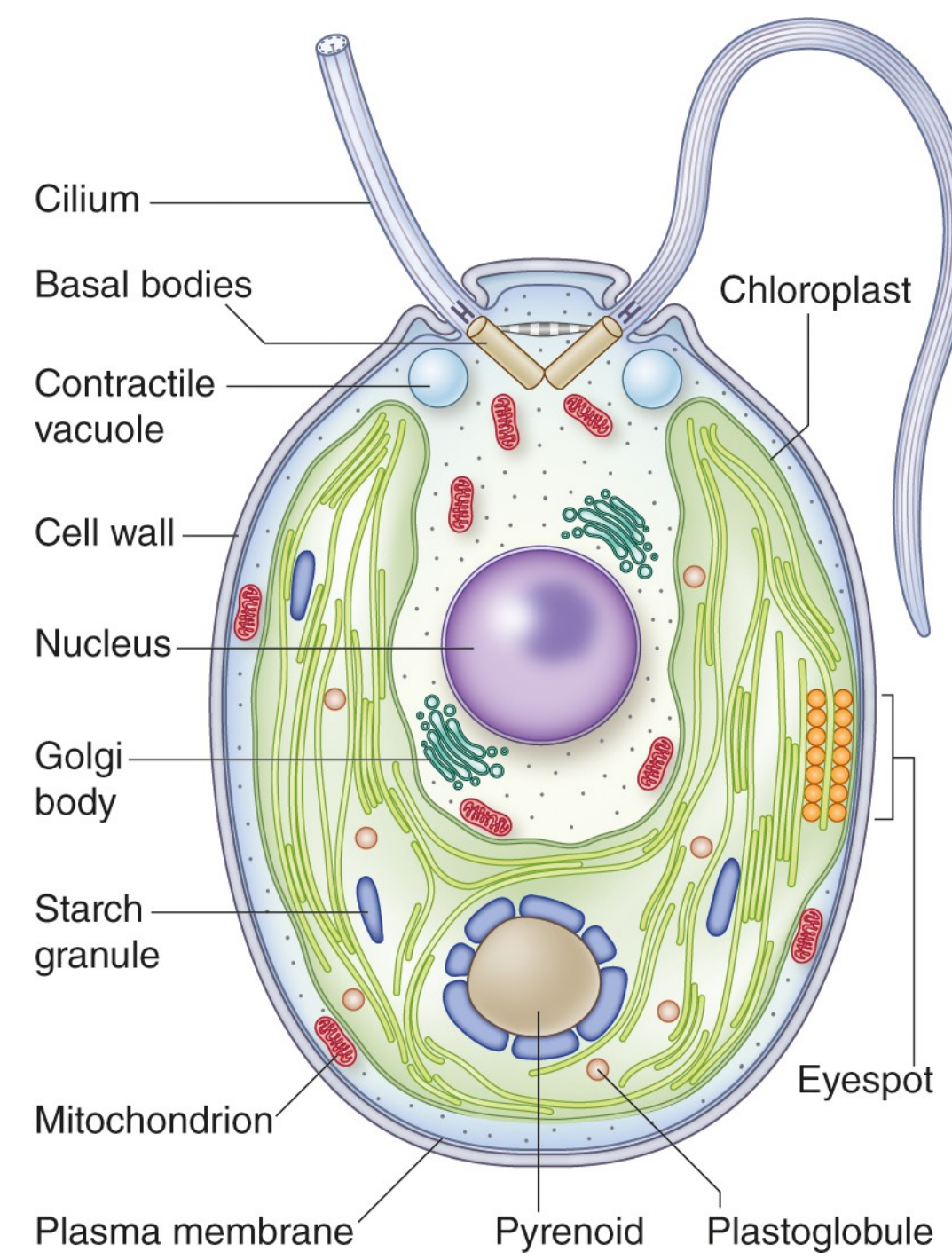


Qui est Chlamydomonas Reinhardtii ?

