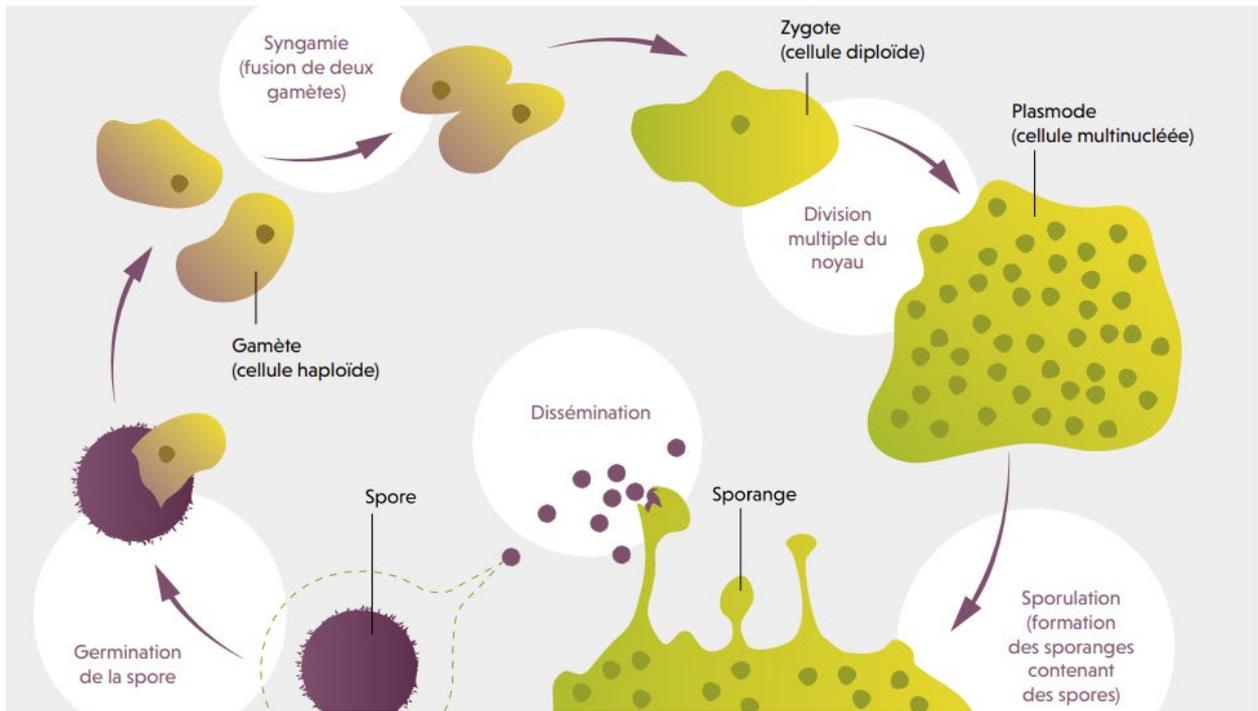
Amibe avec flagelle



Fusion de deux amibes

Deux gamètes de la même espèce peuvent fusionner pour former un zygote diploïde ($2n$ chromosomes). La fusion n'a lieu que si les gamètes sont de types sexuels différents, ce qui a de grandes chances de se produire puisqu'il existe 720 types sexuels chez *Physarum polycephalum* !

La cellule née de cette fusion croît, mais sans se diviser. Seul son noyau se divise et donne deux noyaux, qui se divisent à leur tour et ainsi de suite. La cellule peut alors atteindre des tailles record, de l'ordre de plusieurs mètres carrés, tout en hébergeant des milliards de noyaux. Cette cellule géante multinucléée est nommée plasmode, c'est le blob !



Reproduction sexuée chez les myxomycètes

Reproduction asexuée : Certains blobs se reproduisent par clonage. Les spores donnent alors des gamètes qui redonneront un plasmode, mais sans fusion avec un gamète d'un autre type sexuel.

D'autres blobs ne produisent même pas de spores, mais se « tronçonnent » en petits morceaux qui donneront à nouveau des blobs génétiquement identiques.

Survivre sous forme de sclérote : dans des conditions extrêmement difficiles (lumière, acidité, dénutrition, froid, métaux lourds), le plasmode peut aussi se dessécher, rentrer dans une phase de dormance et former un sclérote. Le blob peut survivre plusieurs années sous forme de sclérote et redevenir un plasmode lorsque les conditions le permettent.



Cet être vivant hors normes est quasi immortel d'un point de vue biologique. Lorsqu'il passe sous forme de sclérote, il perd alors 70% de ses protéines qui seront renouvelées lors de son réveil. Ainsi, sa sortie de dormance s'accompagne d'un rajeunissement de la cellule.

Le plus vieux blob d'Audrey Dussutour a 70 ans. En laboratoire, les blobs ne montrent pas de signe de vieillesse. Mais dans leur milieu naturel, les conditions peuvent être plus difficiles et les scientifiques ne savent pas quelle peut être leur durée de vie.

2 Le blob : Un modèle biologique

Le blob a été délaissé par la recherche jusqu'à ce qu'une équipe japonaise révèle, dans les années 2000, des capacités inimaginables pour des êtres unicellulaires : prise de décisions, évaluation des risques, expression de variabilités individuelles... *Physarum polycephalum* présente une forme d'intelligence bien qu'il soit dépourvu de cerveau. Il est capable de communiquer et de résoudre des problèmes complexes comme trouver le chemin le plus court pour sortir d'un labyrinthe...

