

Le cycle de reproduction asexuée de la paramécie

I- Mise en évidence des conditions optimales au mode de reproduction asexuée.....	2
A) Modes de reproduction.....	2
B) Protocoles de mise en culture et de comptage.....	2
II- L'influence des facteurs abiotiques, sur le cycle de reproduction asexué de la paramécie.....	4
A) L'influence de la température sur la cinétique de croissance.....	4
B) L'influence de la concentration du milieu de culture sur le cycle asexué des paramécies (à faire)....	5
C) Limites expérimentales des mesures des paramètres abiotiques.....	5
III- L'influence des facteurs biotiques sur le cycle de reproduction de la paramécie.....	6
A) Evolution d'une population selon la densité de population initiale.....	6
B) Evolution d'une population selon la concentration initiale en bactéries.....	7
C) Limites expérimentales des mesures des paramètres biotiques.....	8
Conclusion.....	8
Bibliographie.....	9

La paramécie est un unicellulaire cilié communément rencontré dans les eaux douces. Mesurant entre 0.1 et 0.3 mm, sa simplicité fusiforme reconnaissable ainsi que sa grande taille nous permettent de l'étudier facilement. Nous avons donc décidé d'étudier la paramécie *Paramecium tetraurelia* (figure 1) et plus précisément son cycle de reproduction.

↳ Compte tenu de nos limites techniques, nous avons décidé de nous intéresser uniquement à la reproduction asexuée puisqu'il nous a été impossible de distinguer les types sexuels malgré des protocoles de coloration testés.

Notre démarche expérimentale a été adaptée au vu du manque de moyens du laboratoire du lycée. Nous avons disposé de 2 types de souches de laboratoire de *Paramecium tetraurelia* (nomenclature 7 et 8 correspondant respectivement types O et E) ainsi que de bactéries *Klebsiella pneumoniae* pour leur nutrition et de plaques à 3 alvéoles de 1 mL. La division végétative des paramécies est sensible aux paramètres du milieu puisqu'elle dépend de la viabilité, la vigueur et l'alimentation des paramécies.

Néanmoins, comment les paramètres abiotiques et biotiques influencent-ils le milieu de culture des paramécies et donc leur cycle de reproduction asexuée ?

Nous avons ainsi mis en évidence les conditions optimales pour établir le témoin de la croissance des paramécies, puis étudié les variations abiotiques et biotiques influençant le cycle de reproduction.

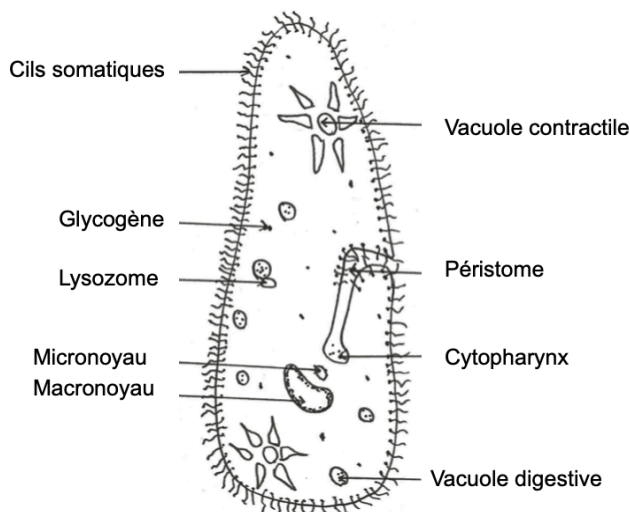


Figure 1: Structure d'une paramécie

(mettre une photo de lame de paramécie à côté en **figure 2**)

espa u
x

I- Mise en évidence des conditions optimales au mode de reproduction asexuée

A) Modes de reproduction

Le macronucléus, polyploïde, contrôle le métabolisme et la croissance du microorganisme. Le micronucléus à rôle génétique intervient dans la reproduction. En conditions favorables, la paramécie se divise par scissiparité transversale. Ce processus constitue un cycle cellulaire complet. Les deux noyaux se divisent simultanément, le micronoyau par une sorte de caryocinèse mitotique et le macronoyau par un simple étranglement. La cytotédiérèse se réalise par un étranglement transversal (figure 2). Cette reproduction asexuée explique la multiplication rapide des paramécies dans un milieu favorable. En conditions défavorables, la paramécie réalise un échange de noyaux après une méiose qui s'apparente à une reproduction sexuée. Nous avons donc tenté d'observer des figures de conjugaison par coloration au rouge carmin aluné par le biais d'une caméra *CMEX*® pour microscope optique et du logiciel associé. Néanmoins, nous avons observé que les paramécies se déformaient au cours du temps et leur vitesse de déplacement diminuait progressivement en moins de 2 heures. Nous avons aussi essayé d'effectuer l'observation sans coloration mais nous n'avons pas pu observer de figure de conjugaison une fois encore. De ce fait, nous avons décidé, faute de matériel adapté, de n'étudier que le mode de reproduction asexuée, étant le mode de reproduction le plus courant.