Chlamydomonas Reinhardtii est une espèce d'algues vertes de la famille des Chlamydomonas. Ce sont des individus monocellulaires, capable de photosynthèse et mobiles. Ses caractéristiques couplées à son génome proche de celui de certains animaux en font une algue très utilisée comme modèle en biologie végétale.

On s'est intéressé aux Chlamydomonas Reinhardtii pour leur réaction au stress unique qui **brise la séparation entre être monocellulaire et multicellulaire**, on pourrait aussi dire assez faussement que Chlamydomonas "saute des milliers d'années d'évolution".

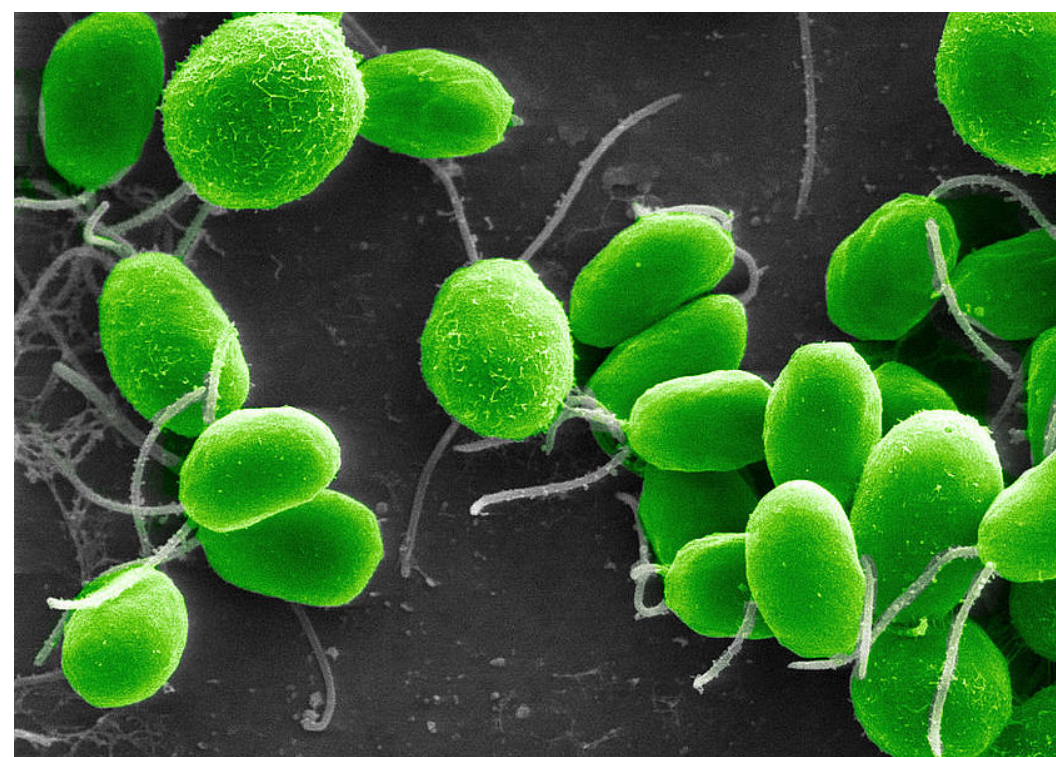
Dans la suite de notre projet nous étudierons plus en profondeur ces réactions...



Stress faible

Pour résister à un stress, les chlamydomonas doivent s'adapter afin de survivre. Il existe différents niveaux de stress qui induisent des réponses différentes des chlamydomonas.

Un stress faible peut être obtenu par des espèces réactives à l'oxygène (ROS) à l'origine d'un stress oxydatif, une exposition aux UV, des sels ou des stress ionique. Bien que ces actions ne causent pas le décès immédiat des chlamydomonas, elles doivent néanmoins **s'adapter pour survivre**. Pour ce faire elles peuvent modifier la composition de leur membrane et ainsi faire varier la perméabilité de celle-ci ou agir sur leurs transporteurs membranaires. De cette façon elles peuvent se protéger de ces types de stress et augmenter leur concentration en calcium ce qui a pour effet de faciliter leur mobilité. Lorsque certains nutriments viennent à manquer, la cellule va recycler certains de ses composants, par autophagie, ou poly-ubiquitylation.



