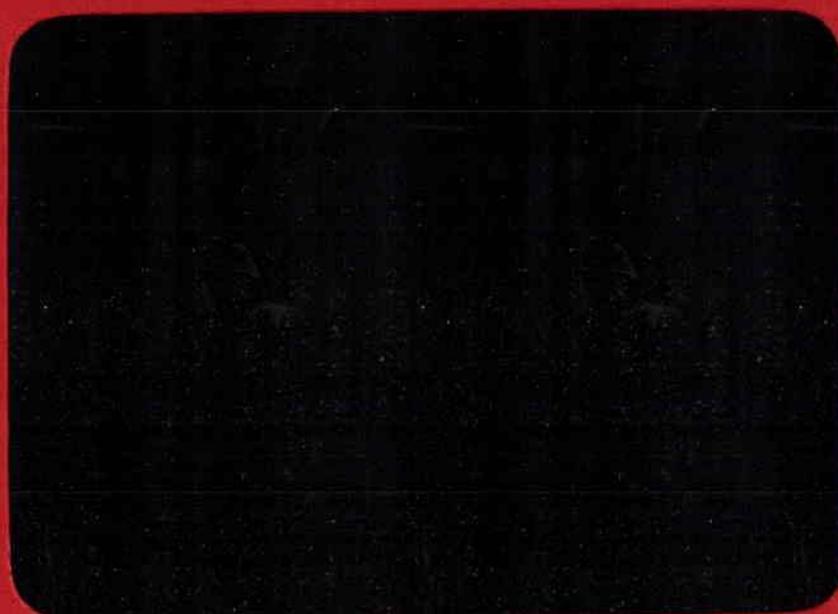


INSTITUT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DES PECHEES MARITIMES



INSTITUT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
DES PECHES MARITIMES
rue de l'Ile d'Yeu
B. P. n° 1049
44037 NANTES CEDEX

Nantes, le 31 janvier 1977

IPM.3 Pollutions

INFLUENCE DE CHOCS THERMIQUES
SUR LA CROISSANCE D'UNE DIATOMEE:
Phaeodactylum tricornutum Bohlin

Par P.Maggi, P.Lassus et A.Abarnou

avec la collaboration technique de
F. SCHAEFFER, P. TRUQUET, P. RICHARD et J. R. POLLEAU

CONTRAT E.D.F. DIRECTION DE L'EQUIPEMENT DE PARIS : Etude expérimentale
des effets des échauffements sur la vie marine des côtes atlantiques
et de la Manche (1ère partie) du 15 juillet 1975.

S O M M A I R E

<u>I - INTRODUCTION</u>	1
<u>II - METHODOLOGIE</u>	1
A - Montages expérimentaux	1
B - Salles de cultures	3
C - Méthodes de mesures	4
1°) Comptages cellulaires	4
2°) Distribution des tailles des diatomées	4
3°) Mesure des concentrations en pigments chlorophylliens..	4
4°) Traitement des données	5
D - Influence des différents facteurs	6
1°) Densité de l'inoculum	6
2°) Chocs mécaniques dus aux installations	6
3°) Courbes de descente en température	6
<u>III - RESULTATS OBTENUS SUR <i>Phaeodactylum tricornutum</i></u>	7
A - Protocole expérimental	7
B - Expression des résultats	8
1°) Croissance cellulaire	8
2°) Augmentation de la teneur en chlorophylle a	8
3°) Distribution de tailles	8
C - Résultats et discussion	10
1°) Croissance cellulaire	10
2°) Concentrations en chlorophylle a	22
3°) Distributions de tailles	22
a) Températures initiales basses : 12 et 16° C	22
b) Températures initiales élevées : 20 et 24° C.....	24
<u>IV - ETUDE COMPLEMENTAIRE</u>	28
<u>V - CONCLUSION</u>	31

INFLUENCE DE CHOCS THERMIQUES SUR LA CROISSANCE

D'UNE DIATOMÉE : Phaeodactylum tricornutum

I - INTRODUCTION

Les travaux, présentés dans ce rapport, ont trait à une partie d'une étude générale menée dans les laboratoires de l'I.S.T.P.M. à Nantes, afin de tenter de prévoir les effets engendrés par l'implantation de centrales nucléaires sur le littoral de l'Atlantique et de la Manche.

Dans un premier temps, il s'agissait de déterminer l'influence de chocs thermiques sur le phytoplancton transitant dans les condenseurs d'une centrale ; dans ce but un appareillage a été mis au point dans nos laboratoires et un protocole expérimental adopté.

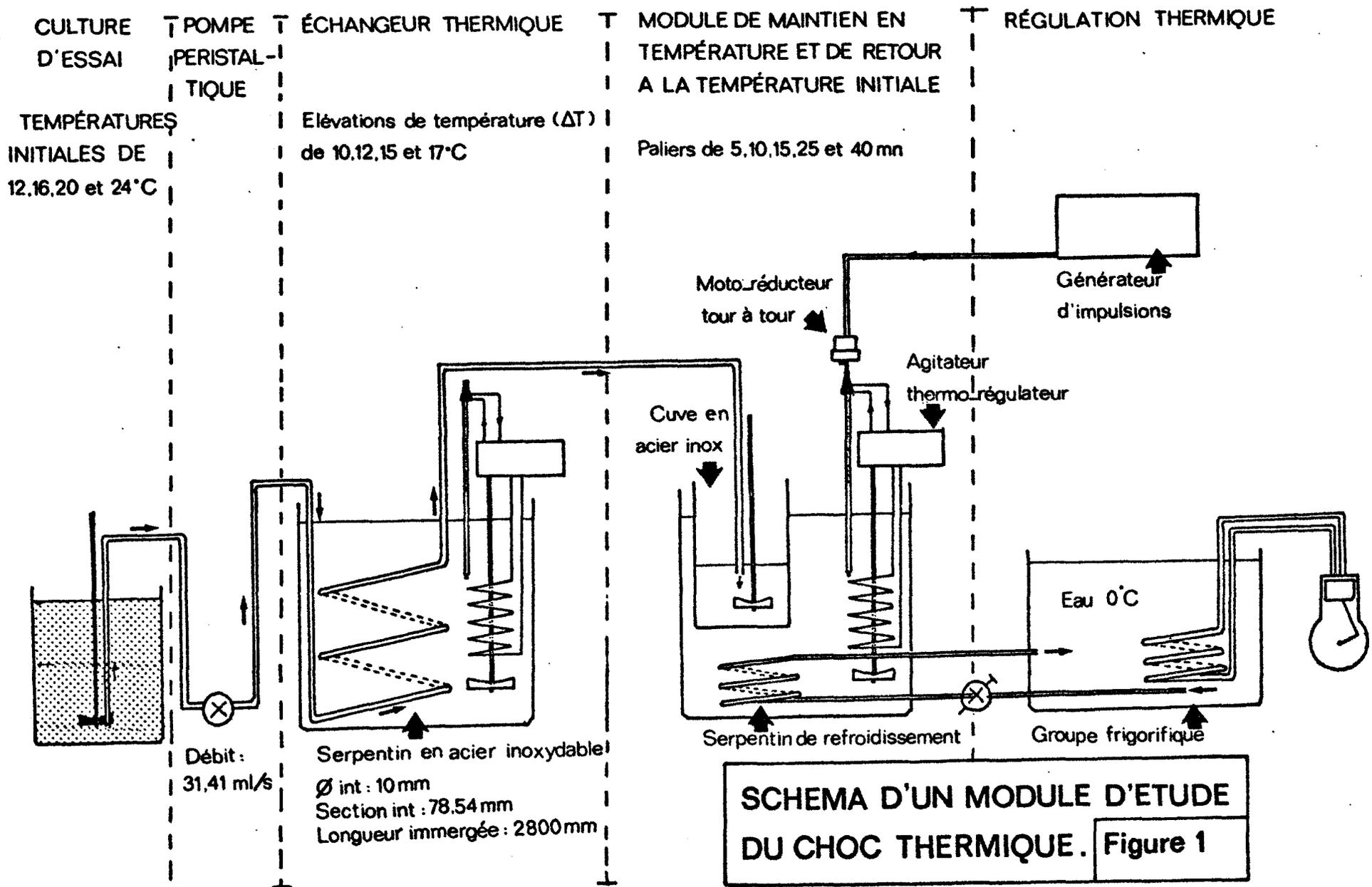
Six espèces de diatomées et de flagellés ont été retenues comme organismes d'expériences ; nous donnons ici les résultats obtenus avec la diatomée Phaeodactylum tricornutum.

II - METHODOLOGIE

A - Montages expérimentaux

Le schéma du montage de base est représenté dans la figure 1, (page 2). Il comprend quatre modules correspondant aux quatre températures initiales (T_i) 12, 16, 20 et 24° C ; chacun comporte :

- un système de pompage à débit constant des cultures testées ;
- un échangeur thermique constitué d'un serpentin en acier inoxydable subissant une élévation brutale de température en 7 secondes ;



SCHEMA D'UN MODULE D'ETUDE DU CHOC THERMIQUE. Figure 1

les écarts à reproduire (ΔT) sont de 10, 12, 15 et 17° C ;

- un bac de maintien en température permettant de garder les cultures, après le choc thermique, à la température $T_i + \Delta T$ pendant 5, 10, 15, 25 et 40 minutes qui constituent les différentes durées du palier thermique. Ce même module permet également le retour à la température initiale en régulant la température au moyen d'une circulation d'eau glacée et de résistances électriques ;

- un dispositif asservissant la thermorégulation aux programmes de descentes thermiques recherchées. Le programmeur est réalisé avec un film cinématographique 16 mm, ajouré, se déroulant devant une cellule photo-électrique qui commande la rotation d'un micromoteur associé au thermomètre à contact ; chaque impulsion donnée au thermomètre induit une variation moyenne de 0,083° C dans le bac.

Cet appareillage permet la réalisation de descentes en températures relativement "lentes" traduisant les données initiales fournies par Electricité de France (Annexe 1). Compte tenu des cinétiques des différentes particules étudiées, le tracé le plus proche de la réalité correspondrait à la limite inférieure du fuseau ; nous avons donc réalisé les quatre courbes affines correspondantes (Annexe 2).

Pendant les 12 h de retour à la température initiale, les cultures sont constamment agitées. Elles se trouvent dans des cuves (1) en acier inoxydable qui permettent une bonne conduction thermique. Elles seront ensuite transvasées dans des ballons en pyrex de 10 l et soumises à 12 heures d'éclairement, par jour, dans des salles à températures régulées.

B - Salles de cultures

Quatre salles sont utilisées, chacune étant calée sur l'une des températures initiales, soit : 12, 16, 20 et 24° C.

./....

(1) en acier inoxydable 316 Titane de 10/12 d'épaisseur ;
L = 250, l = 160, h = 250 mm.

Pour chaque salle, une régulation thermique fine élimine les écarts supérieurs à 0,5° C. Les perturbations dues aux tubes fluorescents ont été diminuées en reportant leurs ballasts dans une armoire extérieure ; Celle-ci comprend en outre les systèmes de sécurité et de régulation :

- une minuterie contrôlant un rythme d'éclairement nycthéméral,
- les disjoncteurs,
- le discontacteur du thermostat d'ambiance. Un éclairement optimal de 3000 lux est obtenu au niveau de chaque rayonnage éclairé.

C - Méthodes de mesures

1°) Comptages cellulaires

Les comptages sont effectués avec un compteur de particules Coulter-Counter modèle ZB ; un courant continu, engendré entre deux électrodes placées de part et d'autre de la paroi d'un tube à orifice, entraîne la création d'une résistance R qui est fonction :

- de la résistivité du liquide contenant les particules (ici l'eau de mer),
- du diamètre de l'orifice (100 μ).

