

Influence de la lumière et de la température sur la croissance de quatre espèces d'algues d'un lac eutrophe (Lac d'Aydat, Puy de Dôme, France)

L. Boumnick¹
A. Dauta²
J. Devaux¹
J.C. Romagoux¹

Mots clés : phytoplancton, taux de croissance, lumière, température.

L'interdépendance de la lumière et de la température est étudiée en milieu fini et en conditions nutritives non limitantes sur des cultures monospécifiques non axéniques de quatre espèces : *Fragilaria crotonensis*, *Anabaena macrospora*, *Staurastrum pingue* et *Coelastrum cambricum*. Les taux de croissance maximum sont respectivement de 0.57, 0.63, 0.77 et 1.4 day^{-1} , associés à des températures de 25, 25, 27 et 35° C et des lumières optimales de 150, 170, 270 et 290 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Ces résultats obtenus, dans une plage de température 10-35° C et pour des lumières comprises entre 5 et 800 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, sous une photopériode de 15/9, sont ajustés par des modèles.

Influence of light and temperature on the growth of four algae from a eutrophic lake (Lake Aydat, Puy de Dôme, France)

Keywords : phytoplankton, growth rate, light, temperature.

The interdependence between light and temperature was studied in batches and in non nutrient-limited conditions for single strain, non axenic cultures of four species : *Fragilaria crotonensis*, *Anabaena macrospora*, *Staurastrum pingue* and *Coelastrum cambricum*. The maximum growth rates were found to be 0.57, 0.63, 0.77 and 1.4 day^{-1} , respectively at temperatures of 25, 25, 27 and 35° C and light intensities of 150, 170, 270 and 290 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Results were obtained over a temperature range of 10 to 35° C and light intensities between 5 and 800 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ under a 15/9 photoperiod and were adjusted by a model.

1. Introduction

Au sein des écosystèmes limniques et océaniques, la biomasse phytoplanctonique se résume le plus souvent à la succession d'un nombre limité d'espèces dominantes qui constituent la fraction la plus productive, dont le développement peut être dû

soit à des facteurs physiques, chimiques et/ou biologiques (Reynolds 1984). Cependant il s'est avéré indispensable de ne plus considérer le peuplement phytoplanctonique comme une entité indivisible : diverses composantes peuvent être distinguées sur la base des caractéristiques physiologiques de chaque espèce selon leurs réponses aux changements de milieu (Canale et al. 1976, Bierman 1976).

Grand nombre de travaux consacrés à l'étude écophysiologique des algues, ont montré qu'il existe des interactions complexes entre lumière-température et les nutriments (Steeman-Nielsen & Jorgensen 1968). Le taux instantané (μ) d'une

1. Groupe de Zoologie et Protistologie, URA CNRS 138, Université Blaise-Pascal Clermont II, 63177 Aubière Cedex, France.

2. Laboratoire d'Hydrobiologie, Université Paul-Sabatier, UA 695 du CNRS, 118, route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex, France.

Etude réalisée dans le cadre du programme PIREN : Cycle biogéochimique du phosphore.

population représente l'action de ces paramètres lorsqu'ils s'éloignent des valeurs optimales, affectant le taux maximal spécifique de croissance (Dauta 1982). Ceci peut être résumé dans l'expression suivante :

$$\mu = \mu_{\max} * \text{RedI} * \text{RedT} * \text{RedP} * \text{RedN} \quad (1)$$

< - terme 1 - > < - terme 2 - >

où RedI, RedT, RedN et RedP représentent respectivement la réduction par la lumière, la température, l'azote et le phosphore.

Lorsque les éléments nutritifs sont présents en excès, la croissance devient une fonction de la lumière et de la température (Morgan & Kalff 1979) dont les effets écologiques sont inséparables, en raison de l'étroite relation entre le métabolisme et la saturation en lumière (Wetzel 1983).

$$\mu = \mu_{\max} * \text{RedI} * \text{RedT} \quad (2)$$

< - terme 1 - >

2. Matériel et méthodes

2.1. Choix des espèces

Les espèces étudiées font partie des algues les plus représentatives de la biomasse lors des fleurs d'eaux observées entre 1983 et 1986 dans le lac d'Aydat (Alaoui & Siriki 1985, Aleya & El Magouri 1987) ; elles ont été isolées par Romagoux et Boum nich.