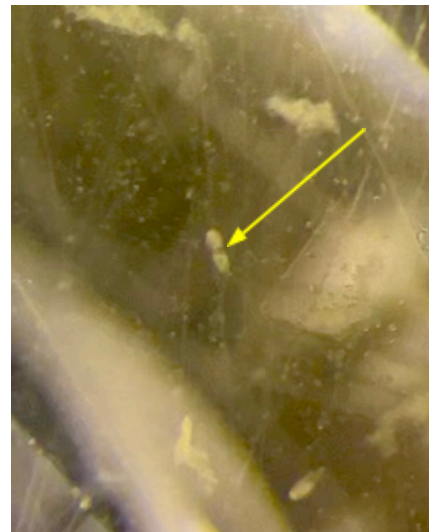
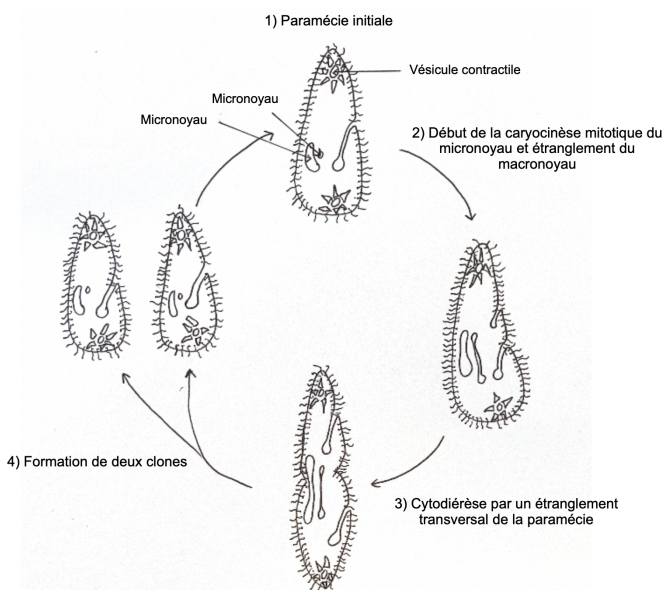


Figure 3: cycle de reproduction asexuée de la paramécie **Figure 4:** photo d'une paramécie en cours de division au stade 3 (loupe binoculaire x16)

B) Protocoles de mise en culture et de comptage

D'abord, nous préparons une infusion de poudre d'herbe de blé (WGP), ensuite tamponné à pH 7 dans lequel est injecté de la β -Sitostérol permettant le maintien de la fluidité membranaire pour la phagocytose des paramécies [2][4]. Les bactéries *Klebsiella pneumoniae* conservées sur un gel d'agar sont prélevées avec une spatule et incorporées dans le milieu.

Les paramécies sont mis en culture hebdomadairement. Au vu des volumes des alvéoles, nous devons ~~conserve~~ un milieu humide tout en maintenant l'apport d' O_2 d'où l'utilisation d'un film alimentaire avec une ouverture. Les manipulations sont faites à proximité d'un bec électrique et le milieu est stérilisé à l'autoclave avant l'ajout de bactéries pour assurer les conditions les plus stériles possibles.