Le passage d'une cellule phytoplanctonique augmente la résistance R de Δr . On mesure le nombre des variations Δr obtenues, soit le nombre de particules.

2°) Distribution des tailles des diatomées

Un analyseur du type Coulter modèle C 1000 couplé au détecteur permet d'obtenir la distribution des particules en fonction de leur volume ; l'étalement de la courbe se définit sur 100 canaux.

L'évolution du mode de distribution ainsi que de la répartition relative des petits et gros volumes cellulaires en fonction de l'âge de la culture peut être suivi quotidiennement.

3°) Mesure des concentrations en pigments chlorophylliens

La méthode choisie (SCOR-UNESCO, 1966) (1) permet la mesure de concentration en chlorophylle a avec une précision satisfaisante :

./...

(1) SCOR-UNESCO, 1966 - Determination of photosynthetic pigments in sea water, 69 p.

- filtration des volumes de culture sur filtres WHATMAN CF/C,
- extraction des pigments par l'acétone à 90 %,
- obtention du spectre des chlorophylles sur spectrophotomètre
PYE - UNICAM,
- mesures des densités optiques et traitement des données.

Les chlorophylles b et c ne sont pas présentes en quantités suffisantes pour être dosées par cette méthode.

Les phaeopigments n'ont pas été décelés dans les cultures étudiées. Ces produits de dégradation de la chlorophylle semblent absents lorsque les cultures unialgales sont effectuées dans de bonnes conditions d'éclairement.

Pour ces raisons, seules les concentrations en chlorophylle a, comparées aux densités cellulaires correspondantes, ont été mesurées.

4°) Traitement des données

Les informations recueillies par le Coulter-Counter sont directement reproduites sur une imprimante Télétype ainsi que sur bande perforée à 8 canaux : le même appareil permet également de traiter sur bandes perforées les données concernant les mesures de densités optiques en chlorophylle. Par la suite, les informations sont analysées puis stockées sur bandes magnétiques et traitées par une calculatrice Hewlett-Packard modèle 30.

Nous obtenons donc directement par ce procédé :

- les concentrations en chlorophylle a en $\mu\text{g/l}$,
- les distributions de tailles des algues planctoniques,
- les volumes cellulaires globaux mesurés journalièrement pour chacune des cultures essais et témoins,
- les différences de volume global entre les témoins et les essais.

D - Influence de différents facteurs

1°) Densité de l'inoculum

Des essais préliminaires ont montré qu'une dilution au 1/500 d'une culture en fin de croissance exponentielle conduisait à une concentration de 10 000 à 20 000 cellules par ml, située dans les limites détectables du compteur de particules.

2°) Chocs mécaniques dus aux installations

Les mêmes études préliminaires ont montré que le choc mécanique dû à l'appareillage était sans action sur la croissance de P. tricorutum.

3°) Courbes de descente en température

Le document communiqué par E. D. F. nous donne pour un ΔT de 15° C un faisceau de courbes dont les cinétiques, au cours des deux premières heures, sont très différentes : en effet la chute varie de 11 à 6° C en 1 heure.

Cette chute pouvait représenter un choc froid pour le plancton transitant dans nos appareillages. Il était donc nécessaire d'étudier les différences obtenues, pour une température initiale, un ΔT et un palier donnés, dans les mortalités observées pour deux cinétiques différentes. C'est ce qui a été réalisé pour P. tricorutum à titre de données complémentaires, l'appareillage en place ne nous permettant en aucun cas de systématiser ce genre d'expérience.

L'étude générale présentée ici a été réalisée sur la base des courbes de descente en température correspondant aux cinétiques les plus rapides du document E. D. F.

./...

III - RESULTATS OBTENUS SUR Phaeodactylum tricornutum

A - Protocole expérimental

Des cultures stériles de P. tricornutum, en fin de croissance exponentielle à la température initiale étudiée, sont diluées, avec de l'eau de mer filtrée sur membrane cellulosique 0,22 μ et enrichie en milieu E. S. de PROVASOLI (Annexe 3) ; la concentration obtenue est comprise entre 10 000 et 20 000 cellules par ml en début d'expérimentation.

Pour chacune des températures initiales étudiées (12, 16, 20 et 24° C) nous avons effectué successivement :

- le réglage du débit de la pompe permettant un passage en 7 secondes dans le serpentin,
- le réglage de la température du bac de chauffe, de manière à obtenir le ΔT étudié,
- le réglage de la température du bac de maintien de la température à $T_i + \Delta T$,
- l'aspiration de 6 l de culture phytoplanctonique pour une température initiale, une élévation de température et une durée de palier thermique,
- la réception de la culture dans une cuve en acier inoxydable placée dans le bac de maintien à la température $T_i + \Delta T$.

Les différents pompages sont entrepris de manière à ce que, pour une température initiale et une élévation de température, les diverses cultures soumises à ces variations, respectivement pendant 40, 25, 15, 10 et 5 minutes, abordent la descente en température au même instant,

- la descente programmée du bain-marie en 12 heures selon les cinétiques retenues,
- la mise en ballon pyrex de 10 l et l'exposition à l'éclairage dans les différentes salles de cultures.

./...

B - Expression des résultats

Les cultures témoins et expérimentales ont été suivies pendant 9 jours, c'est-à-dire jusqu'au début du plateau de la courbe de croissance.

1°) Croissance cellulaire

Elle est exprimée, journallement, en milliers de cellules phytoplanctoniques par ml par rapport au temps.

L'échelle des densités cellulaires est représentée sous forme logarithmique.

2°) Augmentation de la teneur en chlorophylle a

Elle est exprimée en $\mu\text{g/l}$ en début, milieu et fin d'expérimentation. Ces concentrations seront comparées aux densités cellulaires des différentes cultures.

La figure 2 (page 9) montre la corrélation étroite qui existe entre le nombre de cellules et la teneur en chlorophylle a.

3°) Distribution de tailles

Nous avons choisi de représenter les distributions de tailles de cette diatomée à trois stades importants de son développement : début, milieu et fin de phase exponentielle soit les 2ème, 4ème et 7ème jours de culture.

Les courbes correspondantes ont été obtenues à partir de l'analyseur couplé au compteur de particules. Journallement tous les polygones de fréquences reproduisant la distribution des volumes cellulaires ont été enregistrés sur bandes perforées par l'intermédiaire du Télétype. Par la suite ces données ont été transférées sur support magnétique en vue de traitement par la calculatrice HP 30.

./....

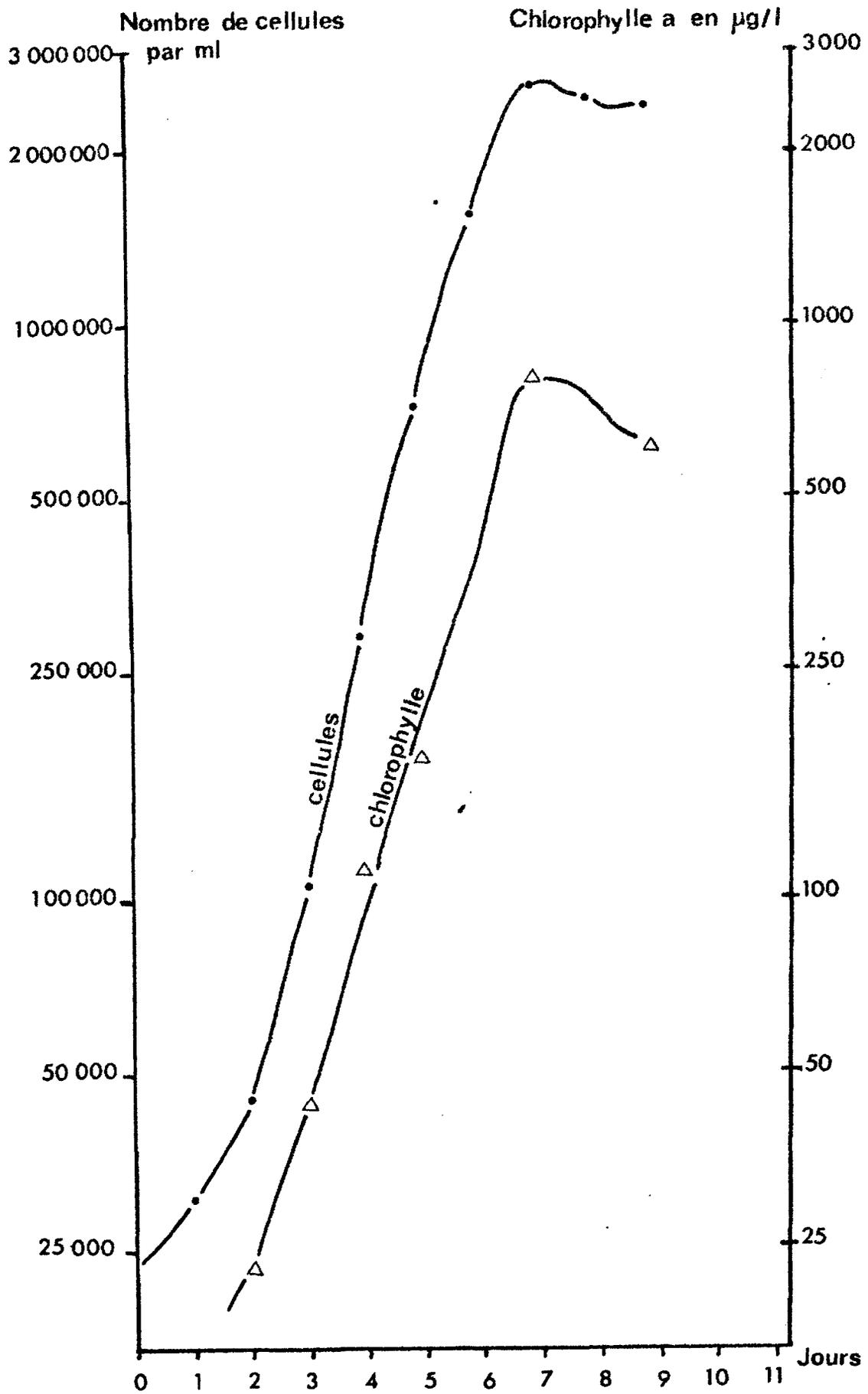


Figure : 2 *P. tricornutum*

Evolutions comparées du nombre de cellules et de la concentration en chlorophylle a pendant le developpement pour $T_i = 16^\circ$, $\Delta T = 12^\circ$, et un palier = 10 mn

Les distributions de tailles ont été reproduites graphiquement par l'intermédiaire d'une table traçante de façon à comparer simultanément, sur chaque système d'axes, le témoin aux 5 paliers expérimentés, pour une température initiale et une élévation thermique données.

Les fréquences particulières sont figurées en ordonnée sur une échelle 0 - 400 et les volumes cellulaires sont exprimés en micron cubes sur l'axe des abscisses. Les courbes sont construites à partir de 100 données ; elles sont lissées de manière à ce que chaque point soit corrigé par la formule: $\bar{n}_d = \frac{n_d - 3 + 3n_d - 2 + 6n_d - 1 + 8n_d + 6n_d + 1 + 3n_d + 2 + n_d + 3}{28}$

28

A partir du calcul de la surface de chaque courbe, exprimée en terme de volume cellulaire total, nous avons pu évaluer les différences entre cultures témoins et essais. Ces différences sont négatives ou positives selon que la surface de la courbe témoin est supérieure ou inférieure à celles de la culture essais.