Il s'agit de :

- *Fragilaria crotonensis* Kitton
- *Anabaena macrospora* Klebahn
- *Staurastrum pingue* Teilling
- *Coelastrum cambricum* Archer

2.2. Milieu de culture

Le milieu de culture utilisé est celui proposé par Dauta (1982). Totalement minéral, il évite toute prolifération bactérienne et son équilibre chimique autorise des cultures de longue durée. Afin de prévenir un appauvrissement du milieu en dioxyde de carbone (CO₂), les cultures sont fortement bullées (0.5 l. air.l⁻¹ de culture. mn⁻¹) avec de l'air comprimé filtré (filtre de 1 µm) insufflé à la base des flacons.

Pour certaines espèces qui exigent la présence de matière organique pour se développer (Provasoli 1958), ce qui est le cas de *Fragilaria crotonensis* et *Anabaena macrospora*, le milieu est enrichi en vitamines (Thiamine 0.1 mg. l⁻¹ ; Vit. B₁₂ 0,5 µg. l⁻¹ et Biotine 0.5 µg.l⁻¹) et ajusté à un pH de 7,6 par de l'HCL dilué.

L'éclairage est donné selon un cycle de 15/9 (15 h de lumière pour 9 h d'obscurité) par des tubes fluorescents blancs (type cool-white) ou par des lampes PhytoClaude de 400 Watts. La mesure des lumières incidentes a été réalisée à l'aide d'un quantamètre Li-Cor 185 A.

2.3. Protocole expérimental

La souche mère utilisée est maintenue en phase exponentielle par des repiquages fréquents (2 à 3 j) dans un milieu riche en nutriments et dans des conditions héliothermiques suboptimales. Avant l'expérience destinée à la mesure du taux de croissance (I,T), la culture est placée 24 heures à l'obscurité (synchronisation et non préadaptation à la lumière). Au début de l'expérience, la culture est largement diluée dans un milieu neuf pour éviter tout effet d'auto-ombrage.

Pour chaque température, la culture diluée est répartie dans une série de flacons (erlens de 300 ml) avec bullage sous un éclairage vertical, dont les intensités lumineuses sont comprises entre 5 et 800 µE.m⁻².s⁻¹.

Le taux de croissance est déterminé à partir de la densité optique (mesuré à 750 nm dans une cuve de 5 cm), représentative de la biomasse, mesurée au début du cycle lumineux (t₁) et après 24 h d'incubation (t₂). Le taux de croissance est calculé par la formule suivante :

$$\mu = (t_2 - t_1)^{-1} \text{Ln} (A_2/A_1).$$

3. Résultats

Les figures 1 à 4 reportent les taux de croissance enregistrés à 6 températures (10, 15, 20, 25, 30 et 35° C) et des lumières comprises entre 5 et 800 µE.m⁻².s⁻¹. La relation liant le taux de croissance à la lumière peut être décrite au moyen de plusieurs équations dont celles de Smith (1936), Steele (1962) ou Peeters & Eilers (1978). Nous avons retenu cette dernière formule qui tient compte de l'effet inhibiteur des fortes intensités lumineuses sur la croissance algale.

La chlorophycée *Coelastrum cambricum* montre le taux de croissance le plus élevé 1,4.j⁻¹ à une température de 35° C (± 1° C) et une intensité lumineuse de 290 µE.m⁻².s⁻¹, valeur très proche de celle obtenue par Dauta (1982) sur une espèce voisine : *Coelastrum microsporum*. Le plus faible taux de croissance est obtenu avec *Fragilaria crotonensis*

0,57 à une température de 25° C et une intensité lumineuse de 150 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, valeur légèrement supérieure à celle obtenue par Hartig & Wallen (1986) sur la même espèce (0,40.j⁻¹ à 23° C). A notre connaissance, pour les deux autres espèces (*Anabaena macrospora* et *Staurastrum pingue*), aucune étude relative à leur croissance n'a été faite.

