

Chapitre 7

L'Application du Modèle d'Ecosystème Planctonique à la Région Côtière Occidentale Corse

Pour tester l'influence des contraintes physiques sur l'écosystème planctonique de la Région Côtière Occidentale Corse, nous avons appliqué le modèle 1D aux conditions spécifiques des eaux de surface proches de la Baie de Calvi (fig. 7.1) (Skliris, El Khalay, Goffart, Frangoulis et Hecq, 2001). Dans les chapitres précédents, nous avons montré que, dans cette région, le mélange hivernal, l'éclairement, le vent moyen et la succession de coups de coups de vent étaient déterminants pour la stimulation des poussées, pour leur forme plurimodale et pour le déroulement de la séquence des événements planctoniques. (Hecq *et al.*, 1981; Brohée *et al.*, 1989; Goffart, 1992, Goffart, Prieur et Hecq, 1998; Goffart, Hecq et Legendre, soumis pour publication).

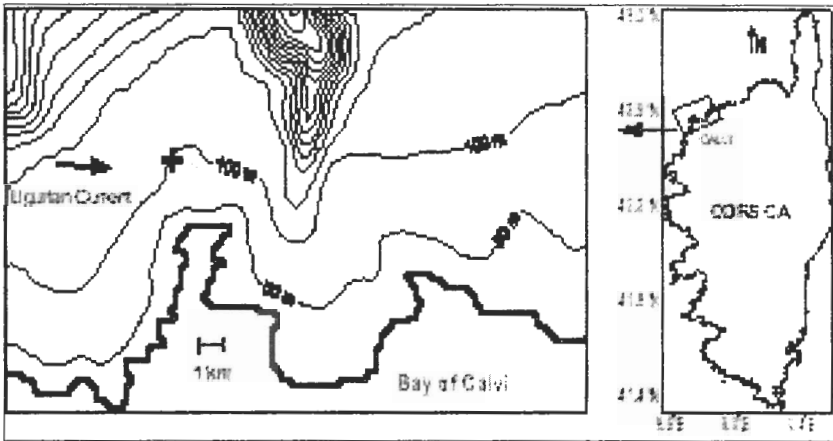


Fig. 7.1. Bathymétrie de la Zone Côtière de Calvi (isobathe tous les 50 m) et localisation de la station où sont obtenues les informations pour initialiser et valider le modèle.

Le modèle 1D physique, utilisé pour tester l'influence de ces contraintes sur l'écosystème planctonique Côte Occidentale Corse, est identique à celui que nous avons développé pour la Mer de Ross. Les seules modifications concernent les conditions initiales de température et de salinité et les forçages atmosphériques calculés à partir des données disponibles (Goffart, Hecq et Legendre, soumis pour publication).

Le modèle biologique est simplifié et ne comprend que six variables représentatives de cet écosystème planctonique en période de poussée printanière: phytoplancton, copépodes, nitrates, ammonium, matière organique particulaire d'origine phytoplanctonique (MPPH) et

matière organique particulaire d'origine zooplanctonique (MPPZ) (fig 7.2). Toutes les concentrations sont converties en unités d'azote [mmol m^{-3} ou mmol m^{-2}]. Le modèle est validé grâce à la série temporelle de données hydrologiques et planctoniques acquises sur presque 25 années à la station de recherche STARESO de l'Université de Liège (Goffart, Hecq et Legendre, 2003).

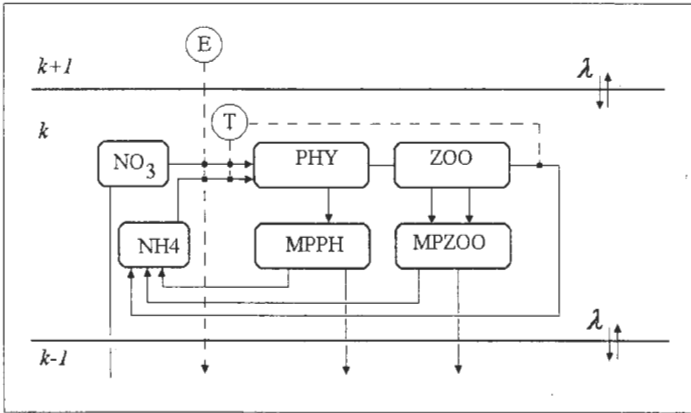


Fig 7.2. Schéma conceptuel du modèle 1D de l'écosystème planctonique simplifié appliqué à la Région Côtière Occidentale Corse. D'après Skliris, El Khalay, Goffart, Frangoulis et Hecq (2001).