Le blob est alors devenu un modèle biologique.

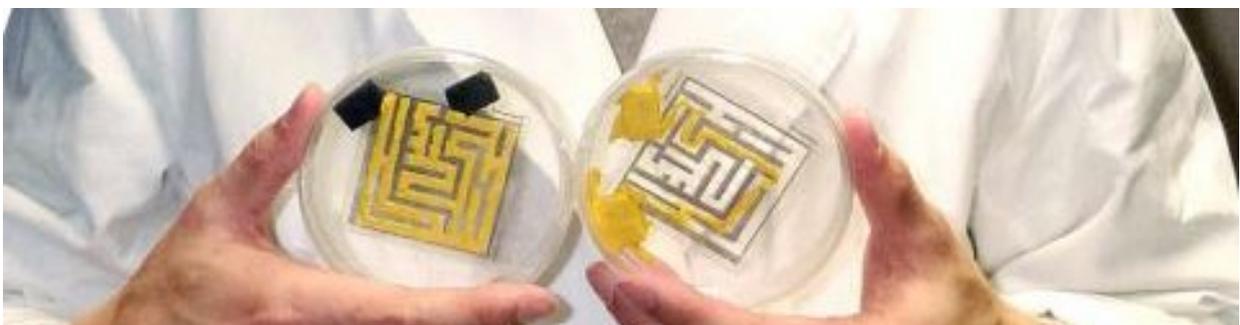
L'utilisation d'un modèle biologique tel que *Physarum polycephalum* n'a pas la prétention de répondre à toutes les grandes questions de la biologie. Mais cet organisme offre un cadre assez simple pour comprendre plus finement l'articulation entre le fonctionnement intracellulaire (moléculaire et génétique) et l'expression d'un comportement. *Physarum polycephalum* n'étant qu'une cellule, toutes les modifications intracellulaires se répercutent en effet potentiellement sur le plan extracellulaire. Alors que pour des organismes constitués de nombreux niveaux biologiques différents (molécules, cellules, organes), il faut étudier tous ces niveaux ensemble pour comprendre comment ils interagissent et quels sont leurs impacts sur un comportement : une tâche bien plus complexe qu'avec le blob !

2.1 Les travaux de recherche de Toshiyuki Nakagaki

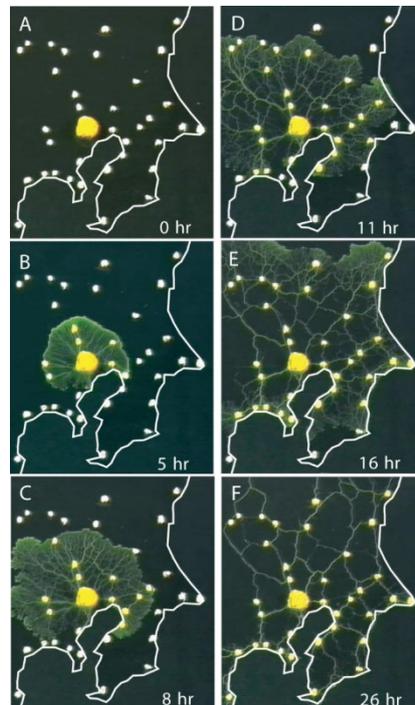


Toshiyuki Nakagaki est un chercheur japonais, qui a beaucoup étudié le blob. Il a notamment réalisé une expérience célèbre – le labyrinthe – en 2008, où **il a montré la capacité du blob, qui ne possède pourtant pas de cerveau, à sortir du dédale seul, et donc sa capacité à résoudre un problème.**

Dans cette expérience, des flocons d'avoine sont installés à l'entrée et à la sortie d'un labyrinthe. Déposé dans le dispositif, le blob s'étend pour coloniser l'ensemble du labyrinthe puis se rétrécit pour finalement ne former plus qu'une ligne continue entre l'entrée et la sortie, empruntant le plus court chemin à chaque fois.



Deux ans plus tard, le chercheur japonais a renouvelé l'expérience pour démontrer la capacité du blob à créer des réseaux intelligents. Pour cela, il a reproduit, sur une plaque couverte de gel d'agar, la carte de la région de Tokyo, en déposant des flocons d'avoine sur les trente-six localités principales autour de la capitale japonaise. Il a ensuite installé un blob en lieu et place de la gare centrale de Tokyo. Le blob s'est alors déplacé pour ingérer les flocons d'avoine et a construit une forme de réseau qui va connecter tous les flocons d'avoine.



Ce réseau a ensuite été comparé au réseau ferré japonais réel, et il apparaît que le blob a « mieux » travaillé que les ingénieurs japonais, puisque le réseau qu'il a formé est à la fois plus court, plus robuste et moins coûteux – virtuellement – que le réseau réel. Dans le réseau du blob, toutes les villes restaient connectées même si un lien était rompu et les chemins empruntés apparaissaient à la fois plus court et moins redondants. Evidemment, le blob, contrairement aux ingénieurs, n'a pas pris en compte le flux de passager, les reliefs, ... Mais il s'agit tout de même d'une source d'inspiration pour les chercheurs, qui veulent aujourd'hui comprendre comment le blob – qui n'a donc pas de cerveau – fait pour mener à bien des actions pertinentes et efficaces. Cette étape est le préliminaire au développement d'applications pour l'industrie.