C - Résultats et discussion

1°) Croissance cellulaire

Nous avons donc étudié l'effet d'élévations thermiques (ΔT) de 10, 12, 15 et 17° C, sur Phaeodactylum tricornutum, pour des températures initiales (T_i) de 12, 16, 20 et 24° C ; les durées d'exposition à $T_i + \Delta T$ ou paliers thermiques sont de 5, 10, 15, 25 et 40 minutes.

On ne note pas de différences significatives dans le développement des témoins et des essais pour les températures initiales 12 et 16° C aux ΔT et paliers thermiques étudiés (fig. 3 et 4).

En revanche, en ce qui concerne les températures initiales 20 et 24° C (fig. 5 et 6), les résultats obtenus nous conduisent à énoncer un certain nombre de remarques :

- à la température initiale 20° C et pour un ΔT de 15° C, on note des retards de croissance par rapport au témoin qui vont en s'accroissant avec l'augmentation de la durée du palier thermique. Néanmoins, toutes les cultures se développent,

./...

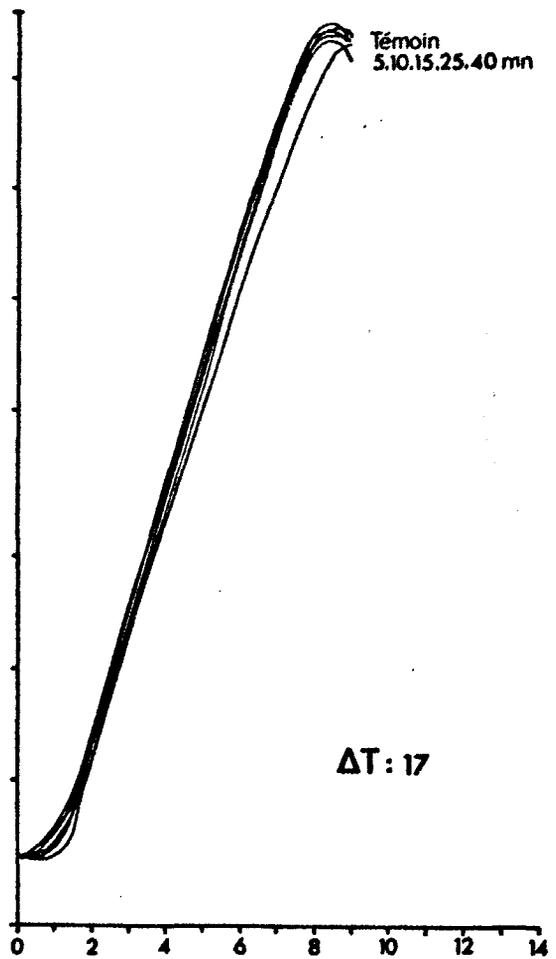
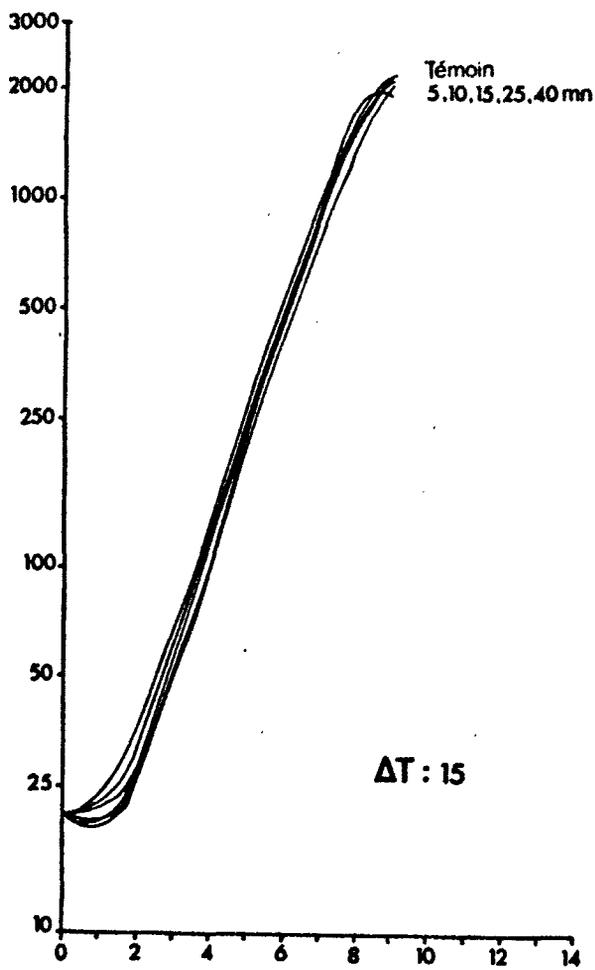
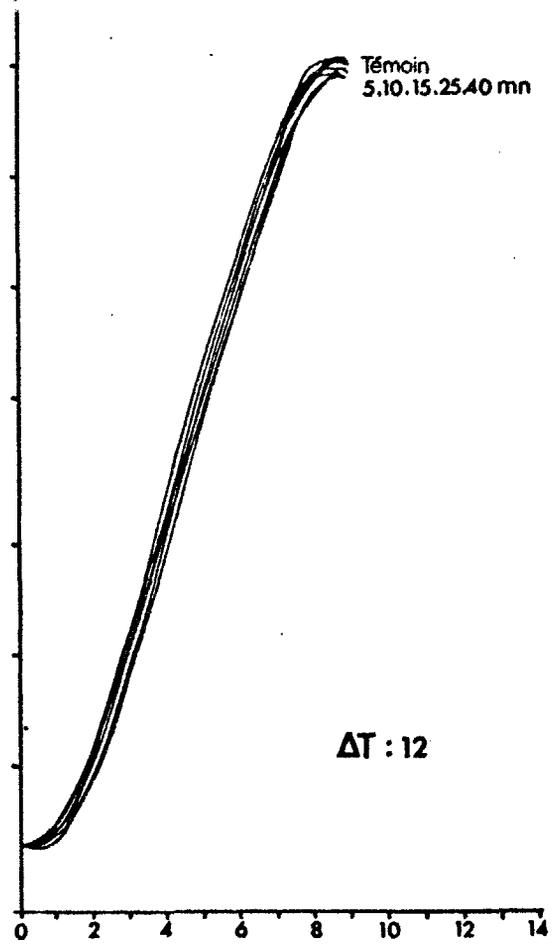
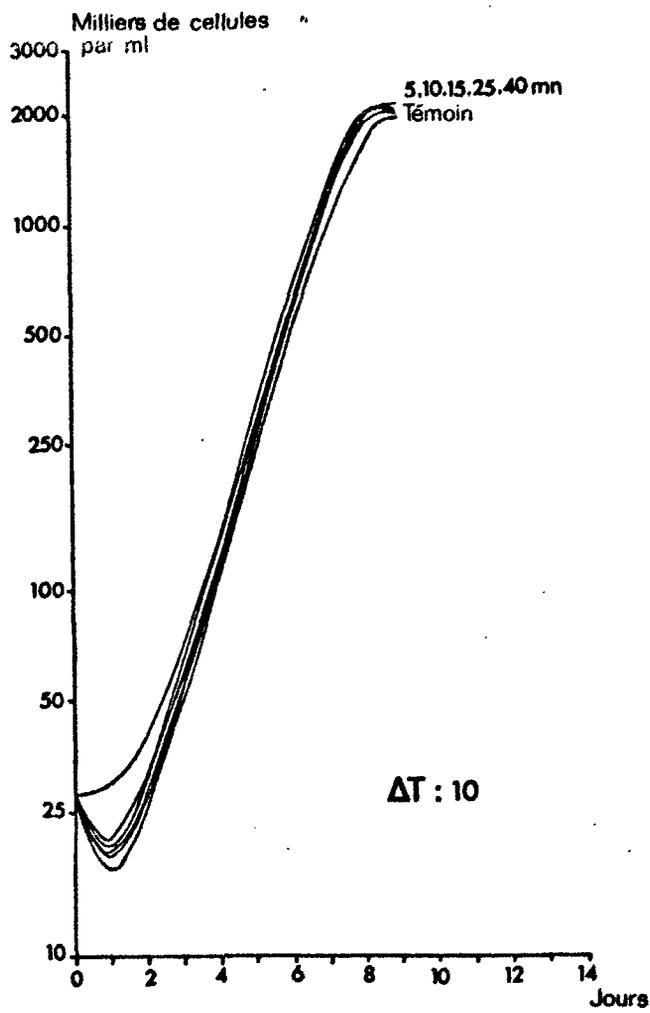