7.1. La simulation standard de la poussée printanière

La simulation de l'écosystème planctonique en conditions standard a pour but de montrer la séquence de la poussée printanière, en réponse aux valeurs moyennes des contraintes physiques représentatives de la zone. L'éclairement est obtenu par une fonction sinusoïdale d'ajustement de l'éclairement journalier mesuré sur plusieurs années. La vitesse du vent oscille sinusoïdalement autour d'une valeur moyenne mensuelle, avec une période de 4 jours et une amplitude de 2 m s^{-1} .

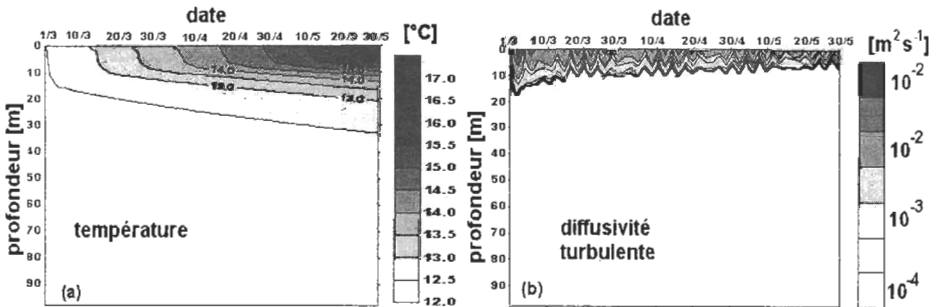


Fig. 7.3. Variation printanière de la structure verticale de la température (a) [$^{\circ}\text{C}$], (b) et de la diffusivité turbulente [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$]. La ligne épaisse représente la profondeur simulée de la couche de mélange (utilisant le critère: $\tilde{\lambda} > 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$). D'après Skliris, El Khalay, Goffart, Frangoulis et Hecq (2001).

Le modèle reproduit le développement de la thermocline saisonnière observé dans la région (fig. 7.2a) et simule l'évolution de la structure verticale de la diffusivité turbulente (fig. 7.3b). La profondeur de la couche de mélange est d'environ 15 m au début de mars et se réduit à 10 m à la fin du mois de mai.

Le modèle simule la variation de la biomasse phytoplanctonique intégrée sur les 50 premiers mètres de la colonne d'eau (fig. 7.4). Il met en évidence la poussée du phytoplancton au début du mois de mars, celle du zooplancton quinze jours plus tard, ainsi que les variations en nutriments qui résultent de leurs activités.

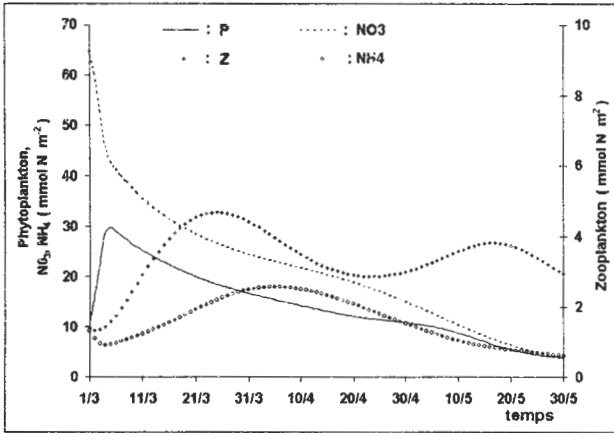


Fig. 7.4. Simulation de la variation saisonnière des concentrations en phytoplancton (P) en zooplancton (Z) en nitrates et en ammonium, intégrées sur les 50 premiers m et exprimées en mmol N m⁻². D'après Skliris, El Khalay, Goffart, Frangoulis et Hecq (2001).

Le modèle simule la distribution verticale des différentes variables biologiques sur une profondeur de 100 m et sa variation au cours du temps (fig.7.5). La biomasse phytoplanctonique simulée maximale (~1.2 mmol N m⁻³ équivalent à 1.87 mg chl *a* m⁻³) est située à 20 m de profondeur (Fig. 7.5a) et correspond aux valeurs mesurées de 1 à 2 mg chl *a* m⁻³ (Hecq *et al.*, 1981; Goffart, 1992).