Grâce à ses travaux sur le blob, Toshiyuki Nakagaki a décroché deux prix Ig Nobel (un prix récompensant les recherches scientifiques insolites) et ainsi participé à la popularisation de *Physarum polycephalum* comme modèle de recherche.

La troisième expérience notable réalisée par Toshiyuki Nakagaki et son équipe sur le blob concerne l'anticipation des événements.

Dans cette expérience, le chercheur japonais a exposé au froid des blobs – les blobs n'aiment pas le froid – à intervalles réguliers (toutes les 30 minutes). Le blob placé dans un milieu nutritif grandit, et quand il est exposé au froid, au bout d'une demi-heure, il stoppe sa croissance. Quand les chercheurs ont arrêté l'exposition au froid, le blob a repris sa croissance normalement. 29 minutes et 30 secondes plus tard, alors que les chercheurs s'apprêtaient à renouveler l'exposition au froid, le blob s'est arrêté de grandir tout seul, anticipant le coup de froid à venir. Le blob est donc capable d'anticiper des événements et de s'y préparer.

Des recherches complémentaires ont été menées depuis, notamment par la chercheuse française Audrey Dussutour, chercheuse au CNRS.

2.2 Les travaux de recherche d'Audrey Dussutour

Les premiers travaux d'Audrey Dussutour ont porté sur les comportements alimentaires de *Physarum polycephalum*. Le blob dispose de récepteurs chimiques membranaires qui lui permettent de détecter certaines substances, comme le glucose ou les protéines, à quelques centimètres. Si on lui donne le choix, il peut composer lui-même un « menu équilibré ».

Si on propose à différents blobs des flans aux œufs avec des teneurs différentes en protéines et sucres, la quasi-totalité des blobs testés choisissent le meilleur équilibre : un repas offrant deux fois plus de protéines que de sucres. Par contre, le blob évite le sel ou les substances amères (quinine, caféine).



Audrey Dussutour a aussi étudié les différences comportementales selon les souches de *Physarum polycephalum*.

En fonction de son origine (pays, continent) un blob ne réagira pas de la même manière qu'un autre. Audrey Dussutour et son équipe ont travaillé avec 3 souches de blob : américain, japonais et australien.

Ils ont notamment observé que quand un blob australien se trouve à proximité d'un blob américain, ce dernier se dirige à chaque fois très vite en direction de la nourriture avant même que le blob australien ait débuté l'observation de la boîte. Le blob australien rejoint donc l'américain mais quand ce dernier arrive il ne reste malheureusement plus rien du fait de sa lenteur. Il adopte le même comportement avec le blob japonais. Mais lorsque qu'un blob américain se retrouve avec un blob japonais, le blob américain dévore tout bonnement le blob japonais laissant une matière gluante et verdâtre. Le blob australien adopte donc un comportement « amical » envers les autres blobs contrairement au blob américain qui, lui, est « cannibale ».

Chaque blob de cette expérience a aussi une manière différente de se déplacer. Par exemple, le japonais se déploie dans toutes les directions de manière circulaire et très rapidement. Le blob australien se conduit de manière comparable mais en prenant trois fois plus de temps que le japonais. De son côté, le blob américain forme d'extrêmement fins pseudopodes, rapides et arborés. En moins de 10 heures il fait le tour de son univers clos (boite de pétri).



Comportement exploratoire de 3 blobs de souche différente

Ces résultats prouvent l'existence d'un lien entre « types comportementaux » et « stratégie décisionnelle » chez un organisme unicellulaire. Ainsi, des processus décisionnels variés ne résultent pas obligatoirement de procédés neuronaux sophistiqués mais des formes de vie plus simples sont aussi capables de présenter des comportements étonnants.

<https://www.insb.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/diversite-de-la-prise-de-decision-chez-le-blob>

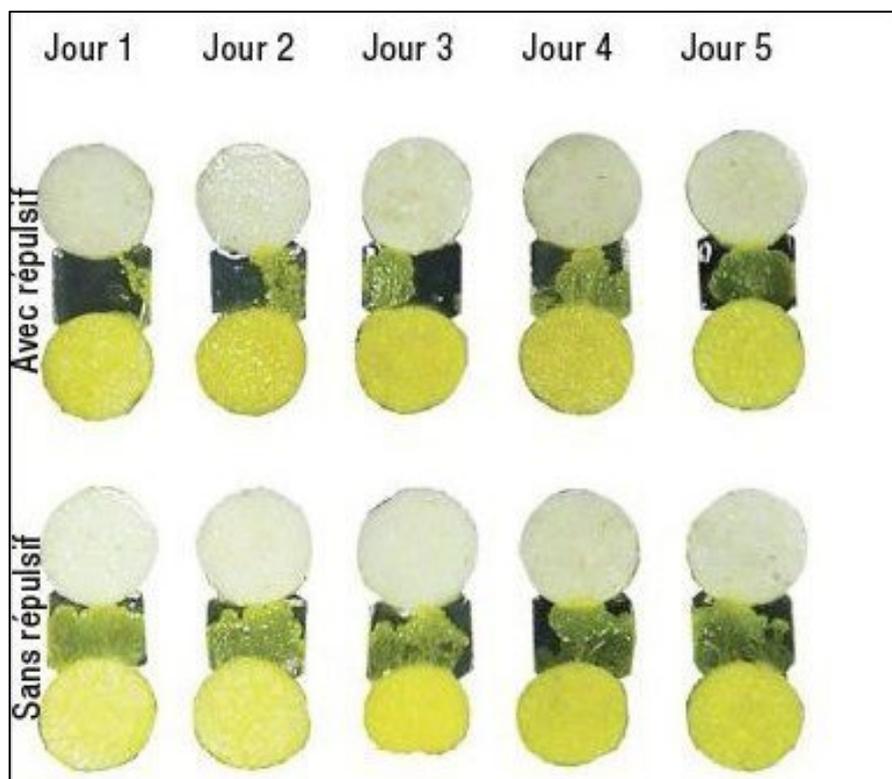
Le CNRS a aussi étudié comment le blob acquiert l'information et la transmet par contact.

