

# Cycle biologique de *Chaoborus flavicans* : optimisation de ses paramètres majeurs en conditions expérimentales dans un but d'élevage commercial [Diptera, Chaoboridae]

par Michel DURIEU & Alain THOMAS\*

\* auteur correspondant : 5, rue du Vallon, F – 31320 Vieille-Toulouse, France

Mots-clés : *Chaoborus flavicans*, cycle biologique, élevage optimisé, teneur en oxygène, température de l'eau, coefficient de corrélation, test du  $\chi^2$ , test de Student.

La concentration en oxygène n'est significativement préjudiciable à la survie de cette espèce qu'en dessous de 4,5 mg/L. Les densités initiales des populations en aquariums ne doivent pas excéder 100 larves de stade I par litre. Le passage de la température de l'eau de 25 à 30 °C ne raccourcit pas de façon significative la durée du cycle vital mais il diminue significativement (test t de Student) le taux de survie de la population et aussi le poids moyen des larves. Lorsque la température de l'eau augmente, la taille des œufs diminue alors que le nombre d'œufs par ponte et leur taux d'éclosion ne varient pas significativement. Le coefficient de corrélation entre la taille des œufs et la taille des femelles est hautement significatif ; au contraire, il n'y a aucune corrélation entre la taille des femelles et le nombre d'œufs par ponte ou le pourcentage d'éclosion. Des trois valeurs de température de l'eau (20, 25 et 30 °C) expérimentées et testées en vue d'un élevage commercial, 25 °C apparaît significativement comme le moyen terme le plus efficace entre la rapidité du développement de *C. flavicans*, le taux de survie et le poids moyen des larves.

**The life cycle of *Chaoborus flavicans*: optimization of its main parameters under experimental conditions with the aim of commercial rearing [Diptera, Chaoboridae]**

Keywords: *Chaoborus flavicans*, life cycle, optimized rearing, oxygen concentration, water temperature, correlation coefficient,  $\chi^2$  test, Student's t-test.

Oxygen concentration is significantly harmful to this species survival only below 4.5 mg/L. Initial population densities in aquariums must not exceed 100 larvae (at instar I) per litre. A rise in water temperature from 25 to 30°C does not significantly shorten the duration of life cycle but significantly reduces (Student t test) both population's survival rate and mean weight of larvae. When water temperature rises, the mean size of eggs significantly decreases, whereas number of eggs per raft and hatching rate don't significantly vary. The correlation coefficient between eggs size and females size is highly significant; on the contrary, there is no correlation between females size and number of eggs per raft, or between females size and hatching rate. Three values of water temperature (20, 25 and 30°C) were experienced and tested in the aim of commercial rearing. 25°C significantly appeared as the most efficient in terms of fast development of *C. flavicans*, survival rate and mean weight of larvae.

## 1. Introduction

Le genre *Chaoborus* a été décrit par Lichtenstein en 1800. *C. flavicans* a été érigée par Meigen en 1830, terra typica : l'Allemagne. La répartition de cette espèce est particulièrement vaste : toute la Scandinavie (SAETHER 1997), Angleterre, France, Allemagne, Italie (BORKENT 1993), Europe orientale et Russie (WAGNER 1978), Japon, Alaska, U.S.A. (Californie du Nord au sud, Colorado, Texas, jusqu'au Canada (Québec) (BORKENT t. c.). Références importantes concernant la morpho-anatomie (adultes mâle et femelle, nymphe et larve) : COOK (1956), et l'autoécologie : PARMA (1971).

Il est difficile de se procurer sur le terrain, en nombre, des larves de Chaoboridae pour l'aquariophilie.