Le zooplancton est limité aux 50 premiers mètres de la colonne d'eau, où la production primaire est élevée. La concentration maximum simulée du zooplancton (0.27 mmol N m⁻³ équivalent à 58 mg poids sec m⁻³) (fig. 7.5b) est située à 30 m de profondeur et correspond à nos mesures (45 à 105 mg p.s. m⁻³; Hecq *et al.*, 1981; Brohée *et al.*, 1989). A la fin du mois de mars, la distribution verticale des nitrates (fig. 7.5c) présente une couche de surface déprimée (NO₃ < 0.1 mmol N m⁻³) et une nitracine nettement marquée à 30 m. Le maximum de concentration en ammonium (fig. 7.5d) apparaît à 45 m, juste après le pic de zooplancton. La distribution verticale de la matière particulaire d'origine phytoplanctonique (fig. 7.5e) se superpose à celle du phytoplancton.

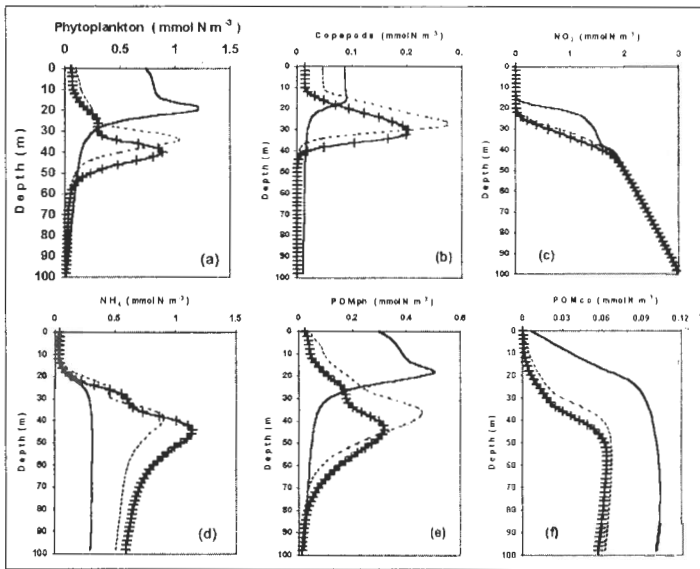


Fig. 7.5. Simulation de la distribution verticale des variables biologiques du modèle à trois dates sélectionnées: le 7 mars (trait plein), le 25 mars (trait pointillé) et le 10 avril (croix). (a) phytoplancton; (b) Copépodes, (c) NO_3 , (d) NH_4 , (e) $MPPH$, (f) $MPZOO$ [$mmol N m^{-3}$] D'après Skliris, El Khalay, Goffart, Frangoulis et Hecq (2001).

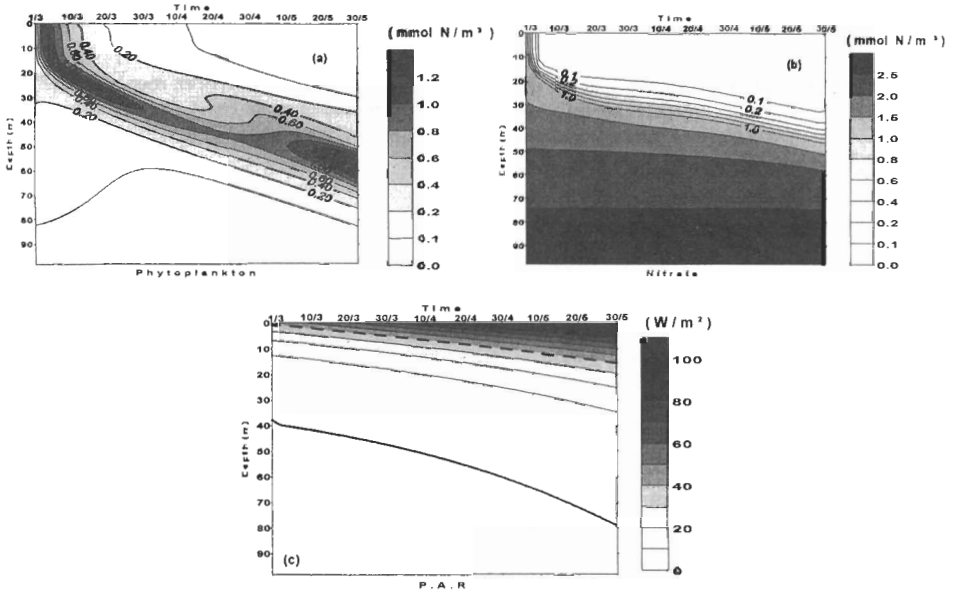


Fig. 7.6. Variations printanière de la structure verticale des concentrations simulées (a) du phytoplancton [$mmol N m^{-3}$], (b) des nitrates [$mmol N m^{-3}$] et (c) de l'éclairement photosynthétiquement actif [$W m^{-2}$]. La ligne épaisse représente la profondeur simulée de la couche euphotique (1% de l'éclairement incident). La ligne en pointillé représente la profondeur d'éclairement optimal calculé par la fonction de Platt *et al.* 1980 (équation 6.15). D'après Skliris, El Khalay, Goffart, Frangoulis et Hecq (2001).