Le sel fait partie des répulsifs pour le blob (comme peuvent l'être la lumière et la sécheresse). Lorsqu'il en rencontre sur son chemin, il fait tout pour l'éviter. Audrey Dussutour et son équipe ont eu l'idée de forcer le blob à traverser un pont rempli de sel pour atteindre sa nourriture et voir comment il réagissait.

Le premier jour, le blob a réussi à passer ce pont jusqu'à la nourriture (avec difficultés puisqu'il met 10 heures à le faire, beaucoup moins rapide que sa vitesse de déplacement moyenne). L'équipe a recommencé cette expérience 5 fois (1 fois par jour pendant 5 jours). Lors des traversées suivantes, le blob met de moins en moins de temps, jusqu'à effectuer le trajet en moins de 2 heures.

Une fois le blob habitué au sel, il reste à vérifier que cette habitude est spécifique au sel. L'équipe de recherche contraint donc le blob à traverser un pont contenant de la caféine, une autre substance que le blob ne supporte pas. Le blob met de nouveau très longtemps à franchir le pont. Il n'était donc pas habitué à toutes les substances désagréables, mais seulement au sel.

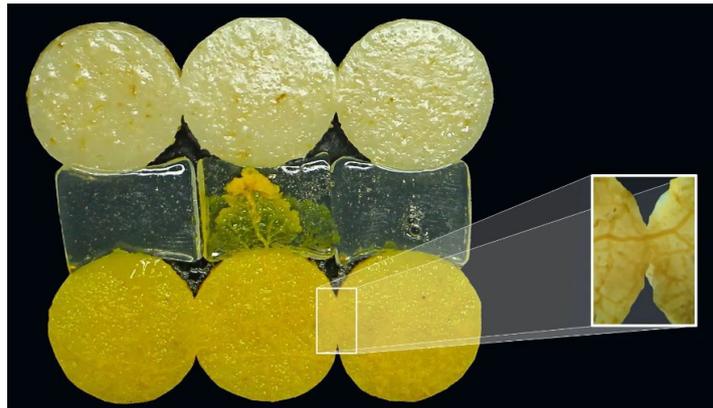
Après une période de repos (au moins 3 jours), l'équipe teste le blob avec du sel à nouveau. Il se comporte alors comme lors de la première traversée. L'habitude n'est donc pas éternelle.



Les recherches sur l'habituation et les blobs ne se sont pas arrêtées à cette découverte : un blob habitué à une molécule peut-il transférer son habituation à un blob « naïf » (c'est-à-dire non habitué au sel) ? Pour y répondre, l'équipe a réalisé plusieurs expériences qui ont montré que lors de la fusion d'un blob habitué au sel avec un blob naïf, il y avait une transmission de l'habituation. En observant les blobs de plus près, au microscope, les scientifiques ont pu observer qu'une veine se formait entre les blobs fusionnés au bout de trois heures de fusion. L'information que le blob échange avec son congénère circulerait donc dans ses veines.

<https://www.cnrs.fr/fr/le-blob-capable-dapprendre-et-de-transmettre-ses-apprentissages>

UNE VEINE OÙ PASSE L'INFORMATION



Mis en contact avec deux blobs habitués à ignorer leur aversion pour le sel, un blob naïf se met à traverser un pont recouvert de sel pour atteindre de la nourriture. Cet apprentissage est a priori transmis par la veine apparue entre les blobs, au niveau de la zone de contact.

Selon une étude de 2019, le blob incorporerait les répulsifs dans le cytoplasme circulant à l'intérieur du réseau de veines, qui agit comme une forme de mémoire. Par exemple, le cytoplasme s'enrichirait en sel à force de traverser des ponts salés ; par conséquent, le blob ne serait plus gêné par le sel, puisque la différence de concentration en sel entre l'extérieur et l'intérieur de la cellule serait faible.²

De plus en plus d'études montrent que des organismes longtemps considérés comme « simples » sont finalement capables de nous étonner. L'utilisation du terme « apprentissage » pouvait sembler inappropriée pour décrire le comportement d'un organisme unicellulaire. Nous avons l'habitude d'utiliser ce terme pour des humains ou des animaux qui nous sont proches, voire pour des insectes, mais en aucun cas pour des organismes dépourvus de système nerveux. Pourtant, les comportements du blob sont en adéquation avec les définitions que l'on donne de l'apprentissage. D'un point de vue évolutif, ces résultats ne sont cependant pas étonnants. L'évolution d'un comportement correspond à une modification très lente d'un caractère ayant initialement des fonctions ou des mécanismes potentiellement bien différents. Le type d'apprentissage observé chez le blob serait alors une forme primitive des modes d'apprentissage actuels des organismes dotés d'un système nerveux ou de tout autre mécanisme sous-tendant la même fonction, à savoir une adaptation optimale au milieu.