Stress moyen

Confrontées à un stress plus important tel qu'un prédateur, un stress oxydatif plus important, des conditions de pH difficiles ou l'absence de certains éléments, **les Chlamydomonas se regroupent afin de favoriser la survie de la population**. En effet, un prédateur ne pouvant ingérer une proie trop importante, les Chlamydomonas, lorsqu'elles s'assemblent, sont protégées par la taille du groupe. Ces structures multicellulaires peuvent être de deux types différents : les *palmelloïdes* et les *agrégats*.

Les palmelloïdes et les agrégats

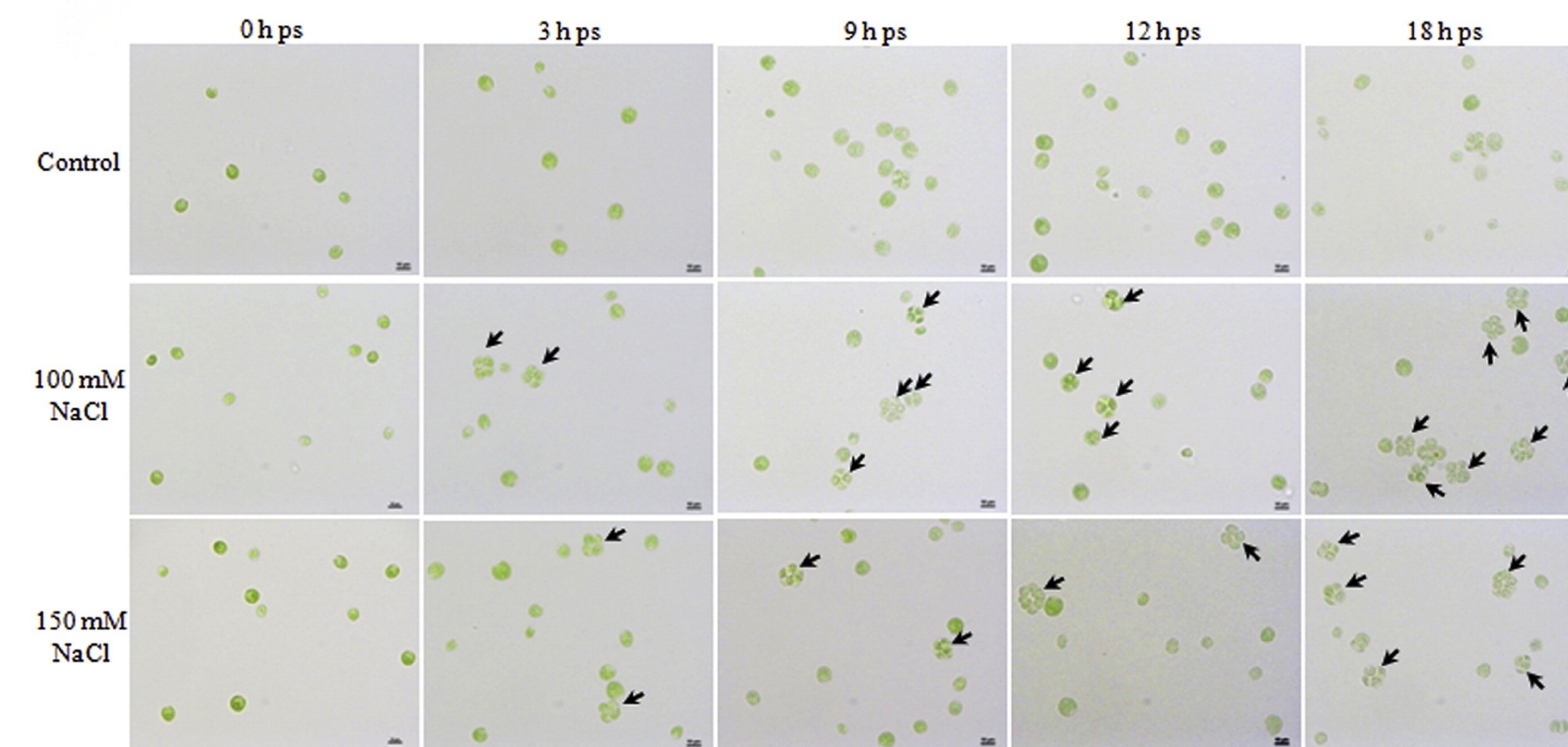
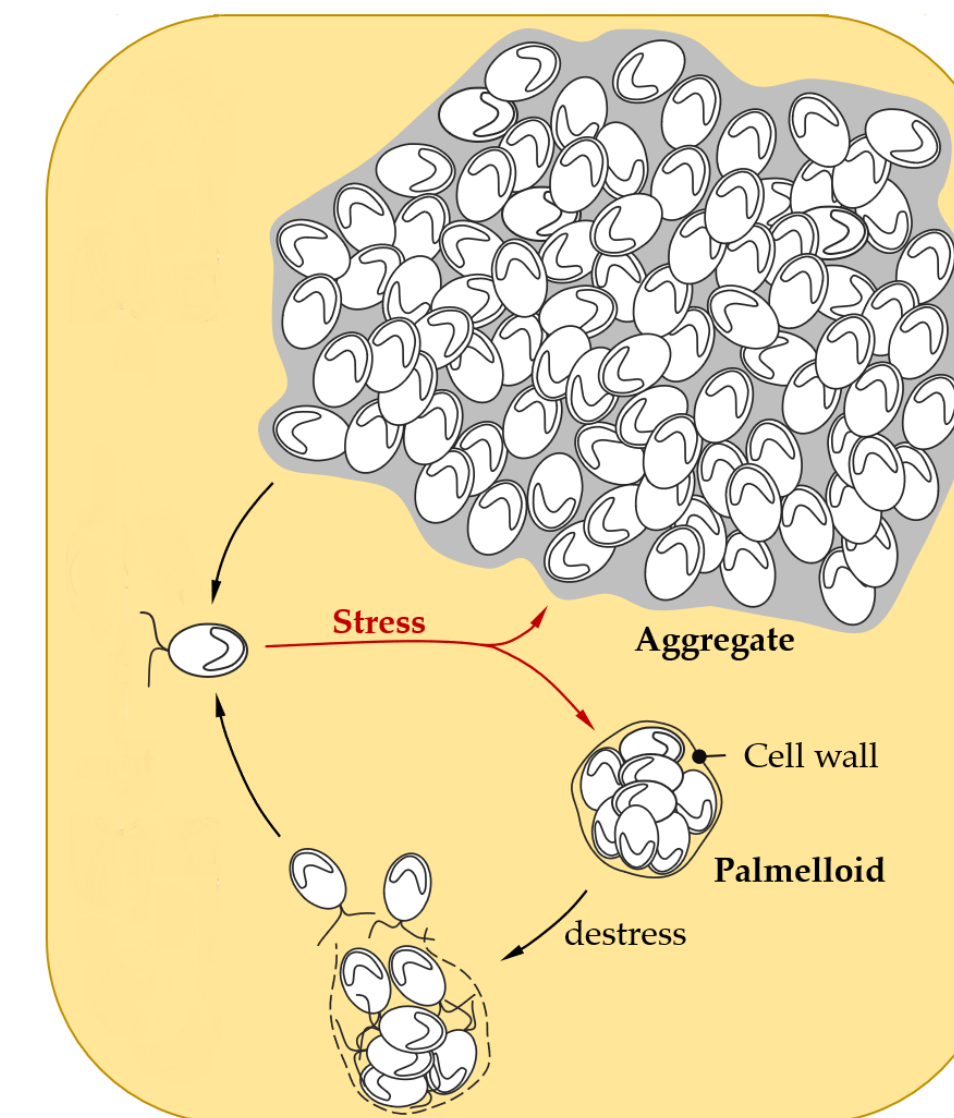


