



UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

Modélisation des écosystèmes aquatiques : rapport de travaux pratiques

MODULE DE CROISSANCE DU ZOOPLANKTON AVEC UNE SEULE PROIE
OU DEUX PROIES

TP 4 (19/11) et TP 5 (22/11)

Auteurs :

Samuel Martin (Master Sciences et Technologies de l'Environnement) et
Guillaume Buisson-Chavot (Master Bioinformatique et modélisation)

Année académique 2019-2020

TP 4

CROISSANCE DU ZOOPLANKTON AVEC UNE SEULE PROIE

A. Module et application

L'objectif de ce premier module est de modéliser la croissance du zooplancton lorsqu'il n'y a qu'une seule proie (Diatomées). Pour ce faire, dans un premier temps, nous allons analyser comparativement 3 fonctions de broutage différentes : la fonction type Michaelis-Menten (MIC), la fonction type Michaelis-Menten avec seuil (MIC_SEUIL) et la fonction de Holling (HOL). Dans un second temps, nous allons analyser l'impact des conditions initiales et des différents paramètres sur la croissance du zooplancton au moyen de test de sensibilités en utilisant la fonction de Holling.

Dans le modèle à une seule proie, nous avons deux variables d'état, à savoir la biomasse en diatomées DA et la biomasse en mésozooplancton (MSZ) auxquelles nous allons nous intéresser. Celles-ci sont régies par les équations d'état suivantes :

$$1. \quad \frac{\partial DA}{\partial t} = \mu_{DA} \cdot DA - \text{graz}_{MSZ} \cdot MSZ$$

Cette équation d'état décrit la variation de la concentration en phytoplancton (exprimée en mmolC/m³) au cours du temps. La croissance de DA est dépendante de la température et de la lumière (car on suppose les nutriments non-limitants). Les paramètres de croissance sont ceux décrits dans les modules « phytoplancton » et ont été intégrés dans μ_{DA} . Le terme positif est le terme de croissance et vaut la concentration en phytoplancton DA multiplié par le taux de croissance. La mortalité des DA est uniquement due au broutage graz_{MSZ} (car on fait l'hypothèse que la mortalité par lyse est inexistante) et vaut le taux de broutage graz_{MSZ} multiplié par la concentration en mésozooplancton MSZ.

$$2. \quad \frac{\partial MSZ}{\partial t} = [(1 - \text{eges}_{MSZ}) \cdot \text{graz}_{MSZ} \cdot Y_{MSZ} - \text{mm}_{MSZ}] \cdot MSZ$$

Cette équation d'état décrit la variation de la concentration en mésozooplancton (exprimée en mmolC/m³) au cours du temps. La croissance de MSZ est déterminée par l'ingestion, l'égestion,

l'efficacité de croissance et la mortalité. E_{MSZ} représente la proportion de ce qui est égesté (ce qui est rejeté du zooplancton sous forme de pelotes fécales), $graz_{MSZ}$ le taux de broutage (qui dépendra de la fonction de broutage utilisée), Y_{MSZ} l'efficacité de croissance et mm_{MSZ} la mortalité du mésozooplancton.

Les différentes fonctions pour le taux de grazing sont les suivantes :

$$graz_{MSZ} = g_{MSZ} \max(T) \cdot \frac{DA}{kg_{MSZ} + DA} \quad (\text{Michaelis-Menten})$$

ou

$$graz_{MSZ} = g_{MSZ} \max(T) \cdot \frac{DA - DA_0}{kg_{MSZ} + (DA - DA_0)} \quad (\text{Michaelis-Menten avec seuil})$$

ou

$$graz_{MSZ} = g_{MCZ} \max(T) \cdot \frac{DA^2}{kg_{MSZ}^2 + DA^2} \quad (\text{Holling})$$

Où $g_{MSZ} \max(T)$ représente le taux de broutage maximal à température optimale (en jour^{-1}), DA la concentration en phytoplancton (mmolC/m^3), kg_{MSZ} la constante de demi-saturation de grazing (en mmolC/m^3), et DA_0 la concentration seuil minimale pour laquelle il y a grazing (mmolC/m^3).