En aquaculture et en aquariophilie, une « proie vivante » doit posséder les caractéristiques suivantes :

- elle doit préférentiellement nager en eau libre, sans flotter passivement à la surface, ni au contraire sédimenter rapidement car ainsi elle peut susciter rapidement l'intérêt du prédateur, par sa taille, ou par son comportement de déplacement : en aquariophilie cette particularité rend plus intenses les vives colorations de nombreuses espèces exotiques ;
- elle doit être capable de résister à d'éventuels chocs osmotiques ;
- elle doit pouvoir rester en vie dans le milieu d'élevage pendant plusieurs heures, sans nouvel apport de nourriture afin d'éviter des phénomènes de pollution du milieu ;
- pour éviter un phénomène de rejet instantané par les prédateurs, ses propriétés gustatives et sa consistance doivent convenir à ces derniers ;
- elle ne doit pas être constituée d'éléments trop rigides, contrairement aux crustacés, afin d'être aisément digérée sans provoquer de lésions internes ou d'occlusions intestinales chez le prédateur ;
- elle doit couvrir les besoins trophiques de ce dernier ;
- elle ne doit pas être le vecteur de pathologies.

Les larves de *Chaoborus* (surnommées « crystal nymphs ») répondent à l'essentiel de ces caractéristiques et présentent en outre un taux protéique élevé (67 % : MOORE 1986) qui en fait une source d'alimentation privilégiée, particulièrement nutritive pour de nombreuses espèces de poissons, indigènes ou exotiques. En milieu naturel il n'est donc pas surprenant que ces larves, prédatrices de zooplancton, soient les proies d'une grande diversité ichthyologique (HALL et al. 1970, STENSON 1977, 1981, LUECKE 1986, HE et al. 1994...).

Enfin, l'élevage de ces larves carnivores et leur éventuel isolement pour éviter le cannibalisme peut être effectué sans grande difficulté (SAETHER 1997) : au dernier stade (IV), ces larves mesurent en effet le plus souvent entre 10 et 12 mm de longueur, la fourchette la plus large ayant été signalée par BALVAY (1977) : 7,0 – 13,3 mm.

Le problème majeur reste la récolte de ces Diptères. En effet, les collectes de ces insectes réalisées en milieux « naturels » (essentiellement des lagunes et des lacs collinaires) sont très irrégulières et dépendent de nombreux facteurs (techniques de récolte, vent, phase lunaire, etc.) qui les rendent aléatoires et, en pratique, fort peu exploitables.

L'abondante population de *C. flavicans* vivant dans une lagune d'épuration, milieu hypereutrophe, a permis de réaliser la présente étude. Il s'agit de la station d'épuration par lagunage de La

Salvetat-Peyralès, Aveyron, et le matériel provient de son 3<sup>e</sup> bassin. La température de l'eau y excède 20°C pendant quatre mois, avec un pic de 25,7°C fin juillet. Bien que les biomasses récoltables à la sortie d'une telle lagune soient suffisantes, leurs fortes variations dans le temps constituent un obstacle majeur à leur valorisation potentielle en aquaculture.

L'objectif de la présente étude a donc été d'optimiser une culture de *C. flavicans* dans un but commercial à grande échelle, et en particulier de déterminer les valeurs optimales des deux principaux paramètres écologiques qui sont la concentration en oxygène et la température de l'eau. Quelle valeur de température de l'eau adopter dans les aquariums : 20 °C ? 25 °C ? 30 °C ?, pour une rentabilité commerciale prenant en compte la rapidité du développement, le poids moyen des individus (stade IV) et leur mortalité.

L'expérimentation s'est déroulée à l'Institut Aquapure de Baraqueville (Aveyron), sous la responsabilité scientifique de l'Université Paul Sabatier, Toulouse.

## 2. Preferenda et optimisation par élevages expérimentaux en aquariums

### 2. 1. Les larves et les nymphes

#### 2.1.1. Concentration en oxygène dissous et taux de survie des larves

*C. flavicans* est connue pour sa grande résistance au manque d'oxygène (SAETHER 1997).

La présente expérience, réalisée avec cinq séries de trois aquariums chacune, porte sur la survie de populations de 100 individus, du premier stade larvaire à la nymphe (Tableau 1). Température de 25°C maintenue constante ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) par thermorésistances de 100 à 300 Watts.