² Communiqué de presse CNRS : <https://cutt.ly/VDxlp71>

3 Protocoles CNRS de sciences participatives

3.1 #ELÈVETONBLOB

En 2021, Le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), en partenariat avec le CNRS et avec le soutien de l'académie de Toulouse, a proposé à 4500 établissements scolaires de primaire, collège et lycée de participer à une expérience éducative originale, basée sur l'étude du comportement du *Physarum polycephalum*, ou blob. Cette expérience a également été menée par Thomas Pesquet à bord de l'ISS, lors de sa mission Alpha.



Leur objectif : réaliser les mêmes expériences que l'astronote français Thomas Pesquet à bord de l'ISS, de manière à montrer l'influence de l'impesanteur et des rayons cosmiques sur le comportement exploratoire du blob. Pour cela, Audrey Dussutour sélectionne une souche particulièrement résistante, LU352 (surnommé Blobi Wan Kenobi), en vue des conditions parfois difficiles des écoles (variations fortes de températures par exemple).

<https://missionalpha.cnes.fr/fr/elevetonblob-resultats-iss>

3.2 Derrière le blob, la recherche



Ce projet de science participative (entre mars et juin 2022) était l'occasion d'étudier les impacts détaillés des changements de température sur la croissance des myxomycètes.

<https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/derriere-le-blob-la-recherche-une-experience-de-science-participative-du-cnrs>

Sur une durée variant d'une semaine à un mois, les 15 000 participants ont accueilli un blob. Il s'agissait alors de simuler des vagues de chaleurs en faisant varier la température à différentes fréquences et différentes intensités.

Les différents protocoles mis en place permettront d'évaluer le rôle de l'amplitude, de la durée et de la fréquence des changements de température sur le comportement et la croissance du blob.

LE BLOB DANS SON ÉCOSYSTÈME : Les myxomycètes, la grande famille des blobs, sont des organismes essentiels à l'équilibre des écosystèmes forestiers. En mangeant bactéries et champignons, ils consomment la matière organique et excrètent des minéraux qui sont ensuite utilisés par les plantes. Mais le blob n'aime pas avoir trop chaud, et la question se pose de savoir comment il réagira à la hausse des températures si les changements sont trop brutaux.

LES CHANGEMENTS DE TEMPERATURE ET LE BLOB : Le changement climatique a des répercussions sur la biodiversité et les écosystèmes. Dans les années à venir, les vagues de chaleur vont devenir plus longues, plus intenses, plus fréquentes et plus inattendues. Ce projet de science participative permettra d'étudier les impacts détaillés des changements de température sur la croissance de ces organismes fascinants.

Lors du projet "Derrière le blob, la recherche", les volontaires ont cherché à étudier les effets de la durée, de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur. C'est pourquoi le CNRS proposait différents profils de température (1 profil = 1 protocole). Il y avait au total 15 profils différents à tester sur deux espèces de myxomycètes (*Physarum polycephalum* et *Badhamia utricularis*), chacune représentée par plusieurs souches. Les effets des caractéristiques des vagues de chaleur pourraient en effet être différents selon les espèces et selon les individus.

C'est pourquoi le CNRS a fait appel à autant de volontaires, car le nombre de combinaisons profil de température * espèce * souche est énorme.

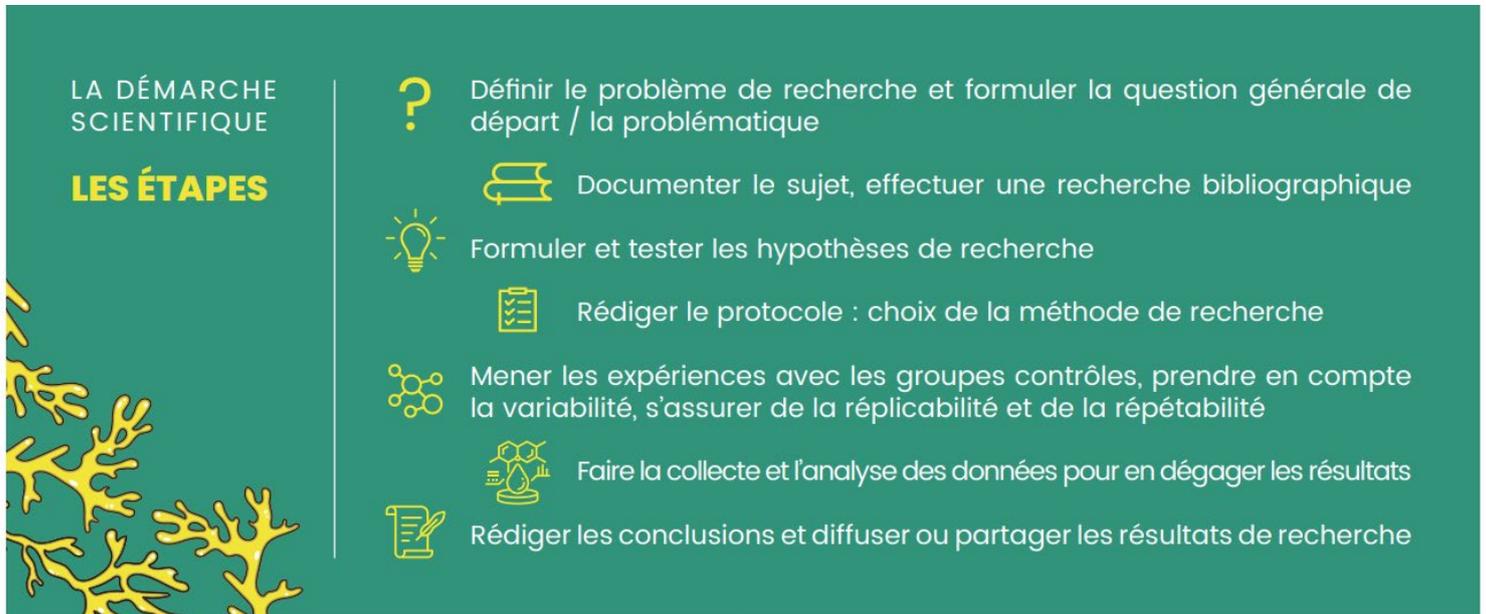
De plus, deux critères sont primordiaux lors d'une étude scientifique :