Si on représente ces fonctions graphiquement, avec $g_{MSZ} \max(T) \approx 1 \text{ jour}^{-1}$

($g_{MSZ} \max(T) = 1,2 \cdot e^{(-10-16,3)^2/13,7^2} \approx 0,97 \text{ jour}^{-1}$) et $Kg_{MSZ} = 10 \text{ mmolC}/\text{m}^3$, on a:

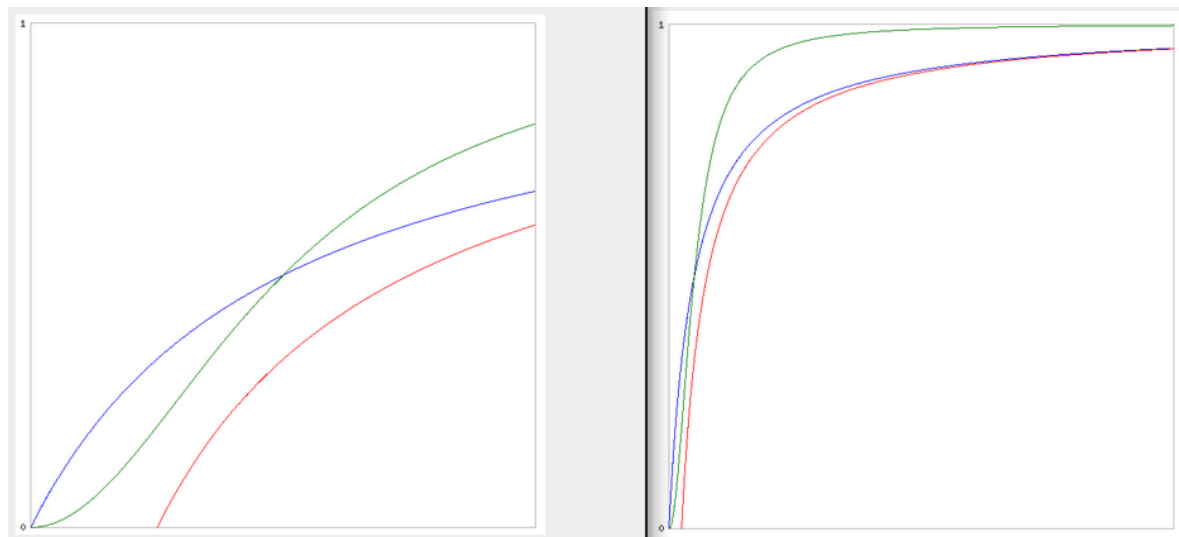


Figure 1: taux de grazing en fonction de la concentration en proie (1 seule proie) pris entre 0 et 20 mmolC/m^3 (courbe de gauche) puis entre 0 et 200 mmolC/m^3 (courbe de droite). Les 3 différentes fonctions de grazing sont représentées : bleu = Michaelis-Menten ; rouge = Michaelis-Menten avec seuil, vert = Holling.

Dans notre modèle, on retrouve également les paramètres suivants :

<u>Paramètres ZOO</u>	<u>signification</u>	<u>valeur</u>	<u>unités</u>
$g_{MSZmaxo}$	Taux de grazing à température opt.	1.2	Jour ⁻¹
T_{opt}	Température opt	16.3	°C
d_{opt}	Delta T	13.7	°C
kg_{MSZ}	Cte de grazing	10	mmoleC.m ⁻³
Y_{MSZ}	Efficience de croissance	0.25	-
e_{ges}	Taux d'égestion	0.1	-
mm	Taux de mortalité	0.05	Jour ⁻¹