Série	Oxygène (mg/L)	T S (%)
1	8,0 $\pm$ 0,2	49,8 $\pm$ 5,0
2	7,0 $\pm$ 0,3	40,7 $\pm$ 4,1
3	6,0 $\pm$ 0,2	39,3 $\pm$ 8,0
4	4,5 $\pm$ 0,3	26,7 $\pm$ 7,4
5	3,0 $\pm$ 0,4	10,3 $\pm$ 3,8

Tableau 1. Relation entre la concentration en oxygène dissous du milieu de culture et le taux de survie d'une population de *C. flavicans* en phase larvaire. TS : taux de survie de la population parvenue au stade nymphal. Température de l'eau: 25  $\pm$  1 °C.

Table 1. Relation between oxygen concentration and survival rate of a larval population of *C. flavicans*. TS: Survival rate of the population from first instar to pupa. Water temperature : 25  $\pm$  1 °C.

Nos résultats testés (test du  $\chi^2$ ) deux à deux avec pour hypothèse nulle ( $H_0$ ) : les taux de survie moyens sont similaires – montrent l'importance de la teneur en oxygène dissous sur le taux de

survie d'une population de *C. flavicans* et permettent d'estimer à partir de quelle concentration ce paramètre devient limitant.

Les quatre premières séries présentent des taux de survie non significativement différents. Seul le taux de survie de la série n° 5 est significativement plus faible que les valeurs précédentes. Ceci signifie que seules les faibles concentrations en oxygène dissous (inférieures à 4,5 mg/L) seraient préjudiciables à la survie des larves de *C. flavicans*. Cette observation corrobore les données de la littérature sur la tolérance aux faibles concentrations en oxygène des larves de cette espèce en milieu naturel, surtout si elles ont temporairement accès aux eaux oxygénées de la surface (SIROKOWA 1968).

L'ajustement logarithmique avec un coefficient de corrélation hautement significatif ( $r = 0,993 > 0,959$  au seuil de 1 % et pour 3 ddl) ; voir la Figure 1) indique lui aussi une résistance à la raréfaction de l'oxygène jusqu'à des teneurs seuils en dessous desquelles la mortalité s'accroît.

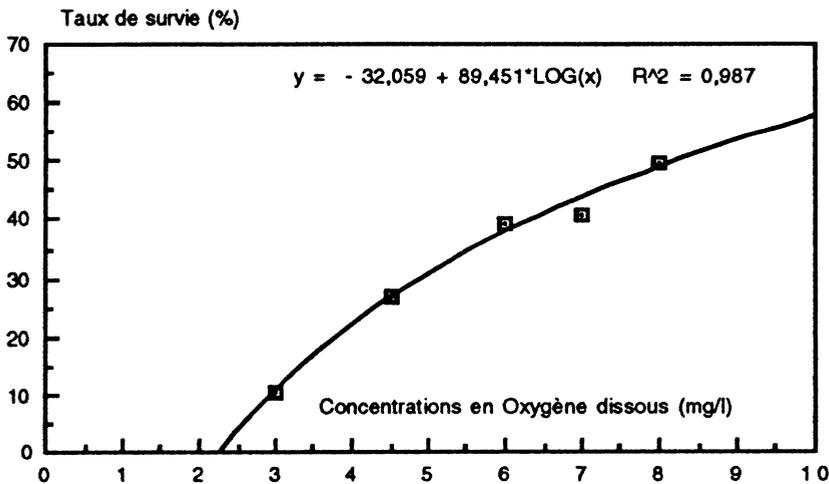


Figure 1. Relation entre la concentration en oxygène dissous et le taux de survie d'une population larvaire de *C. flavicans*. Température de l'eau:  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Figure 1. Relation between oxygen concentration and survival rate of *C. flavicans* larvae. Water temperature:  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

### 2.1.2. Concentration en oxygène dissous et densité de population larvaire

Plus la densité de population larvaire est élevée, plus la consommation d'oxygène est importante et, pour maintenir en vie cette population, il est indispensable d'augmenter le débit d'air insufflé dans les aquariums. Ceci peut générer des turbulences dans le milieu, qui ne sont pas favorables à cette espèce lenticule. Les débits d'aération des aquariums étant réglés pour maintenir une concentration en oxygène proche de 7 mg/L, sous le seul effet de l'abondance croissante des larves, le taux de survie de la population décroît. Si les valeurs de concentration en oxygène dissous des différentes séries (Tableau 2) sont significativement comparables ( $\chi^2 = 0,033 < 11,345$  au seuil de 1 % et pour 3 ddl), il n'en est pas de même pour les taux de survie, hautement différents ( $\chi^2 = 56,36 > 11,345$  au seuil de 1 % et pour 3 ddl). Les nombres de nymphes recueillies au cours