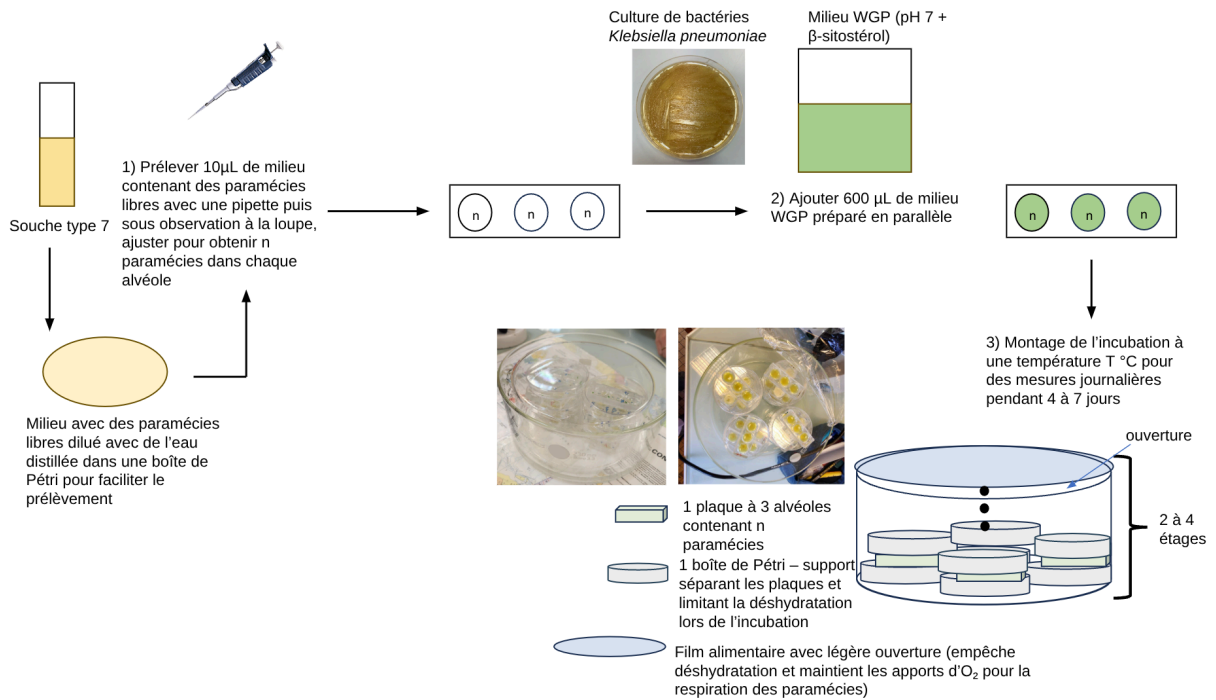


Figure 5: Schéma du protocole de mise en culture

Protocole de suivi de l'évolution d'une population et méthode de comptages

Nous mettons en culture 18 plaques contenant n paramécies. Chaque personne du groupe est responsable de 6 plaques dont une de secours, en cas d'extinction aléatoire de la population d'une alvéole au cours de la semaine. Une plaque est associée à un jour pour que le comptage n'impacte pas l'effectif total et l'évolution de la population au cours du temps, puisque la reproduction sexuée se fait exponentiellement par division. Chaque jour, nous comptons le nombre de paramécies selon le protocole suivant:

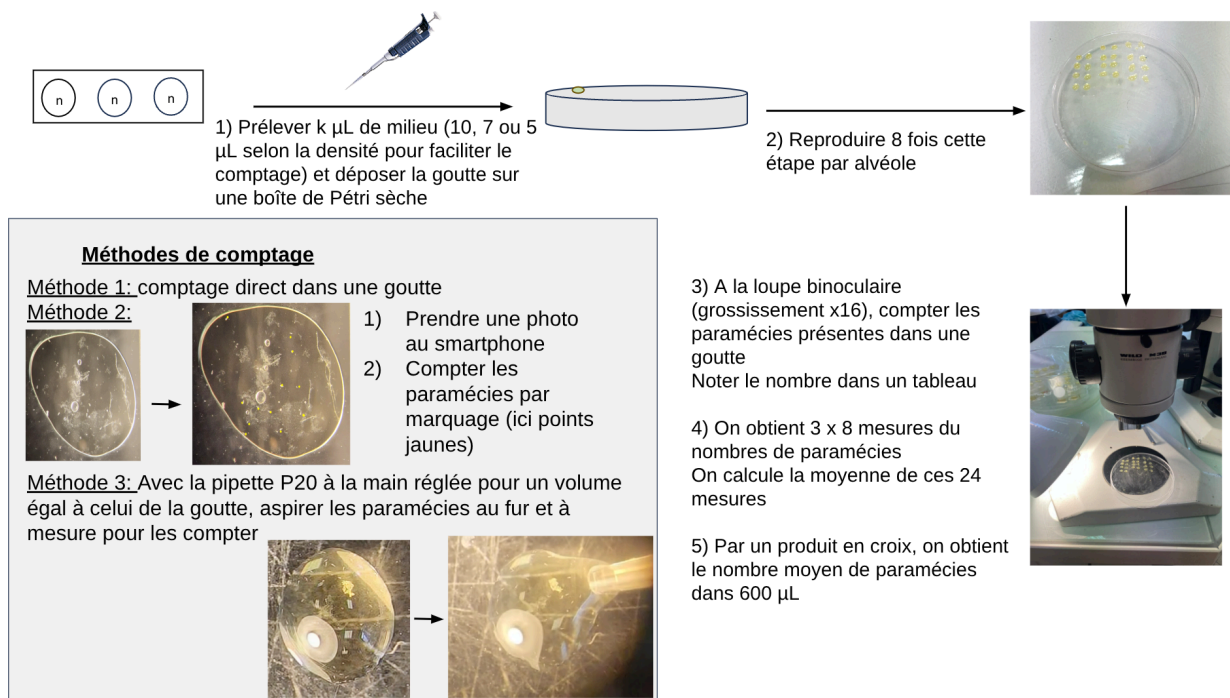


Figure 6: Schéma du protocole de comptage

Les conditions générales suivantes ont été respectées pour les différentes expériences sur les paramécies [6]:

- prélèvement des individus à mettre en expérience, dans le tube-mère, à partir de la même souche.
- Pour chaque expérience, un échantillon est prélevé "au hasard" parmi une population de même type sexuel (même caractère génétique) sur différentes zones de l'alvéole après une légère homogénéisation de la solution contenant les tests avec l'embout de la pipette. Les 24 échantillonnages sont donc aléatoires, indépendants et permettent d'établir une moyenne statistique plus précise pour notre interprétation.

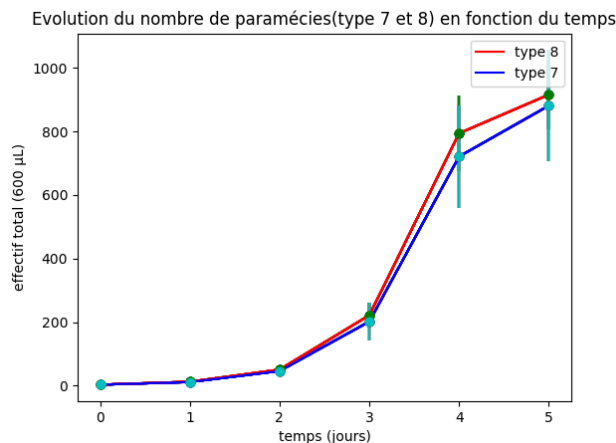
X

C) Expériences de référence sur les 2 souches sexuelles, O et E (type 7 et 8)

En premier lieu, nous étudions la croissance des types 7 et 8 en conditions optimales (à 27°C dans un milieu WGP conforme au protocole[3]) pour déterminer si leur évolution diffère selon le type sexuel.

Nous supposons que la division asexuée est un clonage où se produit une réplication du matériel génétique sans méiose donc sans brassage. La division cellulaire ne serait donc pas déterminante d'une modification phénotypique qui pourrait affecter la vitesse de multiplication des paramécies quelque soit leur type sexuel. De plus, la croissance d'une population devrait être sigmoïde, selon le modèle logistique, puisque la croissance exponentielle n'est qu'un modèle théorique où les ressources sont illimitées[9]. Chaque jour, 9 mesures sont prises dans 9 alvéoles différentes contenant initialement 3 paramécies.

Voici les résultats obtenus:



jours	type 7	type 8
0	3	3
1	11,3	12,3
2	46	50,7
3	201,7	221,7
4	721,3	794,3
5	881,3	916

Figure 7: Evolution du nombre de paramécies selon le type sexuel en fonction du temps

* Les barres d'erreurs correspondent à un intervalle de confiance à 95% calculé à l'aide du coefficient de Student.

Analyse des résultats:

D'après les résultats de la figure 4, la multiplication végétative des paramécies se fait bien selon une courbe sigmoïde, ce qui est cohérent avec le modèle logistique. De plus, nous observons que la cinétique de croissance des deux populations est semblable. En outre, comme les barres d'erreurs se recoupent, le choix du type 7 ou 8 pour la réalisation de la suite de nos expériences, n'a pas d'impact ni de différences significatives quant à l'étude de leurs croissances. Nous avons donc fait le choix arbitraire de n'étudier que le type 7.

II- L'influence des facteurs abiotiques, sur le cycle de reproduction asexué de la paramécie

Les facteurs abiotiques correspondent à l'ensemble des paramètres physico-chimiques du milieu pouvant influencer la croissance et la dynamique d'une population. Dans notre étude, nous nous sommes principalement intéressées à l'influence de la température et de la concentration en WGP du milieu, tous deux susceptibles de modifier la croissance des paramécies

A) L'influence de la température sur la cinétique de croissance

Nous voulons tout d'abord tester plusieurs hypothèses concernant l'influence de la température sur la croissance des paramécies. Celles-ci étant:

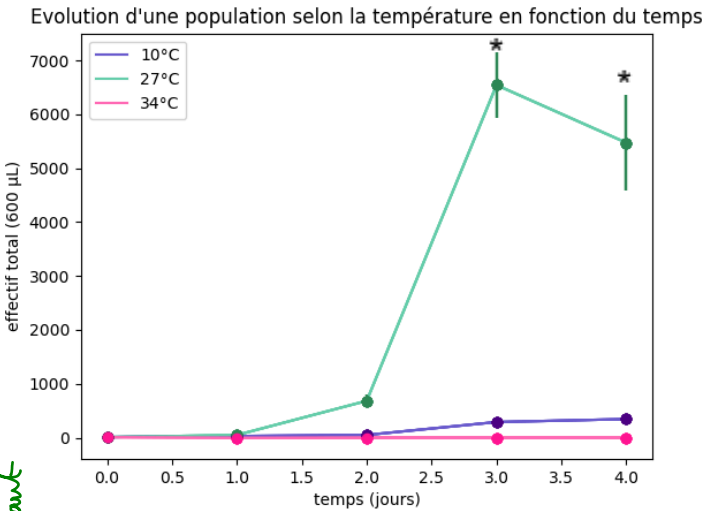
- Une faible température pourrait ralentir le cycle de division des paramécies [4].
- Les paramécies meurent à partir d'une certaine température, nous voulons alors la déterminer.
- L'optimum thermique connu de l'espèce se situe à 27°C [4][5]

Nous avons donc initialisé trois cultures contenant 10 paramécies chacune et maintenues à des températures différentes : 10°C, 27°C et 34°C. Ces valeurs ont été choisies pour couvrir un spectre allant

d'une température basse, à l'optimum thermique, jusqu'à une température proche du seuil létal. Les populations ont été dénombrées quotidiennement pendant 4 jours, en prenant 12 à 19 mesures pour les tests et 36 mesures pour le témoin. Les barres d'erreurs témoignent de l'incertitude à la moyenne des mesures.

Nous supposons que les bactéries n'ont pas d'influence significative sur le test de température.

Nous obtenons les résultats suivants:



jours	10°C	27°C	34°C
0	10	10	10
1	30	48,75	0,05
2	50	683,63	0
3	290	6543,3	0
4	345	5473	0

Figure 8: Evolution du nombre de paramécies selon la température en fonction du temps

Analyse des résultats:

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une différence significative entre la croissance des paramécies à la température optimale de croissance des paramécies renseignée dans la bibliographie [2], le témoin et les autres températures.

Pour 34°C, les paramécies meurent à partir du premier jour. Cela confirme notre hypothèse qu'il existe une température létale inférieure ou égale à 34°C.

Pour 10°C, les paramécies se multiplient à une vitesse inférieure (calculer) pour atteindre un seuil environ 17 fois inférieur au seuil de saturation du témoin. Cela est en accord avec le fait que le métabolisme des paramécies est ralenti à des températures faibles.

Ces résultats nous permettent donc de déduire que la température de 27°C renseignée dans la bibliographie est bien la plus optimale. Cependant, le test de 34°C ne permet pas de conclure sur la température exacte létale aux paramécies. Il faudrait tester des températures intermédiaires entre 29°C et 32°C.

B) L'influence de la concentration du milieu de culture sur le cycle asexué des paramécies (à faire)

Nous avons mis en culture 10 paramécies dans 3 milieux de culture de concentration différentes : 1, 1/125, ...

C) Limites expérimentales des mesures des paramètres abiotiques

Après la réalisation de ces expériences, nous pouvons dégager plusieurs limites:

- Il faudrait observer le comportement d'une même population pendant plusieurs semaines. Or, le comptage ne nous permet pas de conserver un effectif constant ce qui fausserait les valeurs mesurées les jours suivants. La croissance étant exponentielle au début, les incertitudes le seraient aussi. De plus, il faudrait aussi prendre en compte l'influence de la perturbation des biofilms bactériens lors des "repiquages" qui pourraient être un stress pour les paramécies.

J'ai 1 souci avec cette conclusion: il faudrait pouvoir incuber à 26°C et mentionner que 27 n'est bien + haut

C majore mde X

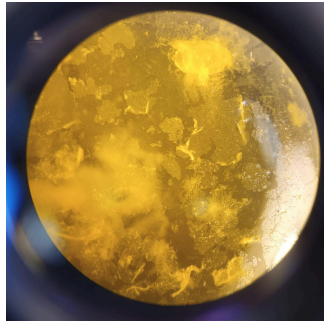


Figure 10: Observation d'une alvéole à la loupe binoculaire (x16), biofilm fragmenté après l'homogénéisation

- La température pour 10°C représente l'incubation à température ambiante, sans chauffage en hiver, renseignée par un thermomètre à mercure laissé dans la salle. On a donc une incertitude concernant cette valeur supposée constante.