Figure 3 : Croissances cellulaires pour une température initiale : 12°C

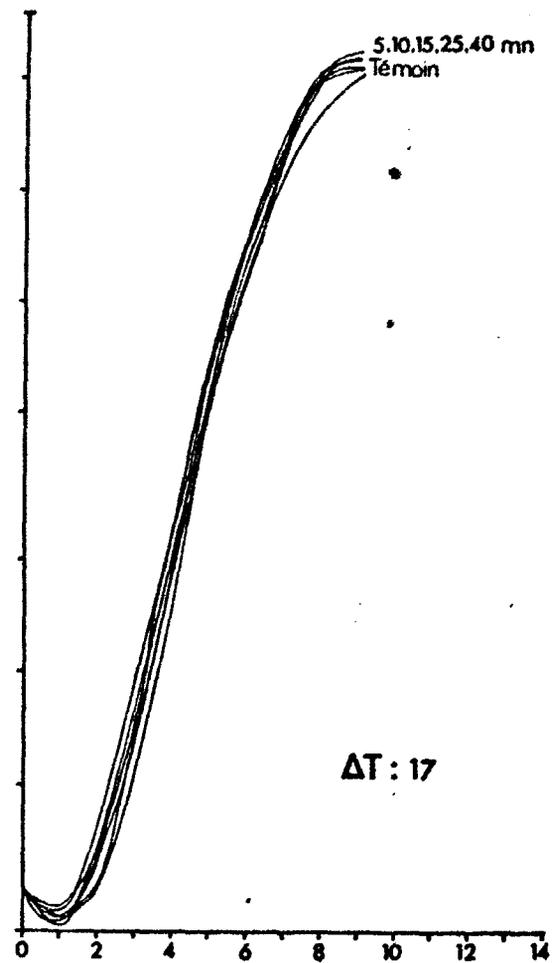
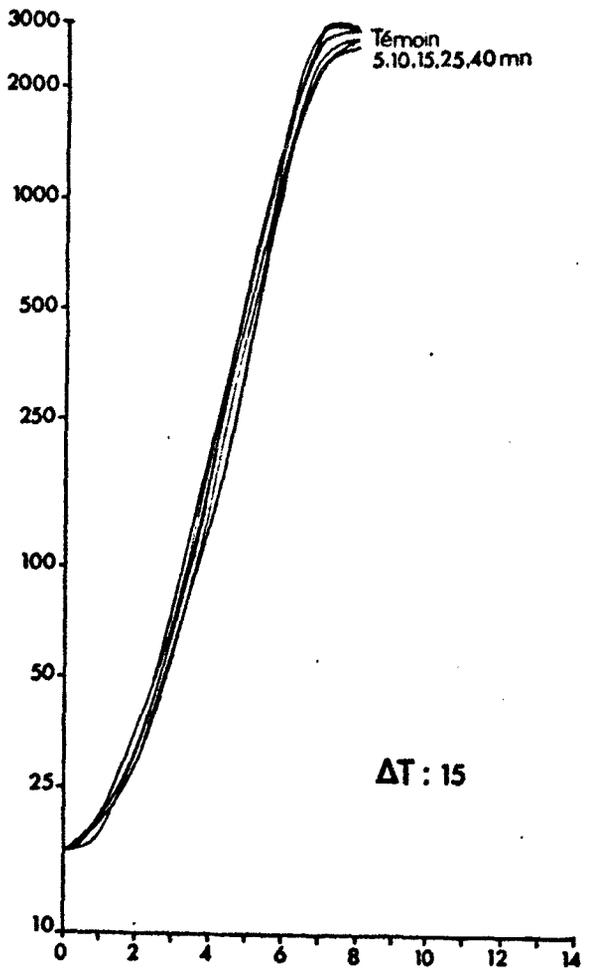
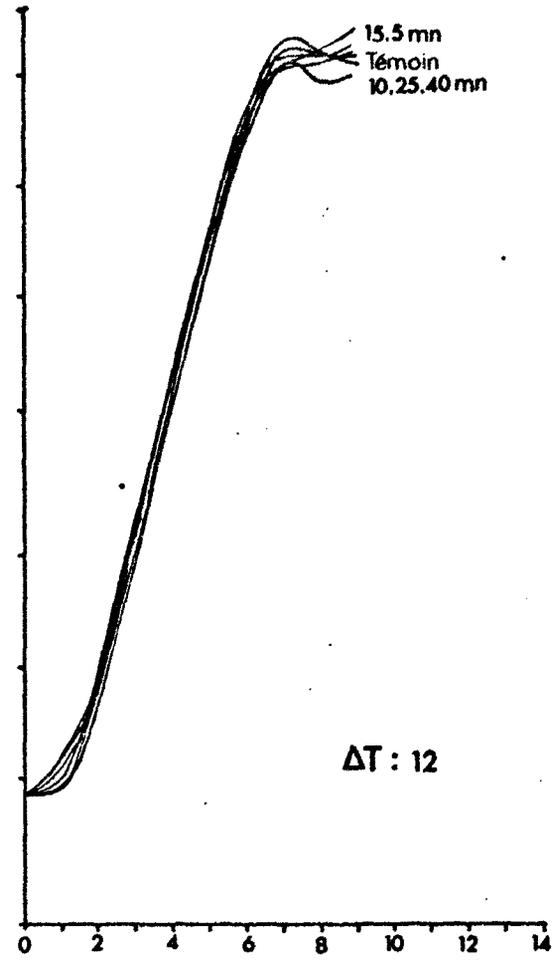
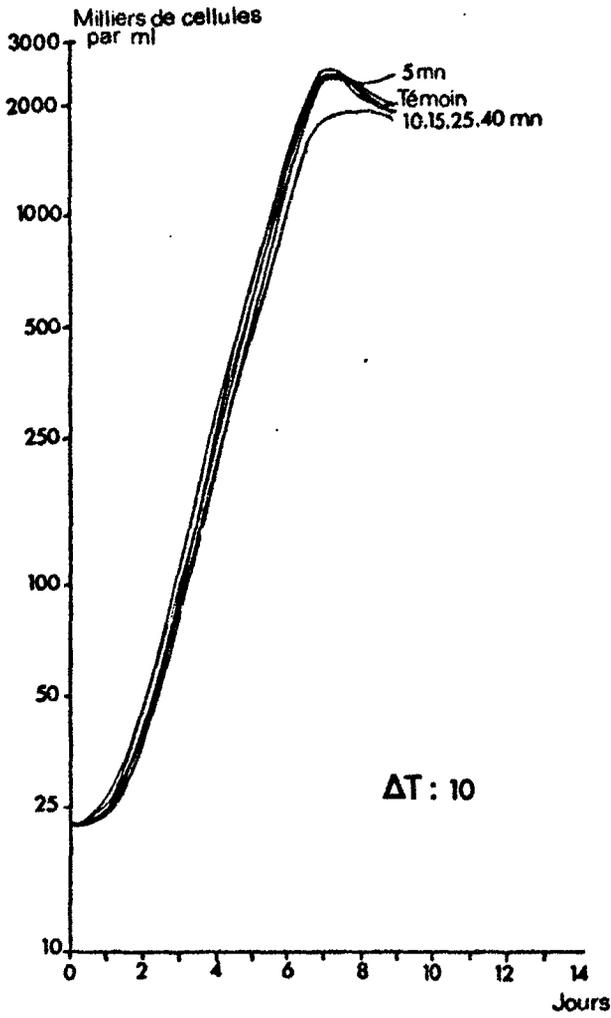


Figure 4 : Croissances cellulaires pour une température initiale : 16°C

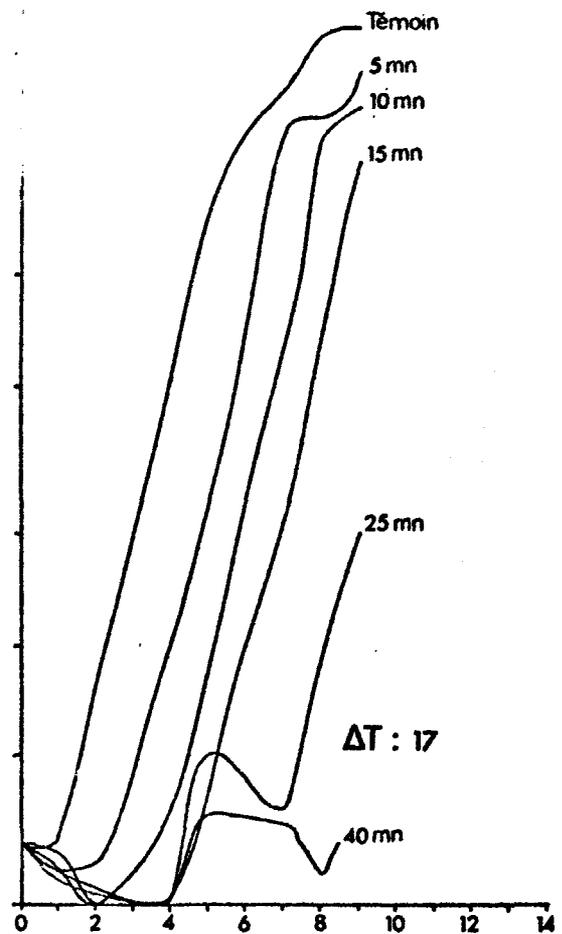
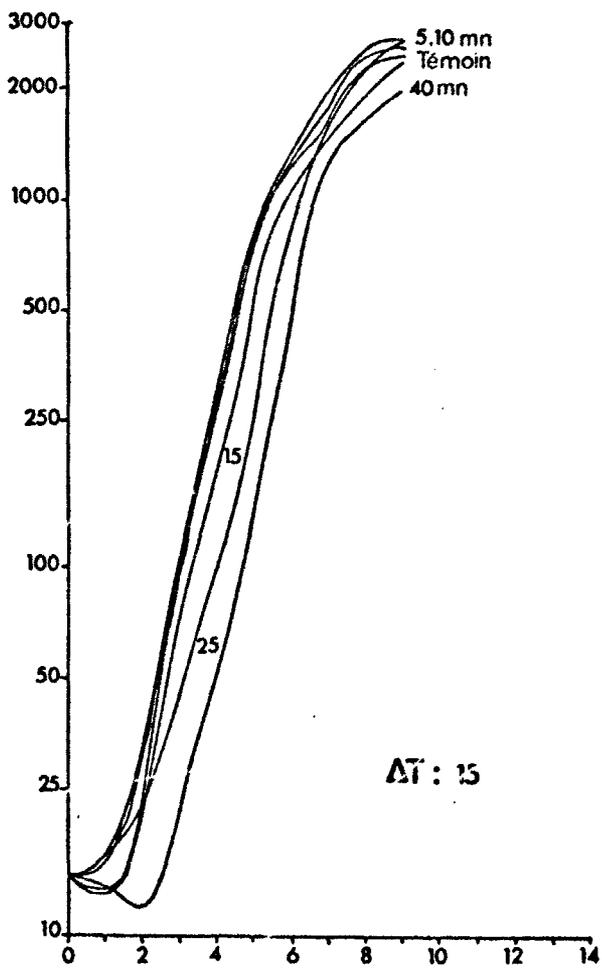
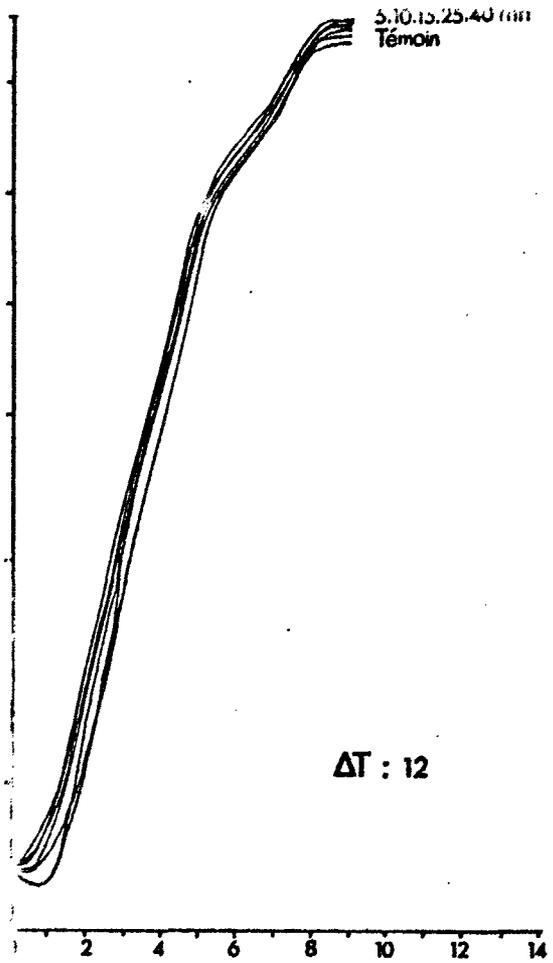
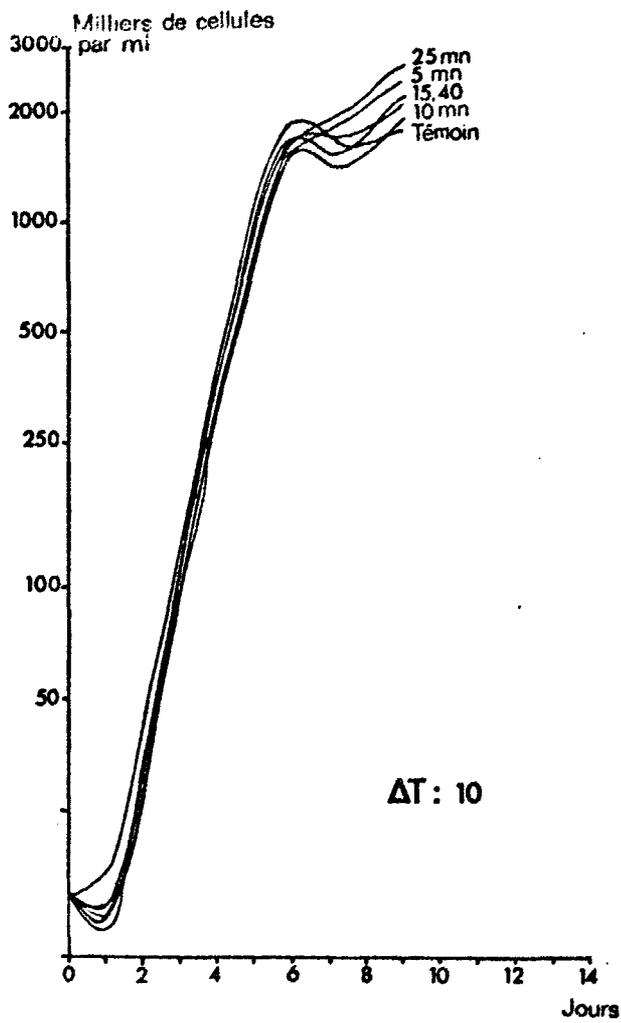