Pour chaque température, il est possible de définir un taux de croissance optimal (μ_{maxT}) et une intensité lumineuse optimale associée (I_{optT}). Les variations de μ_{maxT} et de I_{optT} peuvent être reportées en fonction de la température (fig. 5 et 6) par un ajustement du modèle proposé par Lehman et al. (1975).

4. Discussion

Malgré le nombre de travaux consacrés à l'écologie du phytoplancton, l'interdépendance entre la lumière et la température reste encore mal quantifiée.

Selon Schnoor & Di Toro (1980), les chlorophycées produisent les plus forts taux de croissance bruts 1 à 1,75.j⁻¹. Les plus faibles taux bruts de croissance (inférieurs à 0,5.j⁻¹) appartiennent aux Cyanophycées et aux Flagellés. Tandis que les Diatomées ont une position intermédiaire avec des taux de croissance compris entre 0,25 et 0,75.j⁻¹.

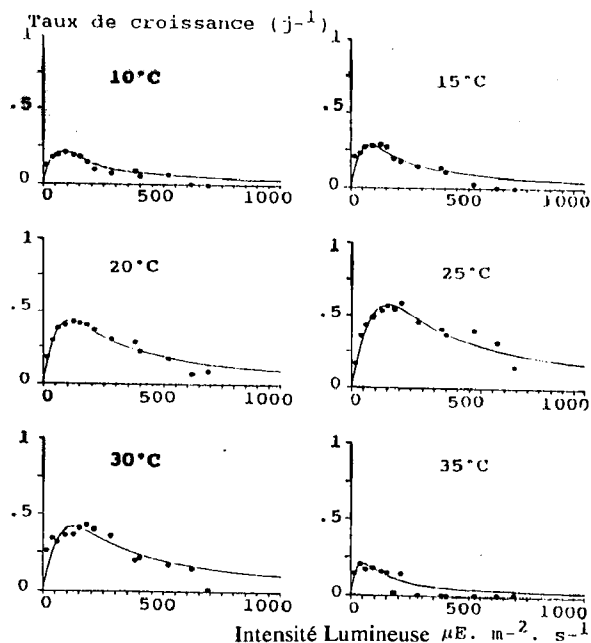


Fig. 1. *Fragilaria crotonensis* : Interaction de la lumière et de la température sur le taux de croissance. (Ajustement graphique par le modèle de Peeters & Eilers 1978).

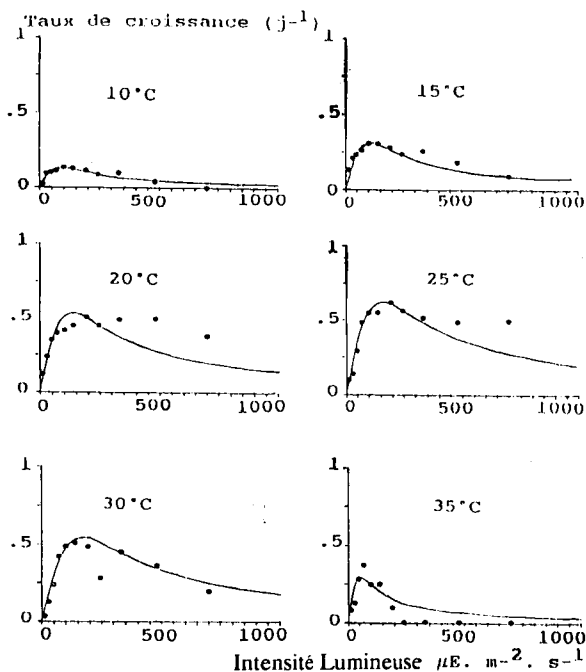


Fig. 2. *Anabaena macrospora* : Interaction de la lumière et de la température sur le taux de croissance. (Ajustement graphique par le modèle de Peeters & Eilers 1978).

Grand nombre d'auteurs ont observé que les températures optimales des Chlorophycées sont le plus souvent supérieures à 30° C (Felfoldy 1962, Aruga 1965, Gargas 1978), et celles des Cyanophycées comprises entre 27 et 35° C (Krueger & Eloff 1978). L'optimum est plus bas pour les Diatomées (Eppley 1977, Dauta 1982, Hartig & Wallen 1986). Les valeurs des optimums thermiques déduites de nos expériences corroborent les observations de ces auteurs sauf pour *Anabaena macrospora* où l'optimum thermique est de 25° C.