- La croissance des bactéries pourrait être un facteur limitant puisque ce sont supposément les seules ressources nutritives pour les paramécies. Leur prolifération déterminent donc la disponibilité en ressource et la compétition intraspécifique. Il n'est pas possible ici de déterminer si ce sont les paramécies à 27°C qui consomment plus rapidement les bactéries ou si c'est la population en bactérie qui varie significativement.

III- L'influence des facteurs biotiques sur le cycle de reproduction de la paramécie

Les facteurs biotiques désignent l'ensemble des interactions vivant-vivant susceptibles d'influencer la dynamique d'une population. Pour nos cultures, nous avons étudié deux facteurs biotiques majeurs: la densité initiale de la population (compétition intraspécifique) et la concentration initiale en bactéries du milieu (disponibilité de la ressource trophique).

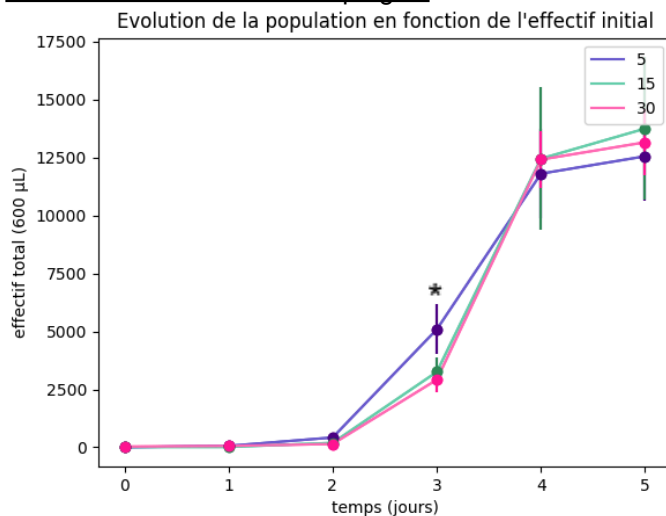
A) Evolution d'une population selon la densité de population initiale

Nous nous sommes demandé quelle était l'influence de la densité de population initiale sur la reproduction asexuée des paramécies. Nous avons émis plusieurs hypothèses:

- la croissance serait d'autant plus rapide que la population est grande (effet de masse)
- due à la compétition pour les ressources, la croissance s'effectuerait plus lentement
- due à la capacité limite du milieu, le nombre de paramécies finales serait quasiment identiques pour chacun des tests

Nous avons donc initialisé trois cultures avec des densités différentes de paramécies - 5, 15 et 30 individus - dans des alvéoles en présence d'une quantité égale en ressources (bactéries). Nous avons suivi les populations pendant 5 jours par comptage journalier, en prenant 20 à 24 mesures.

Résultats des différents comptages:



jours	5 individus	15 individus	30 individus
0	5	15	30
1	62,5	15	60
2	425	192,9	145,3
3	5090	3255	2917,9
4	11808,3	12456	12416,8
5	12558,3	13752	13162,1

Figure 11: Evolution de la population en fonction de la densité initiale de population au cours du temps

Analyse des résultats:

Les résultats révèlent des dynamiques possédant des similitudes mais aussi des divergences.

Tout d'abord, les trois populations semblent atteindre le même plateau au jour 5 (environ 16000 paramécies). Cette convergence est biologiquement logique: elle indique que la capacité limite du milieu est indépendante de la densité initiale, mais est peut-être déterminée par les ressources disponibles telle que la concentration bactérienne, que nous testerons par la suite. Cela confirme notre dernière hypothèse.

Les différences portent sur les cinétiques d'approche de ce plateau.

Soit r le taux d'accroissement intrinsèque de la population et $r = \frac{N(t+1) - N(t)}{N(t)}$, $N(t)$ l'effectif total à l'instant t , $\frac{dN}{dt} = rN$ (pour la phase exponentielle entre 2 et 4 jours. [9] d'où la vitesse d'accroissement $v = \frac{N(t+1) - N(t)}{1 \text{ jour}}$)

On obtient donc le tableau suivant:

$$r = \frac{N(t+1) - N(t)}{t+1-t} = \frac{N(t+1) - N(t)}{1 \text{ jour}}$$

à rendre + j'ai avec l'édition d'équation (je peux vous aider si pbème...)

je ne le comprend pas vos formules (est-ce que ça signifie) D'accord

jours	vitesse d'accroissement $\frac{dN}{dt}$		
	5 individus	15 individus	30 individus
0	0	0	0
1	57,5	0	30
2	362,5	177,9	85,3
3	4665	3062,1	2772,6
4	6718,3	9201	9498,9
5	750	1296	745,3

La population débutant avec seulement 5 individus présente une croissance très rapide entre les jours 2 et 4. À l'inverse, les populations initialement plus denses montrent une augmentation plus progressive.