Figure 5 : Croissances cellulaires pour une température initiale : 20°C

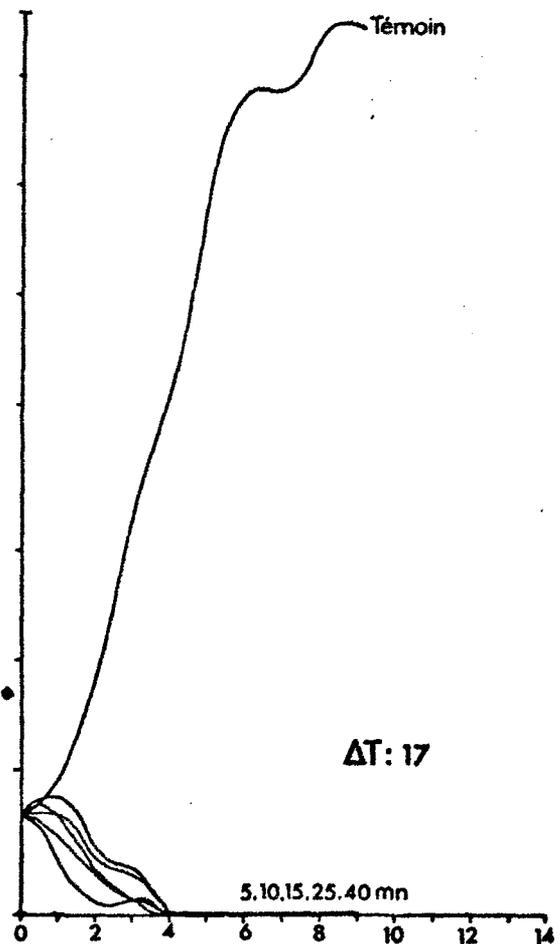
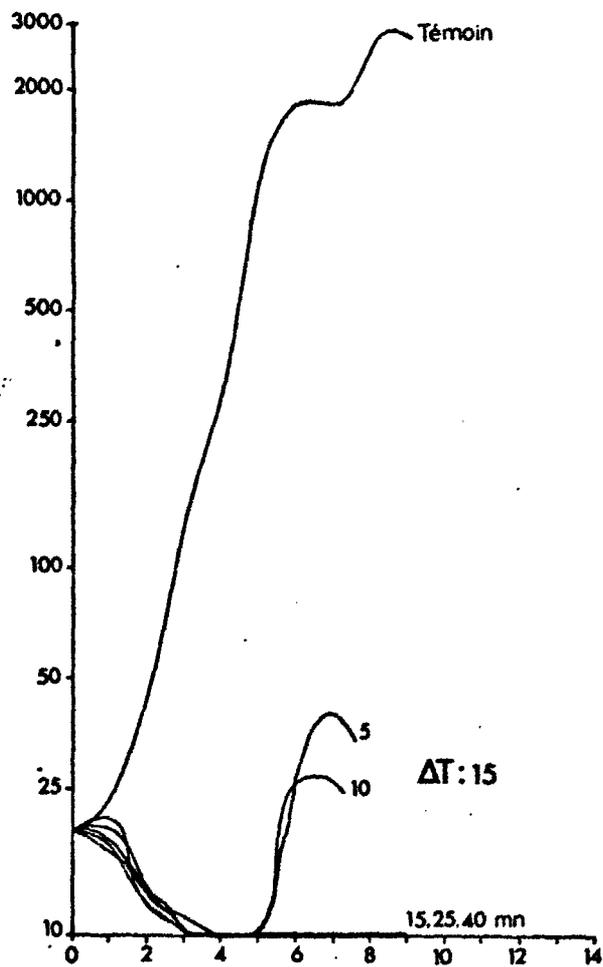
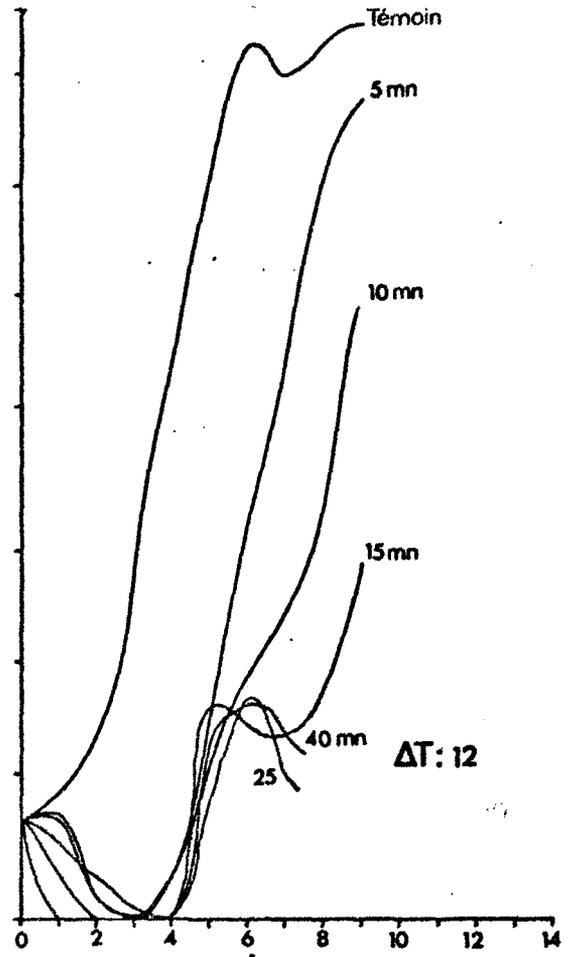
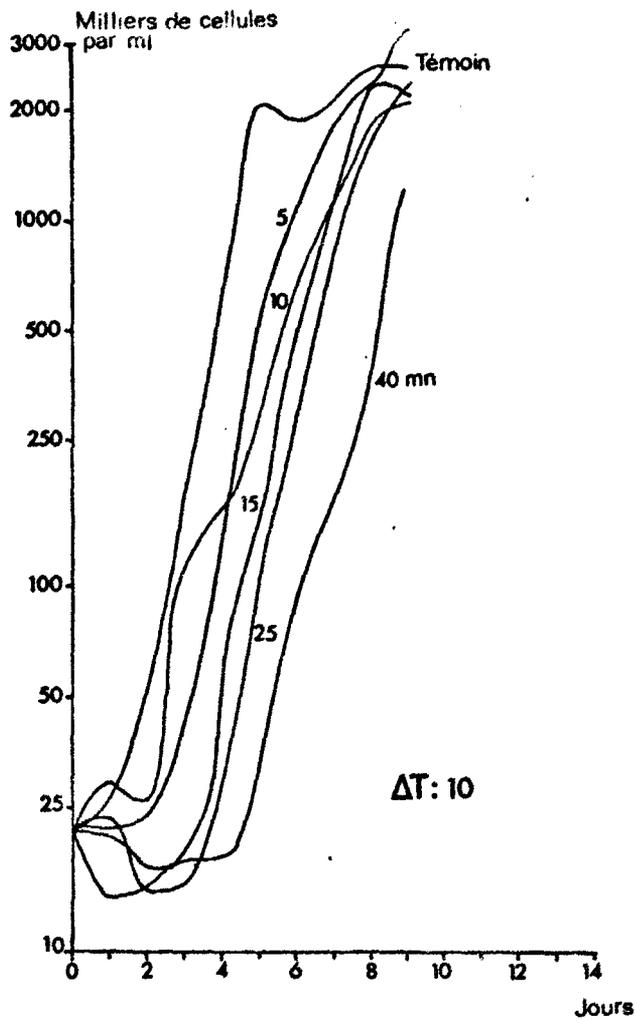


Figure 6 : Croissances cellulaires pour une température initiale : 24°C

- à la température initiale 20° C, pour un ΔT de 17° C, les résultats sont encore plus marqués ; seuls les paliers 5, 10 et 15 minutes reprennent leur croissance après un délai de 2 à 4 jours. On peut considérer que la physiologie de P. tricornutum est gravement perturbée pour des durées d'exposition de 25 à 40 minutes à 37° C,

- à la température initiale 24° C et pour les ΔT 10, 12, 15 et 17° C des variations très nettes apparaissent par rapport au témoin :

- . pour un ΔT de 10° C, la croissance est retardée de 2 à 4 jours le retard augmente avec la durée du palier, cependant toutes les cultures parviennent à se développer,
- . pour un ΔT de 12° C, le retard est uniformément de 4 jours. Il correspond plus ou moins à une phase de "récupération" lorsque les paliers sont de 5, 10 et 15 minutes ; avec des paliers de 25 et 40 minutes les cultures ne parviennent pas à retrouver leur rythme normal de développement,
- . pour des ΔT de 15 et 17° C, on peut considérer qu'aucune culture, quel que soit le palier ne pourra se développer.

Ces résultats peuvent être regroupés et étudiés en fonction du pourcentage de développement par rapport au témoin et de la température supérieure limite atteinte. C'est ce qui est représenté dans le tableau 1 (page 16).

Nous avons choisi le 7ème jour de développement puisqu'il correspond à la fin de la phase exponentielle de croissance : les 8ème et 9ème jours qui représentent déjà l'amorce du plateau sont soumis à des fluctuations importantes : même chez les témoins.

Les calculs de pourcentage sont faits directement à partir des densités cellulaires.

Il apparaît que, pour des températures initiales basses, les chocs thermiques améliorent la croissance cellulaire par rapport aux cultures témoins. Cependant, il faut souligner que pour des croissances supérieures à 80 %, le développement peut être considéré comme comparable à celui des témoins, compte tenu des conditions de cultures à l'approche de la phase de plateau.

Ti (°C)	ΔT (°C)	Ti + ΔT (°C)	Paliers en minutes				
			5	10	15	25	40
12	10	22	110	110	115	130	130
12	12	24	120	110	105	105	90
16	10	26	100	100	100	100	75
12	15	27	100	90	85	90	75
16	12	28	100	100	100	95	85
12	17	29	130	140	140	150	150
20	10	30	110	85	90	110	100
16	15	31	100	105	110	120	100
20	12	32	100	100	105	105	110
16	17	33	115	110	100	100	90
24	10	34	90	50	50	40	10
20	15	35	100	120	90	100	80
24	12	36	20	5	5	5	5
20	17	37	50	20	10	5	5
24	15	39	5	5	5	5	5
24	17	41	0	0	0	0	0

TABEAU 1 : Pourcentages de développement au 7ème jour par rapport aux témoins pour les 5 paliers expérimentés, en fonction des températures supérieures limites atteintes au cours du choc thermique.

./....

On remarque d'autre part que des déficiences dans le développement apparaissent à partir d'une température finale égale à 34° C et que 39° C semble être le seuil létal supérieur de P. tricornutum.

Néanmoins, les résultats obtenus dépendent pour une grande part de la température initiale ; c'est ce qui apparaît pour des températures finales voisines (33, 34 et 35° C) résultant de ΔT différents (17, 10 et 15° C) à partir des températures initiales 16, 24 et 20° C. Ceci explique l'apparente anomalie constatée, pour un palier de 5 minutes, à la température finale de 37° C.

Nos résultats sont en accord avec ceux de HIRAYAMA et HIRANO (1970) (1) qui ont expérimenté, sur la diatomée Skeletonema costatum, deux ΔT (15 et 17° C) pendant 10 et 20 minutes, à partir d'une température initiale de 20° C.

Parallèlement nous avons examiné les résultats en considérant l'influence d'un ΔT donné appliqué aux quatre températures initiales et aux cinq paliers thermiques (fig. 7 à 10).