Les variations des intensités lumineuses optimales, ont été déjà précisées par divers auteurs tels

Sorokin & Krauss (1962), Smayda (1969), Cloern (1976) et Eppley (1977). L'importante variation de celle-ci est attribuée à l'adaptation de certaines espèces d'algues à diverses lumières (Jørgensen 1969, Raps et al. 1983). D'une façon générale, les diatomées et les cyanophycées répondent à des intensités lumineuses beaucoup plus faibles que celles des chlorophycées.

Les résultats présentés ici, variations du μ_{maxT} , sont en accord avec les observations expérimentales de Post et al. (1985) et apportent des valeurs de constantes spécifiques utiles à la compréhension des successions phytoplanktoniques dans les milieux

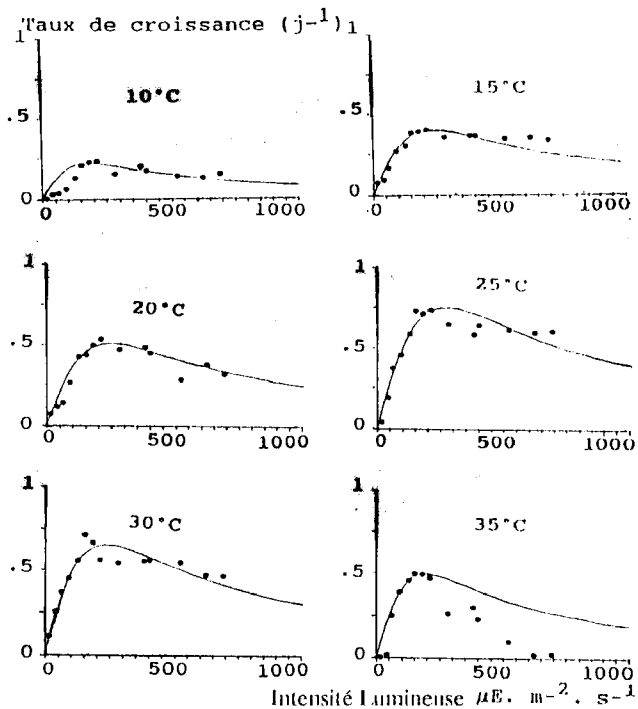


Fig. 3. *Staurastrum pingue* : Interaction de la lumière et de la température sur le taux de croissance. (Ajustement graphique par le modèle de Peeters & Eilers 1978).

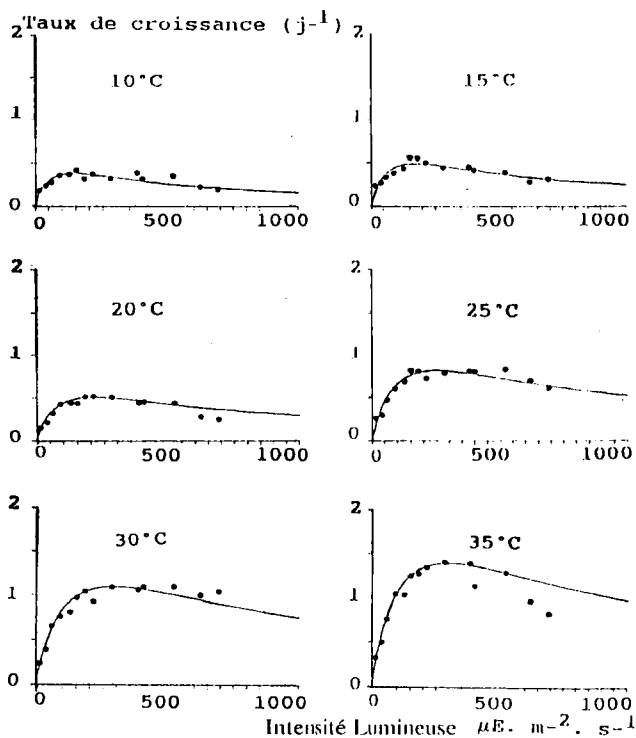


Fig. 4. *Coelastrum cambricum* : Interaction de la lumière et de la température sur le taux de croissance. (Ajustement graphique par le modèle de Peeters & Eilers 1978).