- Premièrement, ajouter un groupe contrôle (ou groupe témoin) au groupe expérimental (ou groupe traité). Le groupe contrôle réunit les individus qui ne subissent pas le traitement dont on cherche à mesurer les effets. Dans notre expérience, le groupe contrôle rassemble les blobs qui restent à température ambiante alors que le groupe expérimental rassemble les blobs qui endurent des augmentations de température. C'est en comparant le groupe contrôle au groupe expérimental que nous pouvons évaluer si la température a un effet sur les blobs.

- Deuxièmement, s'assurer de la reproductibilité d'une expérience. Cette notion constitue le fondement de la méthode scientifique. Sans elle, les scientifiques n'ont aucun moyen de savoir si les résultats publiés sont valides ou proviennent du fruit du hasard. La reproductibilité repose sur deux principes clés : répétabilité et répliquabilité. Ainsi, l'expérience est dite *répétable* si un volontaire est capable de reproduire et confirmer les résultats d'un autre volontaire. C'est pourquoi le même protocole est envoyé à 200 volontaires différents. L'expérience est dite *répliquable* si un même volontaire est capable de produire des résultats comparables pour un même protocole.

3.3 La démarche expérimentale

Au-delà de l'expérience de recherche participative, l'opération a en effet l'objectif de promouvoir les enjeux et la démarche scientifique auprès du plus grand nombre.



DEMARCHE SCIENTIFIQUE

- 1- **QUESTION** : le réchauffement climatique a-t-il un impact sur le blob ?
- 2- **HYPOTHESE** : les changements de températures vont affecter la croissance et le comportement du blob
- 3- **BIBLIO**
- 4- **ELABORATION DU PROTOCOLE** : 15 protocoles édités pour tester les changements de fréquence d'intensité et la durée des pics de chaleurs
 - Ne faire varier qu'un élément (ni nourriture, ni luminosité)
 - Groupe contrôle et un groupe expérimental
 - Réplicabilité (8 individus minimum dans le cas de notre protocole)
 - Reproductibilité de l'expérience (chaque protocole sera réalisé par 200 volontaires)
 - Prendre en compte la variabilité individuelle (souches)
 - Généralité des résultats (est-ce de même pour les autres myxomycètes = protocoles avec différentes souches de *Badhamia utricularis*)
- 5- **EXPERIMENTATION**
- 6- **RECUEIL DE DONNÉES**
- 7- **ANALYSE DES DONNÉES**
- 8- **PUBLICATION**

Un projet de recherche commence en général avec **une observation**. Par exemple, "on observe moins de blobs en forêt depuis quelques années". Suite à une observation, on pose alors une **question** : "Qu'est ce qui est responsable de la disparition des blobs ? ". Afin de répondre à cette question, on émet une **hypothèse**. Une hypothèse est une réponse plausible à la question basée sur des lectures

d'articles scientifiques ou des observations. Notre hypothèse ici est : le blob est affecté par le réchauffement climatique. Afin de valider ou d'invalider notre hypothèse, on planifie une **expérience** qui nous permettra de tester notre hypothèse. Pour cela, on rédige un protocole expérimental. Le **protocole expérimental** compile les étapes à suivre et le matériel nécessaire pour réaliser l'expérience, un peu comme une recette de cuisine. Dans notre expérience, le blob sera soumis à des changements de température pendant 5 à 10 jours et on mesurera quotidiennement sa croissance et sa capacité à explorer un nouveau territoire (comportement d'exploration). Lorsqu'on teste une hypothèse, il est important de modifier un seul paramètre : la température. Tous les autres paramètres (ex : éclairage, nourriture, substrat) susceptibles d'affecter le blob doivent rester constants.

Avant de démarrer une étude, on commence toujours par une étape de recherche bibliographique. Il faut en effet s'informer sur les connaissances déjà accumulées sur notre sujet de recherche : les effets des changements de température sur le blob.

On apprend donc après une recherche bibliographique plusieurs éléments sur notre sujet d'étude qui vont influencer la construction de notre protocole, voici quelques exemples :

- Le blob préfère aller vers une zone à 29°C que vers une zone à 19°C.

Source : Tso, W. W., & Mansour, T. E. (1975). Thermotaxis in a slime mold, *Physarum polycephalum*. *Behavioral Biology*, 14(4), 499-504.