des différentes expérimentations sont significativement comparables, quelle que soit l'abondance initiale des larves ( $\chi^2 = 0,559 < 11,345$  au seuil de 1 % et pour 3 ddl). Seules une quarantaine de larves par litre parviennent au stade nymphal, quelle que soit l'abondance initiale, ici dans une fourchette de 100 à 1000.

En élevage, il apparaît donc préférable de travailler d'emblée avec des abondances limitées à environ 100 larves/L.

N initial de larves de stade I par litre	O <sub>2</sub> dissous (mg/L)	TS (%)	N final de nymphes survivantes
100	7,3 ± 0,3	46,8 ± 7,5	46,8 ± 5,9
250	7,1 ± 0,4	19,0 ± 5,4	44,6 ± 7,8
500	6,7 ± 0,5	8,6 ± 5,2	43,0 ± 7,9
1000	6,8 ± 0,7	4,0 ± 3,1	40,0 ± 6,7

Tableau 2. Relation entre l'abondance et le taux de survie d'une population larvaire de *C. flavicans*, du stade I au stade nymphal. Ni : nombre initial de larves de stade I (par litre) ; TS : Taux de survie de la population parvenue au stade nymphal ; Nf : nombre final de nymphes recueillies (par litre). Température de l'eau: 25 ± 1 °C.

Table 2. Relation between abundance and survival rate of a larval *C. flavicans* population from first instar to pupa; Ni: initial number of first instar larvae per litre; TS: survival rate of the population at pupal instar; Nf : final number of pupae per litre. Water temperature : 25 ± 1°C.

### 2.1.3. Nitratisation de l'ion nitrite très toxique et taux de survie des larves

Lors de nos premières expériences, les teneurs en nitrites se sont élevées rapidement pour atteindre de fortes valeurs qui paraissaient induire des taux de mortalité élevés. La mise en place d'un filtre sur sable et neutralite, au fond des aquariums tests, s'est avérée très efficace pour la nitratisation des nitrites. En effet, quelles que soient les densités de populations de *C. flavicans*, les teneurs en ion nitrite sont restées inférieures à 0,1 mg/L (Tableau 3).

T° = 25 ± 1 °C	Sans filtre biologique	Avec filtre biologique
Ni	100	100
TS (%)	4,02 ± 10,7	47,6 ± 5,9
NO <sub>2</sub> (mg/L)	6,5 ± 5,2	< 0,1
O <sub>2</sub> (mg/L)	7,0 ± 0,5	6,8 ± 0,6

Tableau 3. Influence du filtre biologique sur la concentration en ion nitrite et sur le taux de survie (TS) d'une population de *C. flavicans*, du stade 1 au stade nymphal. Température de l'eau: 25 ± 1 °C.

Table 3. Influence of a biologic filter on NO<sub>2</sub> concentration and the survival rate (TS) of *C. flavicans* population from first instar to pupa. Water temperature : 25 ± 1°C.

Ce filtre biologique permet des taux de survie des populations de *C. flavicans* significativement plus élevés ( $\chi^2 = 36,79 > 6,635$  au seuil de 1 % et pour 1 ddl). En outre, il permet grâce à la neutralité, de maintenir le pH à des valeurs neutres ou légèrement basiques (7 à 8), favorables à la nitrification de l'ammoniac.

#### 2.1.4. Température de l'eau et durée des stades larvaires et de la nymphose

A partir de pontes de *C. flavicans* prélevées dans le milieu naturel, la durée de chaque stade larvaire et de la nymphose a été mesurée aux trois températures testées (Tableau 4). Le passage de 20 à 25°C s'accompagne d'un raccourcissement du cycle vital de près d'une semaine (sur un mois), ce qui n'est pas le cas lors de l'augmentation de 25 à 30 °C, cette dernière température se rapprochant de la limite thermique tolérée par *C. flavicans* (voir § 2.1.5. ci-après) alors qu'elle ne confère pas d'avantage marquant, par rapport à 25 °C, pour la vitesse de développement.