Fig. 1: Agrégat de Chlamydomonas

Les palmelloïdes sont composés de 4 à 16 cellules issues de mitoses successives sans dégradation de la paroi cellulaire. Lorsque le palmelloïde est causé par du NaCl, une matrice d'exopolysaccharides est créée à l'intérieur de celui-ci, probablement pour protéger les cellules. Les agrégats quant à eux sont formés de quelques dizaines à **plusieurs milliers de cellules** reliées par une matrice extra-cellulaire. Cette matrice permet à l'agrégat d'avoir une certaine solidité : les agrégats peuvent former des tissus de plusieurs centimètres suffisamment résistants pour être soulevés sans se déchirer. Lorsqu'une cellule entre dans un agrégat, elle perd sa mobilité. De plus l'agrégat réduit la prolifération des cellules, et peut donc conduire les individus les plus au centre à mourir. **La cellule perd donc des avantages individuels au profit de la survie du groupe.** Lorsque les conditions redeviennent normales, les cellules quittent l'agrégat et retrouvent leur mobilité ainsi que leur capacité à se diviser.



Stress fort

En cas de stress fort des cellules se **suicident pour que les autres survivent**. On ne connaît pas à ce jour la raison concrète de cela mais l'hypothèse la plus probable est que certaines réussissent à trouver un moyen de se défendre contre ce gros stress et qu'elles partagent l'information pour se défendre dans l'environnement aux autres chlamydomonas...

Encore un exemple du fait que cet être monocellulaire peut mettre de côté son individualité pour la survie du groupe.

Cela va même plus loin encore puisqu'en mettant une nouvelle population de Chlamydomonas dans le milieu où ses apoptoses se sont produits, le taux de survie sera extrêmement important. De plus, cette nouvelle population sera comparativement capable de subir un stress plus important avec des conséquences en apparence bien plus faibles.



Notre modèle

Nous avons créé un programme en C qui modélise la vie de ces cellules, et les affiche. Il est possible de télécharger ce programme sur le site compagnon en suivant le lien du QR code, puis le GitHub. Les cellules sont représentées par des cubes et les agrégats par des sphères.