- Le flux cytoplasmique (le liquide qui coule dans les veines du blob) ralenti après 10 min à 32°C. Le flux s'arrête totalement et la respiration est réduite après 10 min à 38°C. Après 10 min à 47°C arrêt totale de la respiration, écoulement du cytoplasme à l'extérieur de la cellule (le blob se vide de son cytoplasme).

Source : Bernstam, V. A., & Arndt, S. (1973). Effects of supraoptimal temperatures on the myxomycete *Physarum polycephalum*. *Archiv für Mikrobiologie*, 92(3), 251-261.

- 30 min à 37°C entraînent un délai du processus de mitose (= division des noyaux, processus qui a lieu toutes les 8 à 10h) et par conséquent un retard de croissance.

Source : Brewer, E. N., & Rusch, H. P. (1968). Effect of elevated temperature shocks on mitosis and on the initiation of DNA replication in *Physarum polycephalum*. *Experimental Cell Research*, 49(1), 79-86.

- Après 10 min à 42°C le flux s'arrête, la membrane démontre des altérations, les mitochondries (organites qui sont les centrales énergétiques des cellules) sont déformées, retard de la mitose également. Après 9h tout rentre toutefois dans l'ordre !

Source : Lomagin, A. G. (1978). Repair of functional and ultrastructural alterations after thermal injury of *Physarum polycephalum*. *Planta*, 142(2), 123-134.

- Des blobs sous forme de sclérotés peuvent se réveiller après avoir passé 32 jours à 60°C.

Source : Blackwell, M., Waa, J. V., & Reynolds, M. (1984). Survival of myxomycete sclerotia after exposure to high temperature. *Mycologia*, 76(4), 752-754.

- La période de contraction des veines (qui est liée à la vitesse de déplacement chez le blob) diminue de 2.31min à 14°C à 1.19min à 24°C. Ce qui signifie que le blob se déplace plus vite à 24°C qu'à 14°C. Entre 24°C et 30°C la période reste constante et commence à diminuer après 30°C.

Source : Wohlfarth-Bottermann, K. E. (1977). Oscillating contractions in protoplasmic strands of Physarum : Simultaneous tensiometry of longitudinal and radial rhythms, periodicity analysis and temperature dependence. *Journal of Experimental Biology*, 67(1), 49-59.

- 32°C est la température maximale permettant aux blobs de croître normalement et permettant d'observer un cycle mitotique non altéré.

Source : Wright, M., & Tollon, Y. (1978). Heat sensitive factor necessary for mitosis onset in Physarum polycephalum (temperature shift/heat shock/cycloheximide/ts mutant). *Molecular and General Genetics MGG*, 163(1), 91-99.

- Un blob conservé à 35°C meurt après 24h et un blob conservé à 32.5°C meurt après 3 jours. La température idéale est 21°C (pour la reproduction en particulier).

Source : Gray, W. D. (1939). The relation of pH and temperature to the fruiting of Physarum polycephalum. *American Journal of Botany*, 709-714.

La construction du protocole est basée sur ces connaissances.

À la suite des expériences, on collecte les données, on les interprète et on tire des conclusions. Si l'hypothèse est vérifiée, on pourra faire d'autres expériences pour la confirmer ou la préciser. Par exemple, si nous parvenons à démontrer que les changements de température influencent la croissance du blob, on pourra ensuite essayer de comprendre si cela affecte aussi sa capacité à se reproduire. Si l'hypothèse est réfutée, on devra alors formuler une nouvelle hypothèse. Celle-ci pourrait être par exemple que la disparition des blobs est due à la pollution. La méthode expérimentale est un processus itératif : le résultat d'une expérience devient une base sur laquelle on s'appuie pour poser une nouvelle question et conduire une nouvelle expérience.

La démarche expérimentale consiste donc à avancer une idée à l'aide de faits concrets, mesurables et observables.

FAQ – Le blob (Source : CNRS)

Le blob n'a cessé de défier nos connaissances sur le vivant. Premièrement, la notion de taille : composé d'une seule cellule, il double voire triple de taille quotidiennement et peut ainsi atteindre plusieurs mètres carrés. Deuxièmement le concept d'individualité : coupé en deux, il donne deux individus autonomes et fonctionnels qui peuvent ensuite reformer un unique organisme par fusion. Troisièmement, l'inflexible vieillissement cellulaire : le blob se régénère suite à une période de dormance qui peut durer plusieurs années et peut ainsi vivre très longtemps. Enfin, la définition même de l'apprentissage et de la mémoire : le blob nous a montré récemment qu'il pouvait apprendre tout en étant dépourvu de système nerveux.

Qu'est-ce qu'un blob ? Un organisme unicellulaire qui appartient au règne des amibozoaires et à la classe des myxomycètes (ce n'est ni un animal, ni un végétal, ni un champignon).

Quel est le nom scientifique du blob ? *Physarum polycephalum*

Qu'est-ce qu'une souche de *Physarum polycephalum* ? Une souche (à ne pas confondre avec l'espèce) est l'équivalent d'un individu, mais comme le blob peut être sectionné en morceau, on peut avoir plusieurs individus d'une même souche. Les individus d'une même souche partagent le même patrimoine génétique.

Trouve-t-on des *Physarum polycephalum* en France ? Oui, mais ils sont difficiles à repérer.

Où trouve-t-on le blob ? Dans les milieux forestiers ombragés, dans la litière des feuilles mortes, sous l'écorce des arbres morts, il faut que le substrat soit humide, donc au printemps et en été, après la pluie, on en observe plus facilement.