Température eau	20 °C	25 °C	30 °C
stade I	3,1 ± 1,1	2,3 ± 0,9	2,1 ± 0,7
stade II	4,1 ± 1,8	2,7 ± 1,5	2,4 ± 1,2
stade III	6,9 ± 2,3	5,8 ± 1,8	4,9 ± 1,6
stade IV	7,5 ± 2,5	6,5 ± 2,0	6,9 ± 2,1
<b>Durée totale de la phase larvaire (j)</b>	<b>21,6 ± 3,2</b>	<b>17,3 ± 2,4</b>	<b>16,3 ± 2,6</b>
nymphose	8,7 ± 2,1	7,2 ± 1,9	6,4 ± 1,7
<b>Durée totale des deux phases aquatiques (j)</b>	<b>30,3 ± 4,5</b>	<b>24,5 ± 3,2</b>	<b>22,7 ± 3,3</b>

Tableau 4. Influence de la température de l'eau sur la durée moyenne (en jours) de chaque stade larvaire et de la nymphose.

Table 4. Influence of water temperature on mean duration (in days) of each larval instar and of pupation.

L'application du test de Student (Tableau 5), après transformation logarithmique des données du tableau 4, montre que, pour les températures de 20 et 25 °C,  $t = 2,40 > 2,31$ . La différence des moyennes est donc significative au seuil de 5 % ( $p < 0,05$ ), par conséquent l'hypothèse  $H_0$  (les durées moyennes de la phase larvaire sont similaires à 20 et à 25 °C) est rejetée.

Concernant les températures de 25 et 30 °C, par contre, la différence des moyennes n'est pas significative au seuil de 5 % ( $t = 0,636 < 2,31$ ) et  $H_0$  est acceptée : la durée de développement des larves est donc considérée comme comparable à 25 et à 30 °C.

<b>Température eau Durée phase larvaire</b>	<b>20 °C</b>	<b>25 °C</b>	<b>30 °C</b>
moyenne	1,330	1,234	1,207
écart-type	0,063	0,061	0,068
variance	0,004	0,004	0,005

Tableau 5. Transformation logarithmique des résultats du tableau 4, concernant la durée totale de la phase larvaire.

Table 5: Logarithmic transformation of results from table 4, concerning the total duration of larval life..

### 2.1.5. Température de l'eau et taux de survie des larves et des nymphes

La mortalité affectant la population de *C. flavicans* a été suivie sur tout le cycle de développement en fonction des trois valeurs de température retenues. Ces résultats ont été convertis en taux de survie, permettant de disposer d'informations plus utiles pour l'exploitation des cultures de larves de cette espèce (Tableau 6). Le but de l'élevage commercial est d'obtenir le maximum possible d'individus au stade IV.

<b>Température eau Taux de survie (%)</b>	<b>20°C</b>	<b>25°C</b>	<b>30°C</b>
stade I	98,97	94,8	92,18
stade II	94,15	88,56	79,01
stade III	79,00	68,57	53,00
<b>stade IV</b>	<b>68,19 ± 18,25</b>	<b>52,33 ± 18,69</b>	<b>31,72 ± 6,90</b>
nymphe	60,15	43,74	19,79
<b>adulte</b>	<b>30,22 ± 13,61</b>	<b>25,30 ± 12,58</b>	<b>10,10 ± 6,25</b>

Tableau 6. Influence de la température de l'eau sur le taux de survie (%) à chaque stade du développement de *C. flavicans*.

Table 6. Influence of water temperature on survival rate (%) all over the life cycle of *C. flavicans*.

Afin de s'assurer si les taux de survie obtenus dépendent de la température de l'eau, ces derniers ont été testés (test de Student) à la fin du quatrième stade larvaire et à la fin de la vie aquatique. Les données du tableau 7 proviennent de la transformation logarithmique des résultats du tableau 6. Que ce soit à la fin du stade IV ou à l'émergence, les taux de survie à 20 et à 25°C ne sont pas significativement différents au seuil de 5 % ( $t_{IV} = 1,398$  et  $t_E = 0,758 < 2,31$ ).