Une faible densité initiale peut limiter les interactions entre individus au début, retardant légèrement la croissance. En revanche, une fois la phase d'adaptation passée, la multiplication devient très rapide. Pour les populations plus importantes dès le départ, la compétition pour les ressources apparaît probablement plus tôt, ce qui ralentit progressivement l'augmentation de l'effectif. Notre deuxième hypothèse s'avère donc être validée.

Figure 12: évolution de la vitesse d'accroissement en fonction du temps

Les barres d'erreur visibles sur le graphique indiquent également une certaine variabilité entre les comptages expérimentaux, particulièrement au jour 3. Malgré cette variabilité, la tendance générale reste la même pour les trois populations : une croissance rapide suivie d'une stabilisation.

B) Evolution d'une population selon la concentration initiale en bactéries

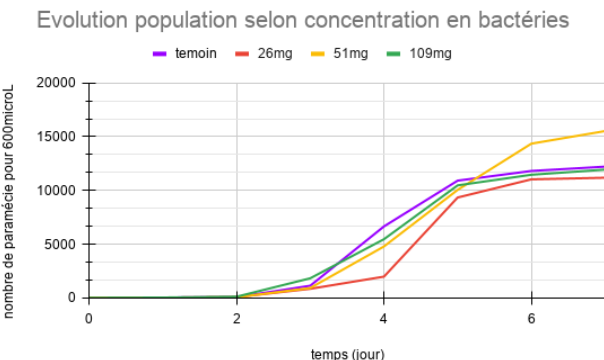
Etant donné le problème posé par l'importance de la quantité de nourriture pour des volumes importants nous avons cherché à connaître dans quelles proportions celle-ci influence la division des paramécies.

Nous avons voulu tester plusieurs hypothèses:

- nourrir la paramécie avec un nombre plus important de bactéries contribue peut-être à favoriser la division [6]
- peut-être qu'il existe un seuil bactérien nécessaire à la division de la paramécie. En dessous de ce seuil la paramécie pourrait peut-être mourir sans se diviser [6]
- pour un même volume, le temps de division est d'autant plus long que la quantité bactérienne est faible [6]

Pour se faire, nous avons initialisé quatre cultures de 10 paramécies contenant des concentrations initiales en bactéries différentes : une condition témoin négatif sans bactéries ajoutées, une condition de faible concentration (...mg/L), une de concentration standard (... mg/L) et une de forte concentration (... mg/L). Nous avons ensuite suivi les populations pendant 5 jours en prenant 24 mesures par tests.

Résultats des différents comptages: (à refaire car non cohérents)



jour	témoin	0,13mg/mL	0,26mg/mL	0,55mg/mL
0	10	10	10	10
1	34,3	33,3	20	37,5
2	77,5	70	60	113,3
3	1135	846,7	923,3	1826,7
4	6650	1978,6	4786,7	5461,4
5	10910	9340	10050	10470
6	11810	11030	14350	11456
7	12210	11180	15520	11933,33

Analyse des résultats:

C) Limites expérimentales des mesures des paramètres biotiques

à reprendre: (Tout d'abord, le résultat paradoxal de la condition témoin (partie B), remet en question la qualité de notre population témoin. Il est probable que notre milieu de culture n'était pas stérile, ce qui invalide partiellement la comparaison entre les conditions. Pour pallier cela, un milieu autoclavé et un suivi de la concentration bactérienne auraient été nécessaires.

De plus, nous n'avons pas suivi l'évolution de la concentration en bactéries résiduelles au cours du temps. Or, c'est précisément la dynamique de consommation de la ressource et non sa concentration initiale seule qui gouverne la boucle de rétroaction trophique. Un suivi couplé paramécies/bactéries aurait permis de modéliser un système proie-prédateur.

Enfin, toutes les cuves de la partie B ont été initialisées avec le même nombre de paramécies nominalement, mais la variabilité du prélèvement initial (difficulté de pipeter précisément des cellules vivantes et mobiles) peut introduire des différences de densité initiale entre conditions, confondues avec l'effet de la concentration bactérienne.)