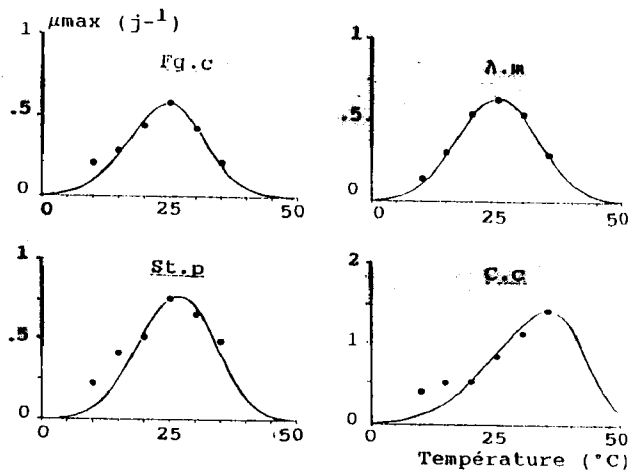


Fig. 5. Variation de μ_{max} en fonction de la température pour *Fragilaria crotonensis* (Fg.c), *Anabaena macrospora* (A.m), *Staurastrum pingue* (St.p) et *Coelastrum cambricum* (C.c.). (Ajustement graphique au modèle de Lehman et al. 1975).

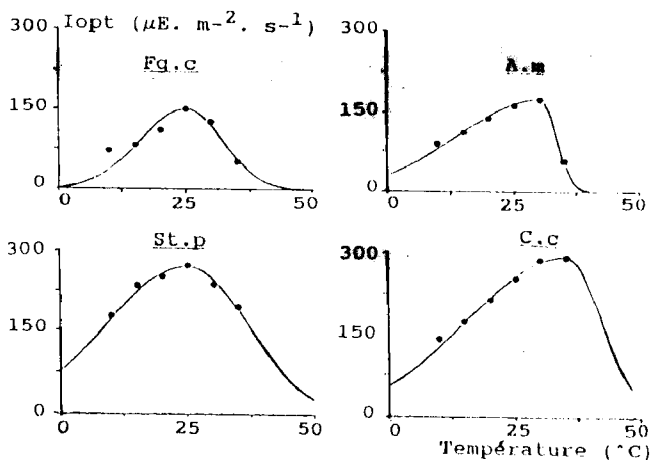


Fig. 6. Variation de I_{opt} en fonction de la température pour *Fragilaria crotonensis* (Fg.c), *Anabaena macrospora* (A.m), *Staurastrum pingue* (St.p) et *Coelastrum cambricum* (C.c.). (Ajustement graphique au modèle de Lehman et al. 1975).

naturels. Toutefois, ces résultats obtenus en conditions nutritionnelles non limitantes seront complétés par des études relatives à l'assimilation et au stockage des principaux éléments nutritifs (N, P, Si) afin d'avoir un ensemble de données permettant de déterminer les conditions de compétition de ces espèces dans les milieux naturels.