Par contre, pour les températures de 25 et de 30°C, les taux de survie sont significativement différents au seuil de 5 % ( $t_{IV} = 2,438$  et  $t_E = 2,669 > 2,31$ ). Les taux de survie des populations sont donc comparables aux températures de 20 et de 25°C, et différents de ceux obtenus à 30°C.

Cette dernière température semble être trop élevée et occasionne une trop forte mortalité d'autant plus qu'elle ne confère pas d'avantage marquant (par rapport à 25°C) pour la vitesse de développement.

Durée	Température eau	20°C	25°C	30°C
Stade IV	moyenne	1,821	1,696	1,492
	écart-type	0,121	0,158	0,100
	variance	0,015	0,025	0,010
Adulte	moyenne	1,445	1,362	0,930
	écart-type	0,197	0,210	0,295
	variance	0,039	0,044	0,087

Tableau 7. Transformation logarithmique des principaux résultats (taux de survie au stade IV et à l'émergence) du tableau 6.

Table 7. Logarithmic transformation of main results (survival rate at instar IV and at emergence) from table 6.

### 2.1.6. Température de l'eau et poids des larves

Les poids moyens des larves de stade IV élevées aux températures de 20 et de 25°C (Tableau 8) sont significativement comparables au seuil de 5 % ( $t = 0,462 < 2,021$  pour 40 ddl).

Au contraire, le poids moyen des larves de stade IV élevées à 30°C est significativement différent, au seuil de 5 %, de celui des larves élevées à 25°C ( $t = 4,002 > 2,021$  pour 40 ddl).

Le poids des larves de stade IV – c'est-à-dire le stade commercialisable – reste relativement stable lorsque la température d'élevage est comprise entre 20 et 25°C, mais diminue fortement à 30°C.

Température de l'eau	20°C	25°C	30°C
Larves de stade IV (poids frais mg)	3,35 ± 1,45	3,06 ± 1,13	1,96 ± 0,45

Tableau 8. Influence de la température de l'eau sur le poids individuel des larves (mg de poids frais) de *C. flavicans* au stade IV.

Table 8. Influence of water temperature on individual weight (mg of fresh weight) of instar IV of *C. flavicans*.

## 2.2. Les imagos

### 2.2.1. Conditions thermiques de l'incubation des pontes et taux de fertilité

Les œufs sont disposés sur des disques flottants dans une matrice de gelée (SAETHER 1997).

D'après PARMA (1971), la concentration en oxygène (sauf en cas d'anaérobiose) et les conditions d'éclairement n'ont aucun effet sur la durée du développement des œufs de *C. flavicans*. Par contre, la température de l'eau a une influence sur la durée du développement embryonnaire, d'autant plus court que les conditions thermiques sont élevées. La température n'a apparemment pas d'influence sur le taux de fertilité car les expériences réalisées avec des pontes *prélevées dans le milieu naturel* font état de taux d'éclosion non significativement différents, quelle que soit la température d'incubation. Cependant ce paramètre agit sur la taille des oeufs qui tendent à être plus petits ( $\chi^2 = 10,68 > 9,49$ ) lorsque la température augmente, tandis que la taille des pontes ( $\chi^2 = 3,64 < 9,49$ ) et le taux d'éclosion ( $\chi^2 = 0,55 < 9,49$ ) restent sensiblement comparables au seuil de 5 % et pour 4 ddl (Tableau 9).

Remarque : nous n'avons jamais observé d'émergence dans la nature au dessous de 12 °C.

Température eau (°C)	Nombre d'œufs par ponte	Longueur moyenne des œufs (µm)	Pourcentage d'éclosion
12,8	381 ± 83	450 ± 18	90,5 ± 6,3
14,0	429 ± 45	426 ± 15	99,5 ± 5,7
20,0	395 ± 89	390 ± 24	93,8 ± 4,1
22,4	393 ± 38	378 ± 12	96,8 ± 3,6
24,8	415 ± 56	375 ± 10	97,8 ± 2,8

Tableau 9. Influence de la température de l'eau sur le nombre d'œufs par ponte, la longueur moyenne des œufs et leur pourcentage de fertilité.