Conclusion

Notre TIPE avait ainsi pour objectif d'explorer comment les paramètres du milieu de culture, abiotiques et biotiques, modulent le cycle de reproduction asexué de la paramécie. Nos résultats expérimentaux, bien que soumis aux limites de nos protocoles de terrain en conditions non stériles, nous ont permis de dégager plusieurs conclusions en accord avec les thèses déjà faites. Premièrement, la température exerce un contrôle déterminant sur la vitesse du cycle de scissiparité. L'optimum thermique à 27°C génère une croissance vive, tandis que 10°C ralentit considérablement le cycle sans l'interrompre, et que 34°C conduit à une mortalité totale. Deuxièmement, la densité initiale de population n'affecte pas la capacité limite, mais influence la vitesse à laquelle le plateau est atteint. Cette observation confirme que la capacité est une propriété du milieu et non de la population. Néanmoins, en comparant la valeur limite asymptotique de chaque courbe pour chacune de nos expériences, nous constatons que celle-ci diffère. Ainsi, nous pouvons supposer que la densité initiale de paramécies ne modifie pas la valeur asymptotique mais rend la population plus vulnérable à l'extinction, d'où cette différence significative. Enfin, la concentration initiale en bactéries influence la vitesse de croissance au cours des premiers jours, mais toutes les conditions convergent vers un plateau similaire, une fois les ressources épuisées. La boucle de rétroaction trophique, consommation des bactéries par les paramécies, appauvrissement du milieu, freinage de la reproduction, est ainsi au cœur de la régulation du cycle de scissiparité.

Malgré cela, en comparant la valeur limite asymptotique pour chacun des tests effectués, nous constatons que celle-ci diffère. Nous pouvons supposer que la densité initiale de paramécies ne modifie pas la valeur asymptotique mais rend la population plus vulnérable à l'extinction. De plus, les incertitudes liées au protocole pourraient être à l'origine de cette différence significative.

En perspective, plusieurs pistes d'approfondissement pourraient être étudiées tel que le passage à la conjugaison. Ce mode de reproduction sexuée permettrait d'explorer une boucle supplémentaire, celle d'une régénération génétique mais, cela nécessite un microscope à fluorescence permettant d'observer l'échange de micronoyaux lors d'une conjugaison entre paramécies. De plus, un suivi couplé de la concentration bactérienne et des effectifs de paramécies permettrait de tester un modèle proie-prédateur de type Lotka-Volterra.

Remerciements

Nous remercions Madame Mireille Bétermier du Centre de Génétique Moléculaire du C.N.R.S de Gif-sur-Yvette, pour son accueil, son aide, sa disponibilité et sa bienveillance.

Bibliographie

- [1] 8 juillet 2025, Fondation pour la Recherche Médicale, [consulté le 15/09/2026]
<https://www.frm.org/fr/actualites/la-paramécie-un-organisme-unicellulaire-microscopique-qui-veille-l-interêt-des-chercheurs>
- [2] O. ARNAIZ, 5 avril 2022, ParameciumDB, [Protocols_Paramecium cultures_Media] [consulté le 06/10/2026]
<https://paramecium.i2bc.paris-saclay.fr/docs/index.php/Media>
- [3] O. ARNAIZ, 5 avril 2022, Media, ParameciumDB, [Protocols_Paramecium cultures_Mass cultures], [consulté le 06/10/2026]
- [4] N. ESCOUBET, (2023) , "Comportement en milieu encombré de la paramécie" , HAL theses
https://theses.hal.science/tel-04135045v1/file/ESCOUBET_PENDOLA_these_2023.pdf [consulté le 02/04/2026]
- [5] M. BAZIN-GELIS, 2024, "Etude du complexe impliqué dans l'élimination programmée d'ADN pendant la différenciation du noyau somatique chez Paramecium tetraurelia", HAL theses
<https://theses.hal.science/tel-04368449v1> [consulté le 02/04/2026]
- [6] E. OBRY, 1971, "Introduction à l'étude expérimentale des facteurs de multiplication de quelques ciliés"
https://pepite-depot.univ-lille.fr/LIBRE/Th_Num/1971/50376-1971-32-1.pdf [consulté le 02/04/2026]
- [7] J. BEISSON, M. BETERMIER, M-H BRÉ, J. COHEN, S. DUHARCOURT, 2010, "Mass Culture of Paramecium tetraurelia",
https://www.researchgate.net/profile/Mireille-Betermier-2/publication/41424532_Mass_Culture_of_Paramecium_tetraurelia/links/5d107f6b92851cf440464be1/Mass-Culture-of-Paramecium-tetraurelia.pdf [consulté le 03/04/2026]
- [8] H. TOYOTAMA, Y. NAKAOKA, "Effect of Temperature on the Swimming Velocity of Triton-Extracted Models of Paramecium caudatum",
https://www.jstage.jst.go.jp/article/csf1975/4/1/4_1_35/_pdf/-char/en [consulté le 12/05/2026]
- [9] F. RAMADE (1976). Éléments d'écologie appliquée. EDISCIENCE MCGRAW-HILL, 525 pages. [Pages consultées: p.115-117]