Travaux cités

- Alaoui (M.) & Siriki (D.). 1985. — *Dynamique des populations et évolution métabolique du phytoplancton d'un lac eutrophe (Lac d'Aydat, Puy de Dôme, France)*. Thèse Doct. 3^e cycle. Univ. Clermont II, 206 p.
- Aleya (L.) & El Magouri (H.). 1987. — *Dynamique des populations phytoplanctoniques du lac d'Aydat, Puy de Dôme (France). Biomasse et activité métabolique de diverses fractions de taille*. Thèse Doct. 3^e cycle. Univ. Clermont II, 216 p.
- Aruga (Y.). 1965. Ecological studies of photosynthesis. II photosynthesis of algae. *Bot. Mg. Tokio.*, 78 : 360-365.
- Bierman (V.J.). 1976. — Mathematical model of the selective enhancement of blue-green algae by nutrient enrichment. In Canale (R.P.) : *Modelling Biochemical Processes in Aquatic Ecosystems*. Ann Arbor Sciences Pub. : 1-31.
- Canale (R.P.), De Palma (L.M.) & Vogel (A.). 1976. — A plankton-based food web model for lake Michigan. In Canale (R.P.) : *Modelling Biochemical Processes in aquatic Ecosystems*. Ann Arbor Sciences Pub. : 33-74.
- Cloern (J.E.). 1976. — *Population dynamics of Cryptomonas ovata. A laboratory, field and computer study*. Thèse P.H.D. Washington State Univ. : 102 p.
- Dauta (A.). 1982. — Conditions de développement du phytoplancton. Etude comparative du comportement de huit espèces en culture. I. Détermination des paramètres de croissance en fonction de la lumière et de la température. *Annls Limnol.*, 18 (3) : 217-262.
- Eppley (R.W.). 1977. — The growth and culture of diatoms. In (D.) Werner (Ed.) : *The Biology of Diatoms*, Botanical monographs, 13 : 24-64.
- Felföldy (L.J.M.). 1962. — On the role of pH and inorganic carbon sources in photosynthesis in unicellular algae. *Acta Biol. Acad. Sci. Hung.*, 13 : 297-314.
- Gargas (E.). 1978. — Phytoplankton production chlorophyll-a and nutrients in the Open Danish Waters 1975-1977. *The Belt Project*. The national Agency of environmental Protection, Denmark, 61 p.
- Hartig (H.) & Wallen (G.). 1986. — The influence of light and temperature on growth and photosynthesis of *Fragilaria crotonensis* Kitton. *Journal of Freshwater Ecology*, 3 (3) : 371-382.
- Jorgensen (E.G.). 1969. — The adaptation of plankton algae. IV. Light adaptation in different algal species. *Physiol. Plant.*, 22 (6) : 1307-1315.
- Krueger (G.H.J.) & Eloff (J.N.). 1978. — The effect of temperature on specific growth rate and activation energy of *Microcystis* and *Synechococcus* isolates relevant to the onset of natural blooms. *J. Limnol. Soc. Sth. Afr.*, 4 (1) : 9-20.
- Lehman (J.T.), Botkin (D.B.) & Likens (G.E.). 1975. — The assumptions and rationales of a computer model of phytoplankton population dynamics. *Limnol. Oceanogr.*, 20 (3) : 343-364.
- Morgan (K.C.) & Kalf (J.). 1979. — Effect of light and temperature interactions on growth of *Cryptomonas erosa* (Cryptophyceae). *J. Phycol.*, 15 : 127-134.
- Peeters (J.C.H.) & Eilers (P.). 1978. — The relationship between light intensity and photosynthesis a simple mathematical model. *Hydrobiol. Bull.*, 12 : 134-136.
- Post (A.F.), (R.) de Witt & (L.R.) Mur. 1985. — Interactions between temperature and light intensity on growth and photosynthesis of the cyanobacterium *Oscillatoria agardhii*. *J. Plancton Res.* 7 : 487-495.
- Provasoli (L.). 1958. — Nutrition and Ecology of Protozoa and Algae. *Ann. Rev. Microbiol.*, 12 : 297-308.
- Raps (S.), Wyman (K.), Siegelman (H.W.) & Falkowski (P.G.). 1983. — Adaptation of the Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* to light intensity. *Plant Physiol.* 72 : 829-832.
- Reynolds (C.S.). 1984. — *The ecology of freshwater phytoplankton*, Cambridge University press, London : 384 p.
- Schmoor (J.L.) & Di Toro (D.). 1980. — Differential phytoplankton sinking and growth rates : An eigenvalue analysis. *Ecol. Modelling.* 9 : 233-245.
- Smayda (T.J.). 1969. — Experimental observations on the influence of temperature, light and salinity on cell division of the marine diatom *Detonula confervacea* (Cleve). *Gran. J. Phycol.*, 5 : 105-157.
- Smith (E.L.). 1936. — Photosynthesis in relation to light and carbon dioxide. *Proc. Nat. Acad. Sc. Wash.*, 22 : 504-511.
- Sorokin (C.) & Krauss (R.W.). 1962. — Effects of temperature and illuminance on *Chlorella* growth uncoupled from cell division. *Plant Physiol.*, 37 : 37-42.
- Wetzel (R.G.). 1983. — *Limnology*. W.B. Saunders Company, (Philadelphia), 767 p.