Table 9. Influence of water temperature on eggs number per raft, on mean size of eggs and their fertility rate.

### 2.2.2. Température de l'eau et taille des imagos

La taille moyenne des imagos a été estimée à partir de la mesure de la longueur des ailes des individus mâles et femelles. La longueur moyenne des ailes des mâles est de 3,3 mm, avec un minimum de 3,0 et un maximum de 3,9 mm. Pour les femelles, les valeurs correspondantes sont de 3,6 mm, 3,1 et 4, 6 mm respectivement.

La taille des adultes décroît lorsque la température de l'eau augmente. La corrélation entre la température et la longueur des ailes est hautement significative pour les imagos mâles ( $r = 0,78 > 0,73$  pour 9 ddl) et femelles ( $r = 0,90 > 0,62$  pour 14 ddl). Ceci est en accord avec de très nombreux cycles de développement d'insectes aquatiques, de même que la taille des adultes de *C. flavicans* décroît au cours de la période de vol, que ce soit pour une population univoltine avec une période de vol assez longue, ou pour une population multivoltine, à générations courtes et composées d'individus de plus en plus petits au long de l'année.

### 2.2.3. Influence de la taille des imagos femelles sur le nombre d'œufs par ponte, la taille des œufs et le pourcentage d'éclosion

L'oviposition peut-elle être indirectement influencée par les conditions thermiques ? Il apparaît que seule la taille des œufs est dépendante de la taille des femelles, et donc de la température.

En effet le coefficient de corrélation entre la taille des œufs et la taille des femelles est hautement significatif ( $r = 0,945 > 0,875$  au seuil de 1 % et pour 5 ddl).

En revanche il n'y a aucune corrélation entre la taille des femelles et le nombre d'œufs par ponte ( $r = 0,045 < 0,755$  au seuil de 5 % et pour 5 ddl), ou le pourcentage d'éclosion ( $r = 0,202 < 0,755$  au seuil de 5 % et pour 5 ddl). La stratégie déployée par les adultes femelles face à une diminution de leur taille est celle qui vise au maintien du plus grand nombre d'œufs possible par ponte. Cette stratégie nataliste se fait au détriment de la taille des œufs et donc des individus de la génération suivante.

#### 2.2.4. Évolution circadienne de l'oviposition

Afin de déterminer si l'oviposition est un évènement ponctuel ou prolongé dans le temps, des pontes déposées à la surface de l'eau en milieu naturel, ont été recueillies durant plusieurs jours et à intervalles réguliers (toutes les heures).

L'analyse fréquentielle des résultats (Figure 2) indique que l'oviposition est liée aux variations de l'intensité lumineuse à l'aube et, dans une moindre mesure, au crépuscule.