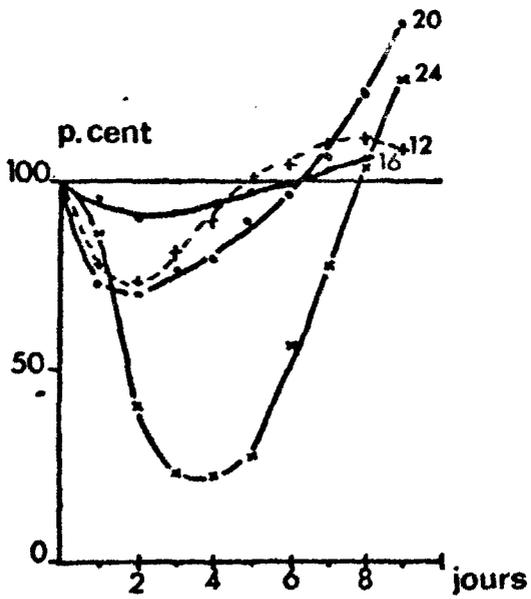
On peut noter que, pour une élévation thermique de 10° C, seules les cultures à la température initiale de 24° C sont affectées bien que le développement reprenne partout après 4 à 5 jours de latence.

Avec un ΔT de 12° C, aucune culture n'est affectée à 12, 16 et 20° C initiaux, alors qu'à 24° C seul le palier 5 minutes reprend sa croissance après une période de latence.

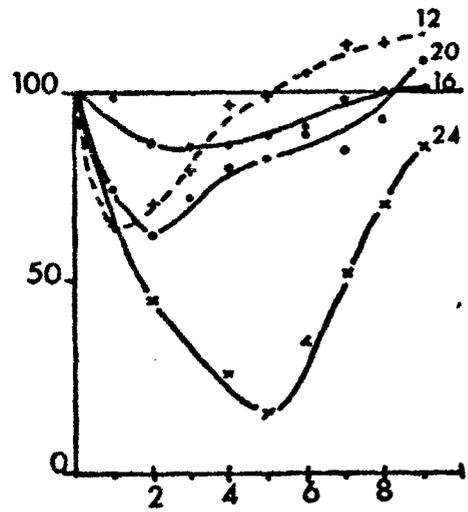
Avec un ΔT de 15° C, le développement de toutes les cultures, à la température initiale de 24° C, est inhibé quelle que soit la durée du palier, alors que les croissances sont pratiquement normales, à toutes les durées de paliers si les températures initiales sont 12 et 16° C. A 20° C initial, des retards de plus en plus marqués apparaissent à partir de 15 minutes de palier ; cependant, le développement reprend, dans tous les cas, avec un retard augmentant avec la durée du palier.

./.....

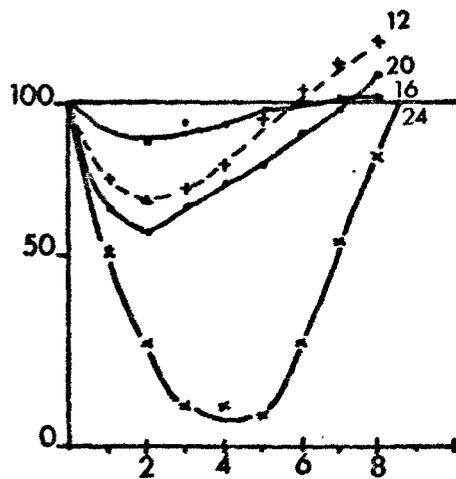
(1) HIRAYAMA (K.) et HIRANO (R.), 1970. - Mar. Biol., 7, 3, 205 - 213.



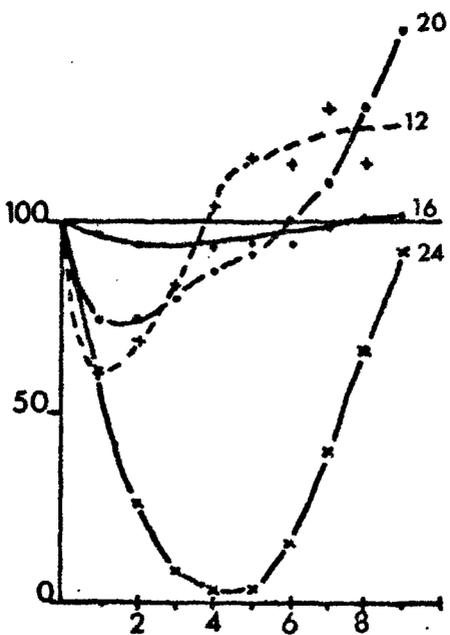
5 mn



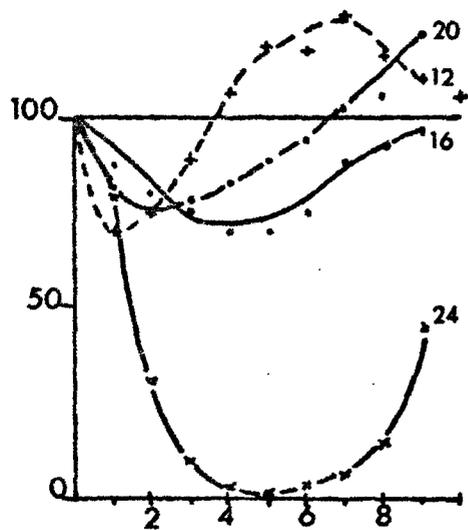
10 mn



15 mn

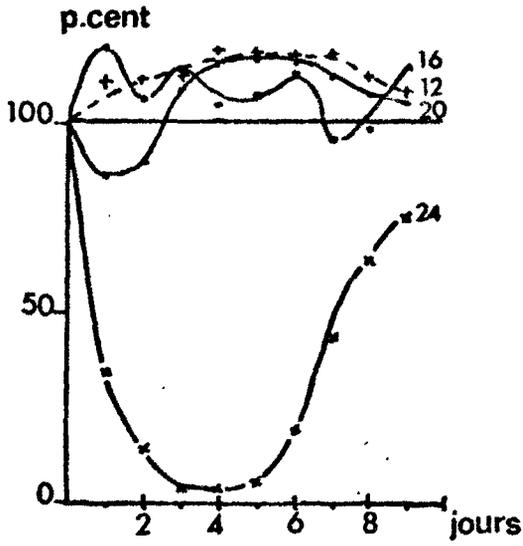


25 mn

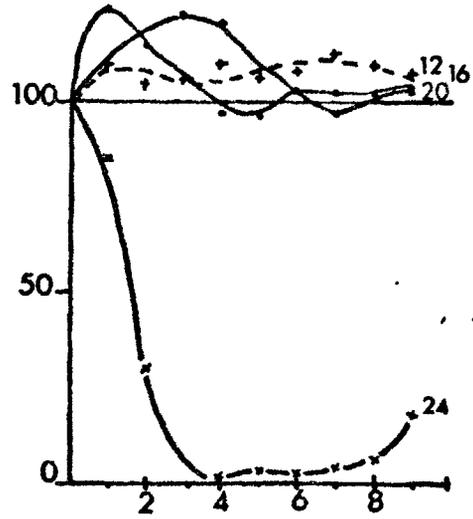


40 mn

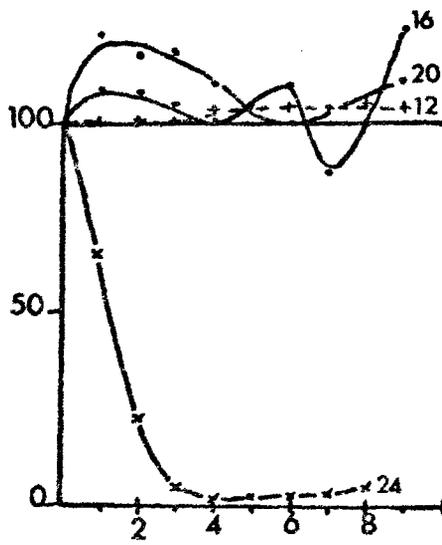
Fig : 7 Pourcentages de développement en fonction du temps pour un $\Delta T: 10^\circ C$ et quatre températures initiales



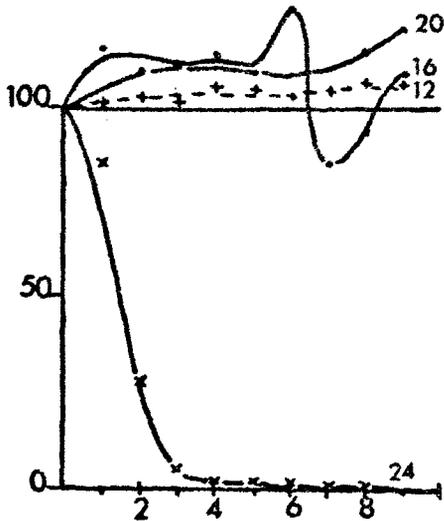
5 mn



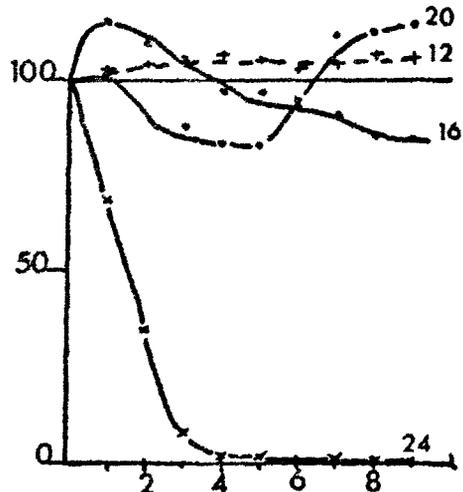
10 mn



15 mn



25 mn



40 mn

Fig : 8 Pourcentages de développement en fonction du temps pour un $\Delta T: 12^{\circ}C$ et quatre températures initiales