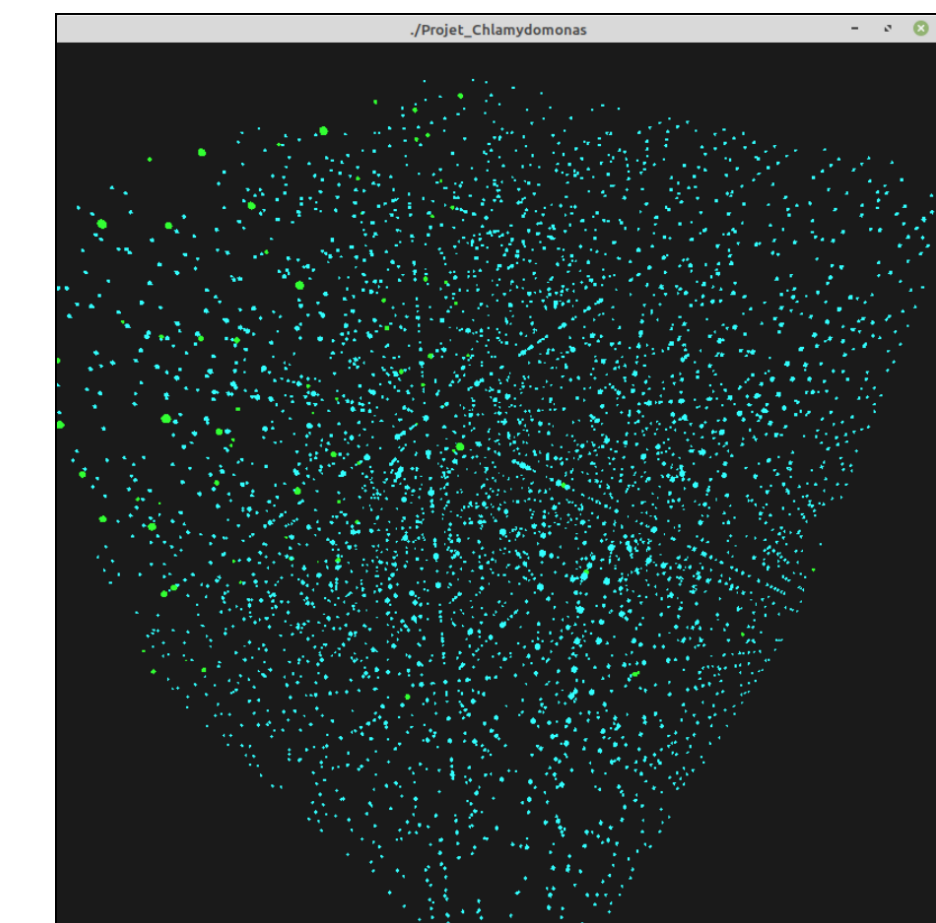


Fig. 3: Modélisation après 12 itérations de temps

Lien avec la multicellularité

On a donc vu que la Chlamydomonas réagit au stress moyen notamment en se concentrant sur la survie du groupe au détriment de ses avantages individuels, allant même jusqu'à se suicider pour les autres ce qui est le comportement classique d'un organisme multicellulaire ! En effet, les cellules n'ont pas toutes le même comportement : certaines meurent pour que les autres survivent, ce qui est le principe de la multicellularité.

La capacité de passer de la monocellularité à la multicellularité des Chlamydomonas a été observé expérimentalement, lorsque les Chlamydomonas sont sélectionnées selon leur masse. On peut pour cela introduire un prédateur qui ne mange que les cellules les plus petites ou permettre uniquement aux cellules les plus lourdes de se reproduire, conservant ainsi les cellules les plus agrégées. Les agrégats obtenus sont appelés des "flocons". On observe alors que les cellules se différencient. Dans un agrégat, les Chlamydomonas perdent leur capacité de reproduction par inhibition de contact : les cellules étant collées aux voisines elles n'ont plus de place pour se reproduire. Pour pallier à ce problème certaines cellules de ces flocons sont programmées pour mourir tôt, permettant ainsi aux autres de se reproduire. Le flocon peut alors proliférer. Ces cellules ont un rôle différent : c'est la différenciation. L'origine de cette différenciation est assez méconnue. L'hypothèse est que les cellules conservent le même patrimoine génétique mais que la fonction de certains d'entre eux change lors de la différenciation des cellules. Cette évolution spectaculaire vers la multicellularité correspond normalement à des millions d'années d'évolution. Bien que les connaissances sur ce phénomène soit encore limitées, l'étude du comportement des Chlamydomonas pourrait améliorer la compréhension de la transition vers la multicellularité.

Références

- [1] F. CARPENTIER, S. D. LEMAIRE et A. DANON. « When Unity Is Strength: The Strategies Used by Chlamydomonas to Survive Environmental Stresses ». In : *Cells* 8 (oct. 2019).
- [2] M. D. HERRON et al. « De novo origins of multicellularity in response to predation ». In : *Scientific Reports* 9 (fév. 2019).
- [3] W. C. RATCLIFF et al. « Experimental evolution of an alternating uni- and multicellular life cycle in Chlamydomonas reinhardtii ». In : *Nature Communications* 4 (nov. 2013).
- [4] A. S. TRIGOS et al. « Altered interactions between unicellular and multicellular genes drive hallmarks of transformation in a diverse range of solid tumors ». In : *PNAS* 114 (juin 2017).