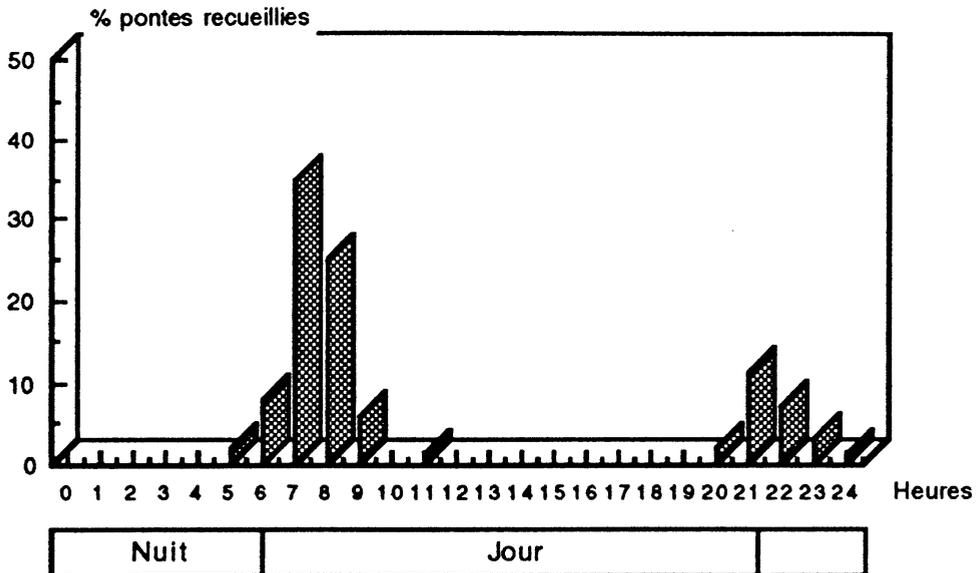


Figure 2. Évolution circadienne de l'oviposition chez *C. flavicans*.

Figure 2. Daily evolution of oviposition in *C. flavicans*.

### 3. Conclusion

Lors de l'optimisation du développement larvaire de *C. flavicans* en laboratoire, la température de 25 °C a donc été retenue comme celle offrant le meilleur compromis – au stade IV, commercialisable – entre la brièveté de ce stade ( $6,5 \pm 2,0$  jours) et même de toute la phase larvaire (17,3

$\pm 2,4$  jours), le taux de survie ( $52,3 \pm 18,7$  %) et le poids individuel ( $3,06 \pm 1,13$  mg). Cette température est d'ailleurs à rapprocher du maximum observé dans le 3<sup>e</sup> bassin de la lagune ( $25,7$  °C) qui est à l'origine du matériel étudié. De fait, le présent travail correspond dans une large mesure au test statistique de préférence écologique de *C. flavicans*.

### Travaux cités

- BALVAY, G. 1977. Morphologie des stades larvaires de *Chaoborus flavicans* (Diptera, Choboridae) en France. *Annales d'Hydrobiologie*, **8** (2): 163-177.
- BORKENT, A. 1993. A world catalogue of fossil and extant Corethrellidae and Chaoboridae (Diptera), with a listing of references to keys, bionomic information and descriptions of each known life stage. *Entomologica Scandinavica*, **24** (1): 1-24.
- COOK, E.F. 1956. The nearctic Chaoborinae (Diptera, Culicidae). *Technical Bulletin of the University of Minnesota agricultural Experiment Station*, **218**: 1-102.
- HALL, D. J., W. E. COOPER & E. E. WERNER. 1970. A experimental approach to the production dynamics and structure of freshwater animal communities. *Limnology and Oceanography*, **15**: 829-928.
- HE, X., M. D. SCHEURELL, P. A. SORANNO & R. A. WRIGHT. 1994. Recurrent response patterns of a zooplankton community to whole-lake fish manipulations. *Freshwater Biology*, **32**: 61-72.
- LUECKE, C. 1986. A change in the pattern of vertical migration of *Chaoborus flavicans* after the introduction of trout. *Journal of Plankton Research*, **8**: 649-657.
- MOORE, M. V. 1986. Method for culturing the phantom midge, *Chaoborus* (Diptera, Chaoboridae), in the laboratory. *Aquaculture*, **56**: 307-316.
- PARMA, S. 1971. *Chaoborus flavicans* (Meigen) (Diptera, Chaoboridae): an autoecological study. *Bronder, Offset n. v., Rotterdam*, 128 pp.
- SAETHER, O. A. 1997. Diptera Chaoboridae, Phantom midges, pp 149-160 in A. Nilsson *Aquatic insects of North Europe*, Apollo Books, Stenstrup.
- SIROKOWA, A. 1968. The behaviour of *Chaoborus* Licht. larvae under unfavourable oxygen conditions. *Ekologia Polska*, **A7**: 185-192.
- STENSON, J. A. E. 1977. Differential predation by fish on two species of *Chaoborus* (Diptera, Chaoboridae). *Oikos*, **31**: 98-101.
- STENSON, J. A. E. 1981. The role of predation in the evolution of morphology, behavior and life history of two species of *Chaoborus*. *Oikos*, **37**: 323-327.
- WAGNER, R. 1978. Chaoboridae, Dixidae. Pp 387-389 in J. Illies (ed.) *Limnofauna Europaea*, Fischer Verlag, Stuttgart.