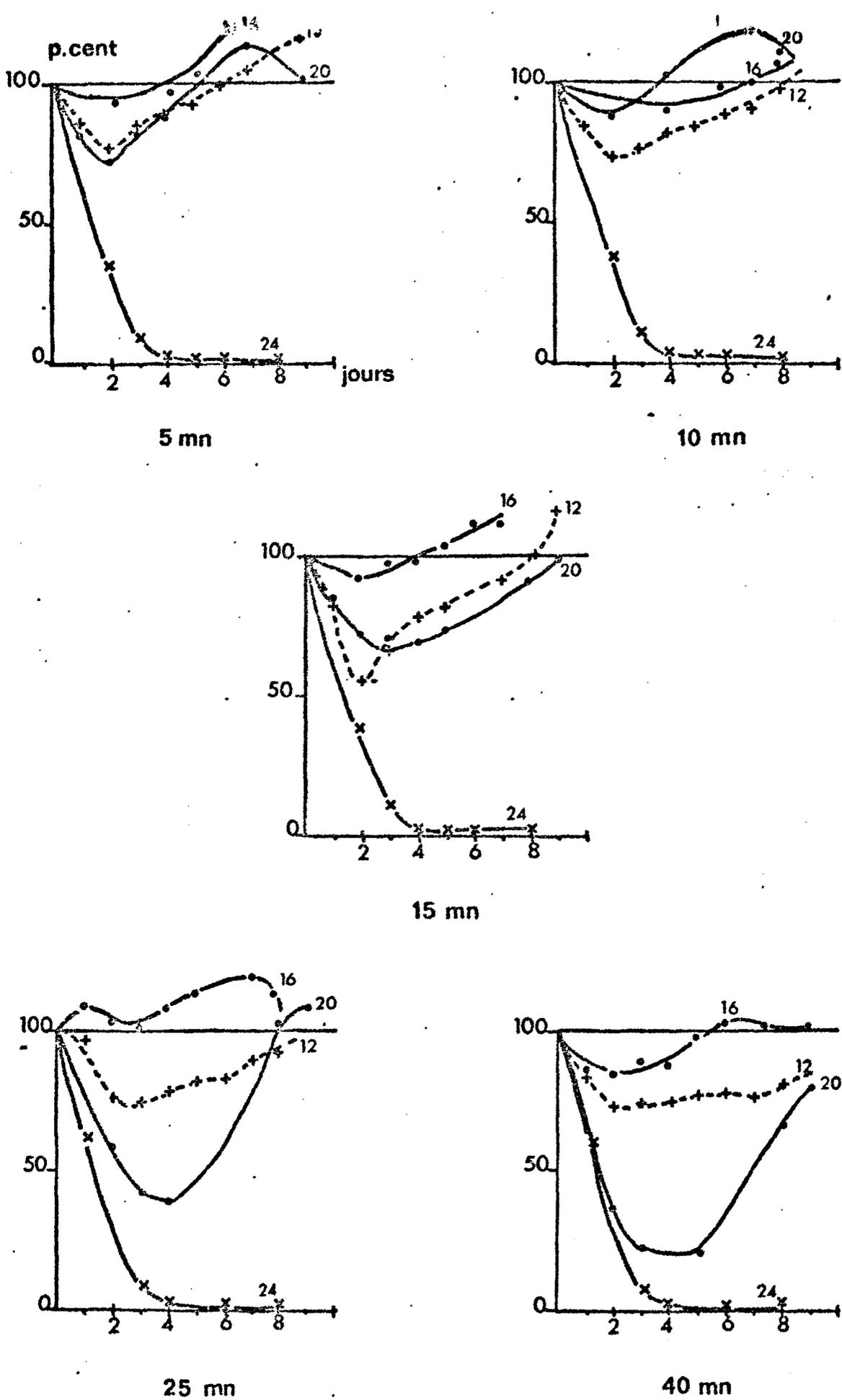


Fig : 9 Pourcentages de développement en fonction du temps pour un $\Delta T: 15^{\circ}C$ et quatre températures initiales

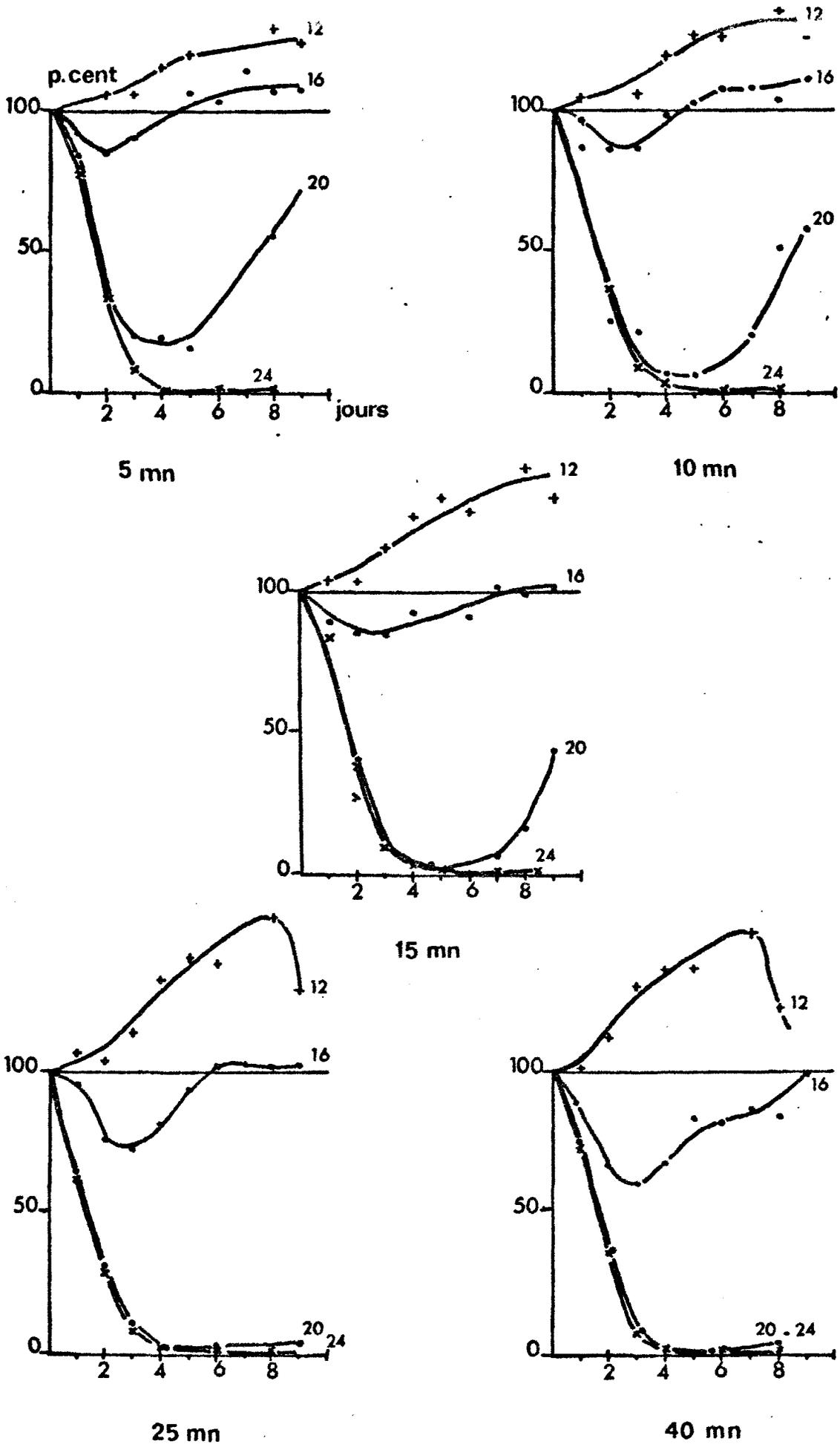


Fig : 10 Pourcentages de développement en fonction du temps pour un $\Delta T : 17^{\circ}C$ et quatre températures initiales

Enfin, avec un ΔT de 17° C, les cultures à 20 et 24° C ont une croissance très amoindrie ou nulle à tous les paliers mais présentent, cependant, une amorce de reprise lorsque le palier est de 5, 10 ou 15 minutes. A 12 et 16° C initiaux, le développement est accru par rapport à celui du témoin. Ces résultats montrent que si l'eau de refroidissement des condenseurs était assez riche en sels nutritifs pour supporter un développement abondant de phytoplancton, il y aurait risque d'eutrophisation.

2°) Concentrations en chlorophylle a

Les annexes 4 à 19 donnent les concentrations en chlorophylles a exprimées en microgrammes par litre de culture ainsi que les densités cellulaires en milliers de cellules par millilitre. Les variations de ces deux paramètres sont étroitement liées (cf figure 2, page 9).

La phaeophytine a été mesurée par la méthode de LORENZEN (1967) (1) sur les cultures en fin d'expérience ; les concentrations mesurées sont nulles ou faibles et restent, dans tous les cas, inférieures à 10 % des valeurs en chlorophylle a. Compte tenu de l'imprécision de la méthode de mesure, il est impossible de certifier l'existence de phaeophytine.

Il semble donc que les chocs thermiques réalisés, au cours de nos expérimentations, n'entraîneraient pas la dégradation des pigments chlorophylliens.

3°) Distributions de tailles

a) Les températures initiales basses : 12 et 16° C

Avec une température d'acclimatation de 12° C, on ne constate pas, vis-à-vis du témoin, de différence positive ou négative supérieure à 30 %, quel que soit les ΔT et les paliers expérimentés (tableau 2 et annexes 20 à 31).

./....

(1) LORENZEN (C.J.), 1967. - Limnol. Oceanogr. 12, 343 - 346.

	Paliers en mn	ELEVATIONS THERMIQUES EN ° C			
		10°	12°	15°	17°
Début de croissance exponentielle	5	- 4	11	- 4	- 11
	10	0	2	- 10	- 11
	15	- 2	1	- 9	- 16
	25	- 3	0	- 6	- 5
	40	5	4	- 8	- 20
Milieu de croissance exponentielle	5	5	- 1	- 27	6
	10	18	- 9	- 25	- 18
	15	30	- 1	- 19	- 22
	25	- 6	6	- 18	- 26
	40	- 7	4	- 22	- 21
Fin de croissance exponentielle	5	10	11	5	- 9
	10	8	3	13	- 2
	15	14	7	8	- 10
	25	11	17	17	3
	40	21	24	9	9

TABLEAU N° 2 : Pourcentages de différence de volume cellulaire total par rapport au témoin pour une température initiale de 16° C et quatre ΔT testés.

Les observations sont similaires en ce qui concerne la température initiale de 16° C (tableau 3 et annexes 32 à 43).

b) Les températures initiales élevées : 20 et 24° C

La température initiale de 20° C n'entraîne pas de modifications notables pour les ΔT 10 et 12° C (tableau 4 et annexes 44 à 54).

En revanche, en fin de croissance exponentielle, on constate pour le ΔT 15° C une diminution croissante des volumes cellulaires parallèlement à l'augmentation de la durée du palier thermique.

Pour le ΔT 17° C la diminution du volume cellulaire apparaît dès le début de la croissance exponentielle et va en s'aggravant au cours du développement.

Enfin, pour une température d'acclimatation de 24° C, l'absence de tout développement cellulaire est très significatif au niveau des tailles des diatomées (tableau 5 et annexes 55 à 62) les différences obtenues étant dès le premier jour de l'ordre de 40 à 80 %. Ces résultats concordent le plus souvent avec ceux obtenus par mesure des concentrations en pigments. Il est important de noter que par cette approche, on peut déceler dans un temps très bref après le choc (12 à 24 heures) les altérations de taille des particules, alors que les différences numériques (comptages) sont encore inexistantes.

./....

	Paliers: en mn	ELEVATIONS THERMIQUES EN °C			
		10°	12°	15°	17°
Début de croissance exponentielle	5	11	22	- 1	1
	10	- 1	- 5	- 21	0
	15	4	0	5	5
	25	- 2	- 10	- 12	15
	40	- 38	- 7	- 28	15
Milieu de croissance exponentielle	5	- 6	7	- 4	0
	10	0	3	- 9	- 8
	15	1	16	- 10	0
	25	- 4	2	- 17	2
	40	- 1	0	- 3	11
Fin de croissance exponentielle	5	- 3	21	7	- 15
	10	5	21	1	- 23
	15	3	30	5	- 24
	25	- 4	- 25	5	- 29
	40	- 6	16	4	- 24

TABLEAU N° 3 : Pourcentages de différence de volume cellulaire total par rapport au témoin pour une température initiale de 16° C et quatre ΔT testés.

	Paliers		ELEVATIONS THERMIQUES EN ° C			
	en	mn	10	12	15	17
Début de croissance exponentielle	5	11	36	10	-20	
	10	11	-	9	-19	
	15	9	9	23	17	
	25	10	6	-24	-32	
	40	13	9	-5	-40	
Milieu de croissance exponentielle	5	4	0	-5	18	
	10	7	4	-16	-21	
	15	23	-2	-11	-42	
	25	5	24	17	-76	
	40	9	5	0	-80	
Fin de croissance exponentielle	5	-	2	-7	-42	
	10	-	-4	-10	-50	
	15	-	-11	-24	-50	
	25	-	-2	-37	-90	
	40	-	1	-46	-96	

TABLEAU N° 4 : Pourcentages de différence de volume cellulaire total par rapport au témoin pour une température initiale de 20° C et quatre ΔT testés.