Le modèle simule l'enfoncement du maximum phytoplanctonique après la poussée phytoplanctonique initiale (fig. 7.6.a) observé au large Calvi. Après cette poussée, la limitation par les nitrates et le broutage par le zooplancton amènent la forte diminution du phytoplancton dans la couche de surface et la formation du maximum sub-superficiel prononcé. Cet enfoncement du maximum suit celui de la nitracine (fig. 7.6b) et est régulé par l'éclairement disponible (fig. 7.6c). Le maximum se propage entre la profondeur d'éclairement optimal et la base de la couche euphotique. Il est situé à 30 m à la mi-mars et dépasse 40 m au début du mois d'avril. La vitesse moyenne d'enfoncement du maximum, calculée par le modèle, est d'environ 0.5 m j^{-1} .

Le modèle simule donc bien la séquence des événements planctoniques que nous avons décrite pour la région (Goffart, Prieur et Hecq, 1995): au début du printemps, de fin-février à mi-mars, une poussée phytoplanctonique a lieu dans les couches de surface et est suivie de celle des Copépodes; à partir de la fin mars, les couches de surfaces sont épuisées en nitrates et le maximum sub-superficiel de chlorophylle se déplace vers une profondeur de 20 m et dépasse 40 m au début d'avril. En été, dans des conditions d'éclairement maximal, une seconde poussée planctonique se développe sous la pycnocline, entre 50 et 80 m de profondeur. Ces deux poussées phytoplanctoniques, l'une printanière en surface et l'autre estivale en profondeur, sont caractéristiques des systèmes oligotrophes à stratification saisonnière et ont été identifiées ailleurs en Mer Ligure, au Large de Nice (Villefranche s/Mer) (Lacroix et Nival, 1999).

7.2. La simulation de la réponse de l'écosystème planctonique à un coup de vent fort

À la fin du printemps, la thermocline saisonnière se développe et oppose une barrière au flux vertical des nitrates venant des couches profondes. L'absorption de nitrates par le phytoplancton amène un épuisement total de la couche de mélange.

En l'absence de mouvements verticaux, liés à des divergences côtières ou à des instabilités de la colonne d'eau, la seule possibilité de ramener des nitrates dans la couche de mélange et de stimuler une production phytoplanctonique de type juvénile, est le renforcement de la turbulence par des coups de vent fort comme nous l'avons décrit au niveau de la Côte Occidentale Corse. Ces coups de vent peuvent induire une rapide augmentation de profondeur de la couche de mélange et une déstabilisation de la thermocline.

Utilisant les mêmes conditions de modélisation que dans le paragraphe précédent, nous simulons ce type de coup de vent et la réponse de l'écosystème en imposant une vitesse de vent de 12 m s^{-1} pendant 24 heures, tout autre forçage physique étant maintenu (fig. 7.7).

La simulation montre, suite au coup de vent, une rapide augmentation de la turbulence, un enfoncement de la pycnocline, un enrichissement temporaire en nitrates et une poussée phytoplanctonique supplémentaire 3 jours après le coup de vent, tels que nous l'avons décrit précédemment.