À quoi ressemble le blob ? Le blob est jaune. On dit souvent qu'il ressemble à une omelette ! C'est un organisme qui peut prendre n'importe quelle forme. Il forme des *pseudopodes* (comme des petits bras) dans de multiples directions lorsqu'il explore son environnement.

Pourquoi le blob est jaune ? Il a des pigments jaunes : chrysophysarin A et physarochrome A.

Que mange le blob ? Des bactéries et des champignons dans la nature, des flocons d'avoine au laboratoire.

Comment mange le blob ? Le blob absorbe sa nourriture par phagocytose, la particule alimentaire est entourée par les pseudopodes du blob et ceux-ci se referment sur la particule. La particule est ainsi internalisée dans la cellule.

Est-ce qu'on peut manger le blob ? Non, il est indigeste

À quelle vitesse le blob grandit-il ? Il double voire triple de taille tous les jours selon la souche

À quelle vitesse le blob se déplace-t-il ? De quelques millimètres à quelques centimètres par heure.

Comment le blob se déplace-t-il ? Le blob est parcouru par un réseau veineux, ces veines se contractent et poussent ainsi le liquide intracellulaire (le *cytoplasme*) contre la membrane ce qui le fait avancer. Un peu comme les mouvements péristaltiques de nos intestins. Les contractions sont permises par des protéines contractiles, actine et myosine, que l'on trouve aussi chez l'humain et qui permettent la contraction musculaire.

Est-ce que le blob est immortel ? Non pas au sens strict du terme, on dit que le blob est immortel biologiquement. Lorsque le blob est placé en dormance régulièrement il régénère. Mais attention le blob peut mourir de froid, de chaud, de dessiccation, peut être dévoré etc.... il est immortel au laboratoire où les conditions sont idéales.

Est-ce que le blob a des prédateurs ? Oui les limaces, quelques collemboles et certains scarabées.

Est-ce que le blob respire ? Oui, il consomme de l'oxygène et rejette du dioxyde de carbone, tout comme nous !

Pourquoi le blob rentre parfois en dormance ? Quand les conditions se dégradent (le milieu devient sec et la nourriture vient à manquer), le blob entre en dormance. Il se réveillera lorsque les conditions s'amélioreront.

Combien de sexes a le blob ? On ne parle pas de sexe chez le blob mais de *types sexuels*, il en a 720 !

Est-ce que le blob a été séquencé ? Oui en fin 2015, mais le génome n'a pas encore été assemblé et il n'est donc pas encore annoté ...et donc quasi inutilisable !

Combien de chromosomes a le blob ? On ne sait pas exactement, il en a entre 40 et 90 !

Peut-on couper le blob en morceaux lorsqu'il est réveillé et lorsqu'il est en dormance ? Oui, dans les deux cas cela ne pose pas de problème. Le blob est une *cellule polynucléée*, c'est-à-dire qu'il a plusieurs noyaux et donc plusieurs copies de son matériel génétique. Si vous le coupez en deux, les deux morceaux seront autonomes.

Est-ce que le blob peut fusionner avec n'importe quel blob ? Non le blob peut fusionner uniquement avec des blobs génétiquement identiques et donc appartenant à la même souche.

Est-ce que le blob souffre ? Non, pas au sens où nous concevons la souffrance. Il ne possède pas de terminaisons nerveuses et ne ressent donc pas la douleur. Mais il exprime des réponses comportementales définies comme des réponses au stress lorsqu'il est placé dans des conditions défavorables.

Le blob est-il allergène ? Non le blob n'est pas allergène en phases sclérote et plasmode, mais il peut l'être en phase spores si on les inhale après avoir cassé les sporanges.

Est-ce que les blobs communiquent entre eux ? Oui, les blobs peuvent signaler la présence de nourriture à leur congénère de manière passive via l'excrétion de calcium (substance attractive pour ses congénères) dans l'environnement lorsqu'il mange. Ils peuvent aussi signaler un danger aux autres blobs en excréant des substances encore inconnues dans l'environnement.

Quelles conditions font que les blobs vont entrer en sporulation ? Pour que le blob entre en sporulation, il doit manquer de nourriture et être exposé à la lumière (le blob peut sporuler en milieu humide ou sec).

Quelles conditions font que les blobs vont entrer en phase sclérote ? Pour que le blob entre en sphérotation, il doit manquer de nourriture et être dans un milieu sec et obscur.

Le blob est-il attiré par toutes les lumières colorées ? Le blob perçoit les UV, les lumières blanche et bleue, mais il n'aime pas les trop fortes intensités. Il perçoit également les lumières rouge et verte, mais elles ne le dérangent pas, quelque soit leur intensité.

Le blob est-il sensible au champ magnétique ? Non, pas à notre connaissance.

Comment conserver le plus longtemps possible les sclérototes ? On peut les conserver 30 ans à -80°C ou 2 ans à température ambiante ou un peu plus longtemps s'ils sont conservés au réfrigérateur.

Ressources complémentaires

Conférence Audrey Dussutour – Lancement de l’opération Derrière le blob, la recherche (2022)

<https://www.youtube.com/watch?v=Lw1SZFrVjck>

Conférence Audrey Dussutour – Espace des sciences (2018)

https://www.youtube.com/watch?v=wjzEMl0x_a8

Documentaire « Le blob, un génie sans cerveau »

<https://www.arte.tv/fr/videos/082726-000-A/le-blob-un-genie-sans-cerveau/>