	Paliers en mn	ELEVATIONS THERMIQUES EN ° C			
		10	12	15	17
Début de croissance exponentielle	5	- 76	- 33	- 42	- 57
	10	- 69	- 35	- 42	- 58
	15	- 90	- 40	- 46	- 74
	25	- 83	- 33	- 55	- 79
	40	- 87	- 34	- 68	- 84
Milieu de croissance exponentielle	5	- 38	- 79	- 83	- 80
	10	- 38	- 78	- 81	- 81
	15	- 44	- 85	- 82	- 84
	25	- 59	-	- 82	- 84
	40	- 62	-	- 85	- 80

TABLEAU N ° 5 : Pourcentages de différence de volume cellulaire total par rapport au témoin pour une température initiale de 24° C et quatre ΔT testés.

IV - ETUDE COMPLEMENTAIRE

Nous nous sommes attachés, par ailleurs, à déterminer l'influence de cinétiques différentes de retour à la température initiale, sur le développement de P. tricorutum. Dans ce but, un montage supplémentaire a été réalisé afin d'obtenir une chute d'environ 10° C en 20 secondes conformément aux récentes études d'E. D. F.

Cette chute pouvait représenter un choc froid pour le plancton transitant dans nos appareillages. Il était donc nécessaire d'étudier les différences obtenues, pour une température initiale, un ΔT et un palier donnés, dans les mortalités observées pour deux cinétiques différentes.

Deux types de descente thermique ont donc été réalisés (Annexe 63) :

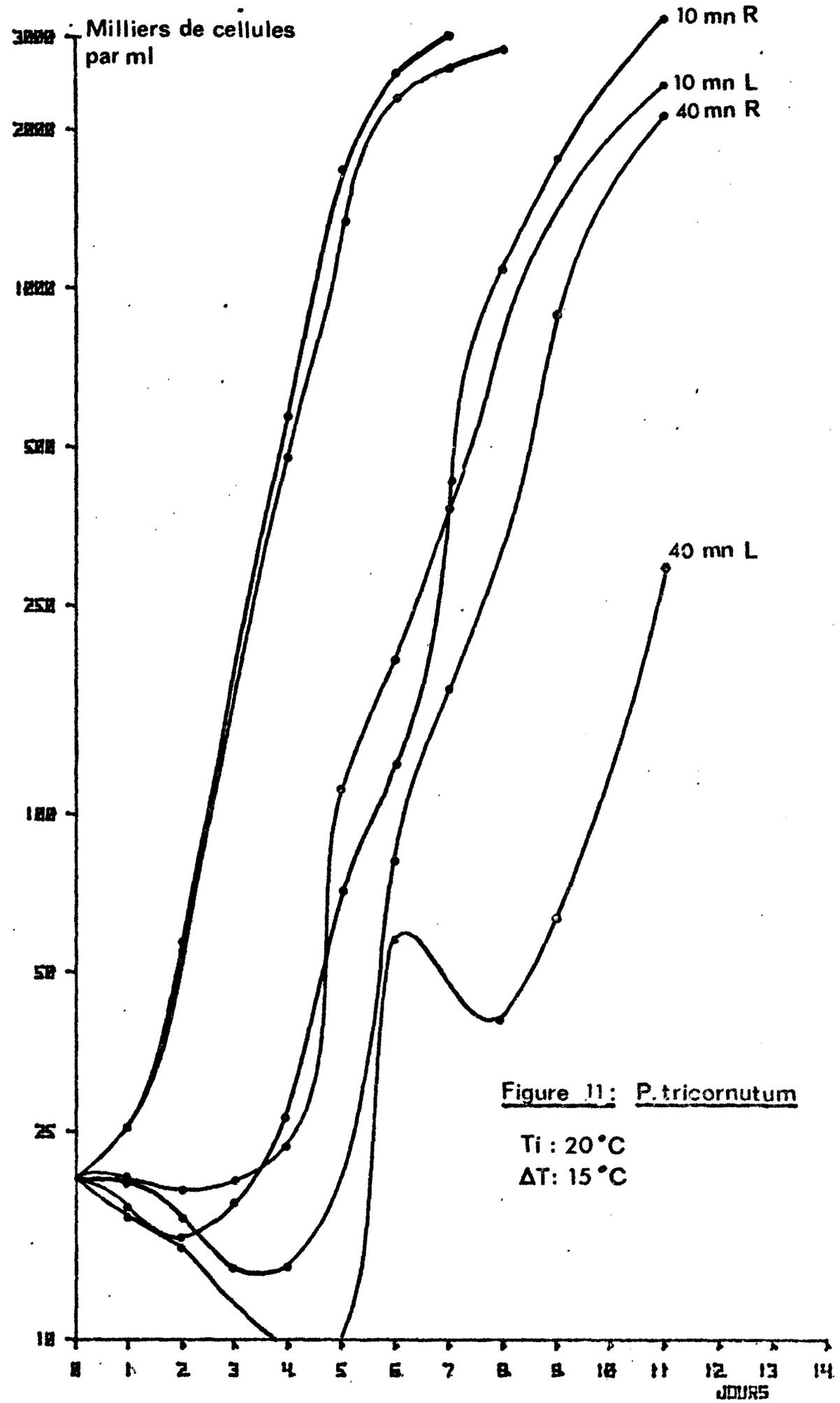
- une descente "lente" (L) reproduisant la limite supérieure du faisceau de courbes communiquées en document (cf. annexe 1) ;
- une descente "rapide" (R) reproduisant la cinétique de retour à la température initiale proposée pour le site de Paluel.

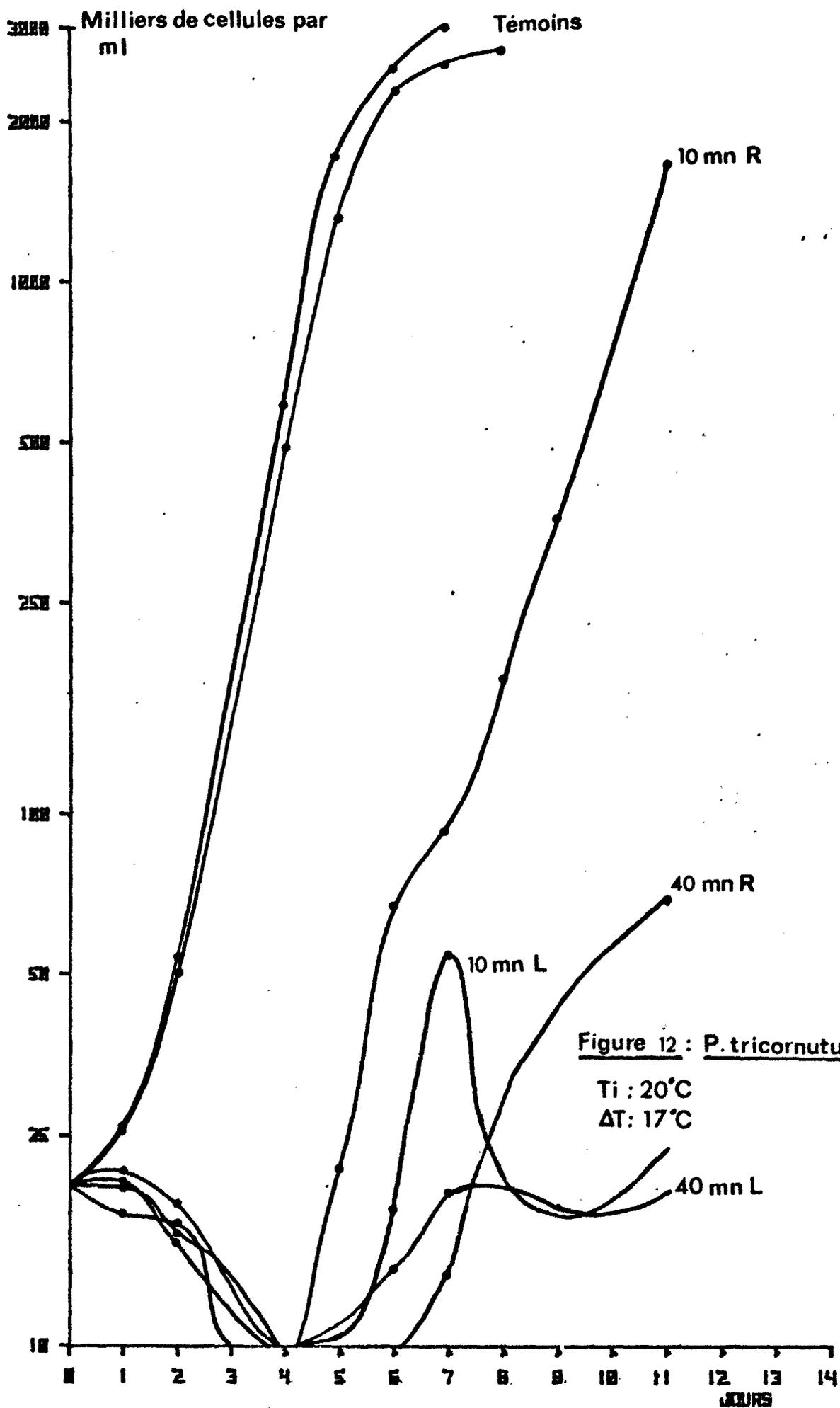
Les résultats sont représentés dans les figures 11 et 12 pour deux paliers (10 et 40 minutes) et deux ΔT (15 et 17° C) appliqués à une température initiale de 20° C.

Il apparaît que le retour "rapide" à la température initiale est moins néfaste que le retour "lent" et que ce type de courbe se retrouve pour les deux ΔT , plus accentué évidemment pour 17° que pour 15°.

Ceci tendrait à réfuter l'hypothèse d'un "choc froid", dans la mesure où ces essais renouvelés sur d'autres espèces aboutiraient aux mêmes résultats ; des expériences supplémentaires devraient être menées. Cependant, la mise au point et le montage d'appareillage autres que ceux existants, conduirait à une remise en question des orientations de l'étude en cours.

./....





V - CONCLUSION

Les résultats obtenus, en ce qui concerne l'influence de chocs thermiques sur une espèce de diatomée Phaeodactylum tricornutum, font apparaître un premier bilan :

des températures initiales basses (12 et 16° C) n'entraînent pas de chute de la croissance après des élévations thermiques comprises entre 10 et 17° C. On constate même, dans certains cas, des augmentations significatives du nombre de cellules dont il conviendrait de tenir compte si l'eau utilisée était particulièrement riche en sels nutritifs. De plus, l'étude des distributions de tailles ne fait apparaître aucune variation significative.

Des températures initiales plus élevées (20 et 24° C), entraînent des retards dans la croissance qui s'accroissent à partir d'une température finale voisinant 34° C, lorsque cette température finale approche 39° C, aucune culture ne peut se développer. La croissance des cultures est d'autant plus amoindrie que le ΔT est élevé et la durée du palier augmentée. Ces températures d'acclimatation, pour des températures finales voisines de 35° C, provoquent des modifications notables de la distribution des tailles cellulaires ; on peut retenir que :

- les différences de volumes cellulaires totaux s'accroissent lorsque le temps de latence augmente,
- les déficiences dans les tailles des cellules s'observent très tôt après le choc (24 heures) alors qu'aucune indication n'est encore décelable au niveau des comptages cellulaires.

Enfin, un retour plus brutal à la température initiale, réduisant pratiquement le choc thermique à la durée du palier, semble moins nocif qu'une descente thermique progressive qui tend à maintenir plus longtemps une ambiance chaude.