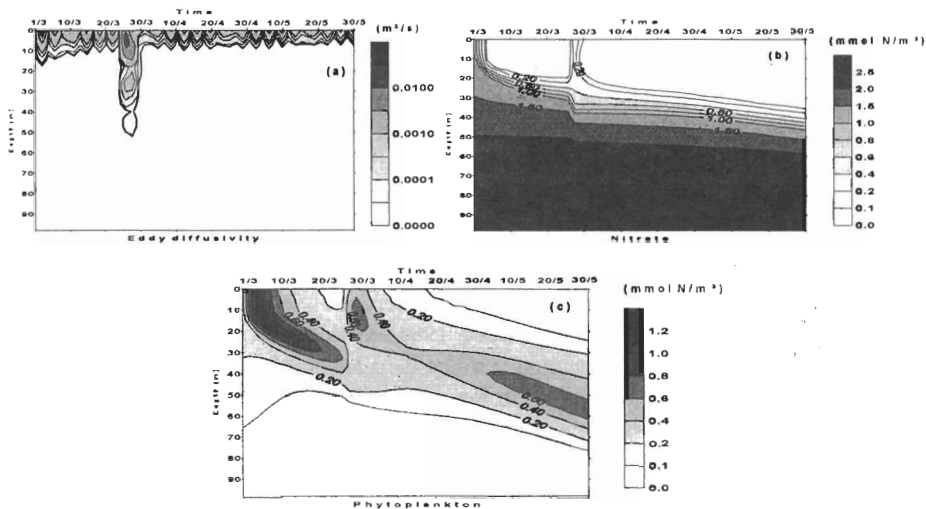


Fig. 7.7. Simulation de l'effet d'un bref coup de vent de 12 m s^{-1} , pendant 24 heures, imposé le 26 mars, sur la variation printanière de la structure verticale (a) de la diffusivité turbulente [$\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$], (b) de la concentration en nitrates [mmol N m^{-3}] et (c) de la concentration en phytoplancton [mmol N m^{-3}]. D'après Skliris, El Khalay, Goffart, Frangoulis et Hecq (2001).

7.3. La simulation des variations de l'écosystème planctonique en Région Côtière de Calvi pour les printemps 1986 et 1988

Nous avons suggéré que la succession des coups de vent, observée en Région Côtière de Calvi étaient responsables de l'aspect plurimodal des poussées planctoniques (Hecq *et al.*, 1981; Brohée *et al.*, 1989; Goffart, 1992).

.De manière à tester cette hypothèse, des simulations sont réalisées pendant la période printanière 1986 (27/02-30/04) et 1988 (28/02-29/04), où plusieurs poussées planctoniques ont été observées. Le modèle a été validé grâce aux mesures quotidiennes de concentrations en nutriments, en chlorophylle *a* et en zooplancton dans l'eau de surface pendant les mêmes périodes (Goffart, 1992; Goffart, Hecq et Prieur, 1995). Les mesures de zooplancton n'ont été effectuées qu'en 1988. Les mesures météorologiques ont été effectuées en temps réel, toutes les 3 heures, pour pouvoir tenir compte de la variabilité des flux de chaleur, de l'éclairement et de la tension du vent, à petite échelle de temps.

Le modèle reproduit l'allure plurimodale de la variation de biomasse phytoplanctonique observée *in situ* (fig. 7.8a,b), bien que les valeurs simulées soient légèrement supérieures aux valeurs mesurées. Le modèle simule également l'apparition des poussées phytoplanctoniques successivement aux coups de vent (fig. 7.8c).

Une simulation appliquée aux conditions du printemps 1988, confirme la concordance des résultats simulés de la biomasse phytoplanctonique et les mesures expérimentales, pour la Région Côtière de Calvi (fig. 7.9).

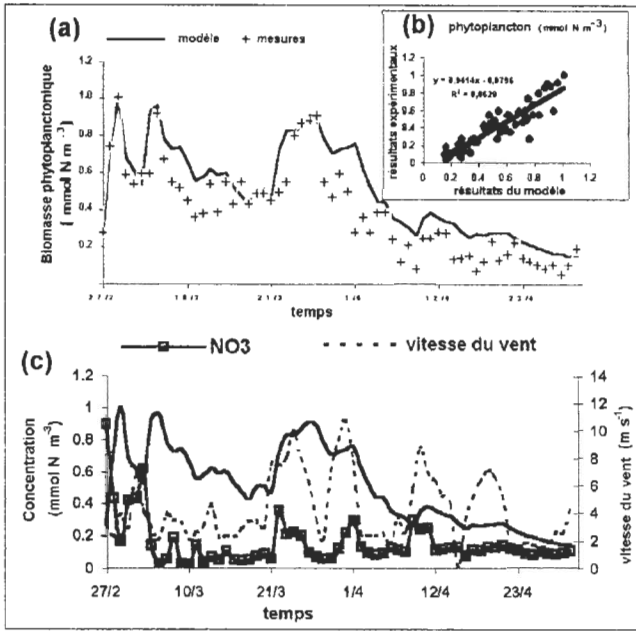


Fig. 7.8. Application dumodèle d'écosystème planctonique à la Région Côtière de Calvi, au printemps, du 27/02 au 30/04/1986): (a) variation temporelle de la concentration du phytoplancton de surface [mmol N m^{-3}] simulée par le modèle (trait plein) et mesurée *in situ* (croix); (b) régression linéaire ($y = 0.9414x - 0.0796$; $R^2 = 0.8629$) indiquant l'écart entre les valeurs [mmol N m^{-3}] calculées et mesurées. (c) variation de la concentration du phytoplancton (trait plein) et des nitrates (carrés) en surface [mmol N m^{-3}] simulée par le modèle. La variation de la vitesse du vent [m s^{-1}] est portée en pointillé. D'après Skliris, El Khalay, Goffart, Frangoulis et Hecq (2001)

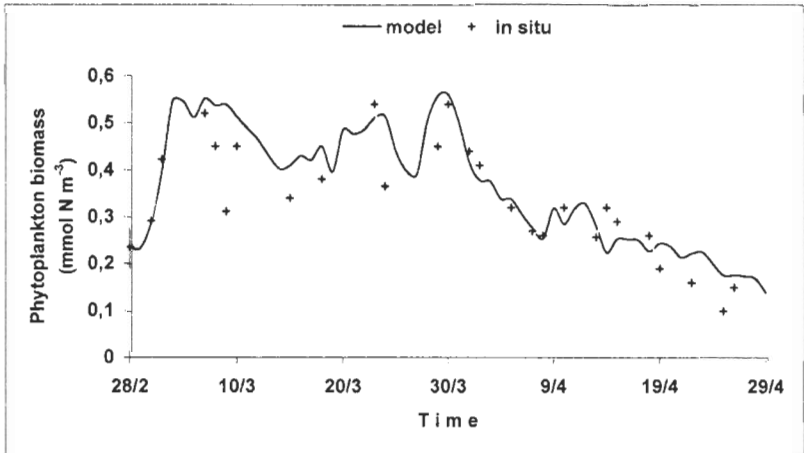


Fig. 7.9. Variation temporelle de la concentration du phytoplancton de surface [mmol N m^{-3}], simulée par le modèle (trait plein) et mesurée *in situ* (croix), en Région Côtière de Calvi, du 28/02 au 29/04/1988. D'après Skliris, El Khalay, Goffart, Frangoulis et Hecq (2001).

Enfin, le modèle simule la poussée de biomasse des Copépodes aux environs du 10 avril, ce qui est en accord avec les mesures expérimentales (Fig. 7.10). Il ne reproduit cependant pas les variations à l'échelle de la semaine, visibles dans la réalité. Cette imprécision provient du fait que divers processus essentiels, intervenant dans le contrôle de la variabilité du zooplancton, ne sont pas inclus dans cette version du modèle.

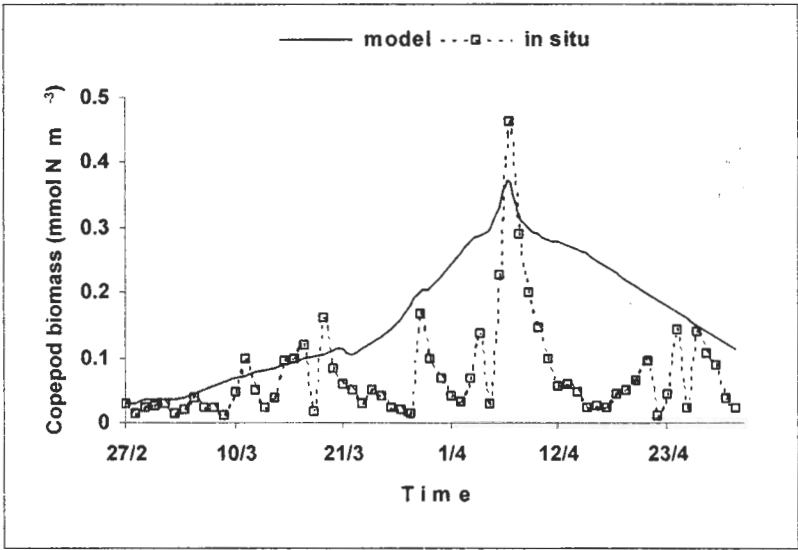


Fig. 7.7. Variations de la biomasse des Copépodes de surface [mmol N m⁻³] mesurée *in situ* (carrés) et simulée par le modèle (trait plein), en Région Côtière de Calvi, du 27/02 au 30/04/1986. D'après Skliris, El Khalay, Goffart, Frangoulis et Hecq (2001).