Tableau 1 : paramètres de référence, signification, valeurs et unités

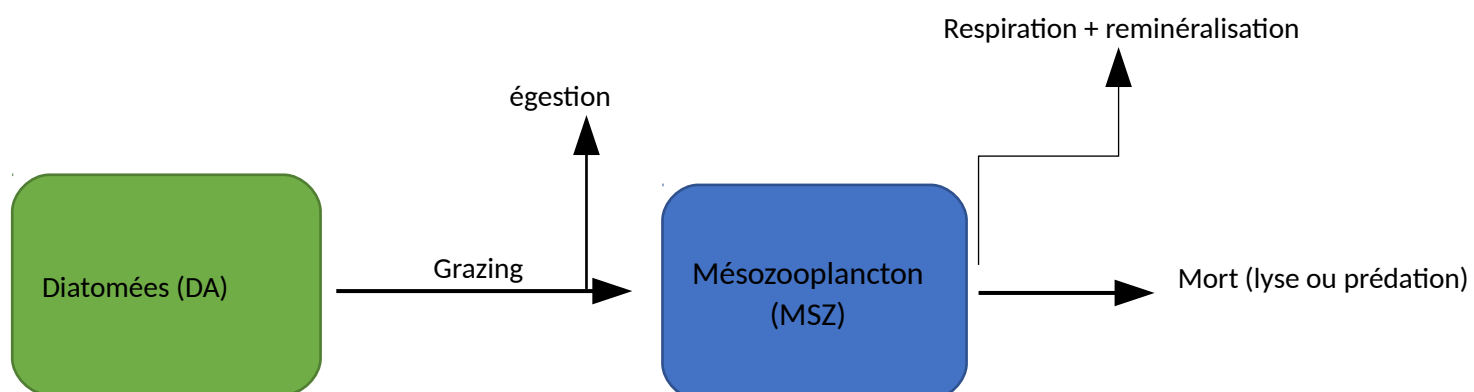
C'est dans le test 2 que nous allons modifier la valeur de ces paramètres afin d'observer la réponse du modèle au changement (tests de sensibilité).

Nous avons comme conditions initiales pour nos variables d'état :

<u>Variables</u>	<u>Référence</u>	<u>unités</u>
DA	5	mmoleC.m ⁻³
MSZ	1	mmoleC.m ⁻³

Tableau 2 : conditions initiales des variables d'état

B. Modèle conceptuel



C. Résultats et discussion

1. Étude comparative des 3 fonctions de grazing :

Dans cette simulation, nous allons étudier comparativement les 3 fonctions de grazing en utilisant les conditions et paramètres de référence. Nous observerons la réponse du modèle à 35 jours et 150 jours pour une analyse plus poussée.

a. Fonction de Holling:

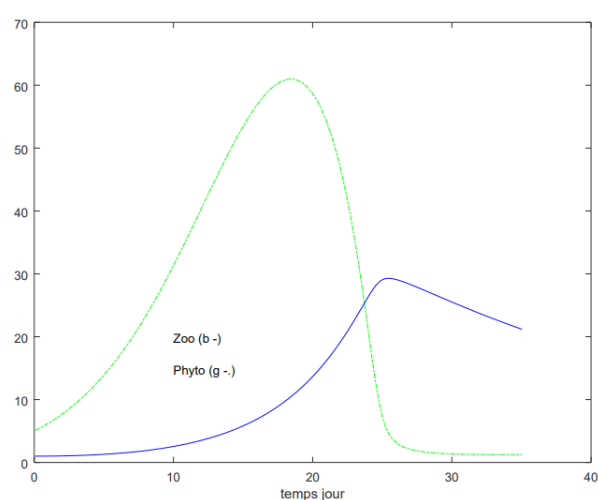


Figure 2 : Biomasse obtenue en DA et MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling)

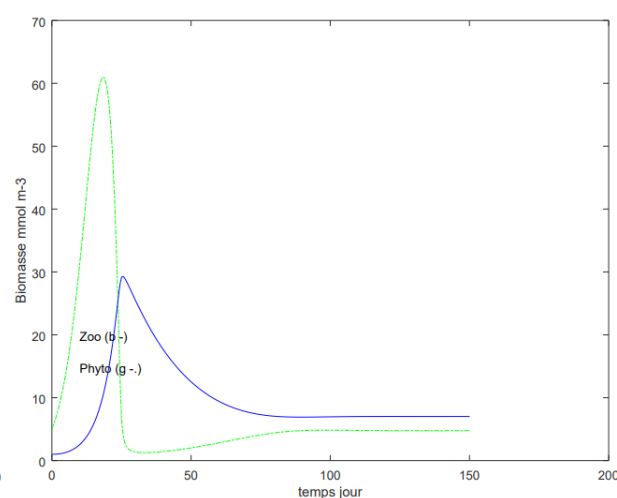


Figure 3 : Biomasse obtenue en DA et MSZ en fonction du temps sur 150 jours (Holling)

Figure 2:

La concentration initiale en phytoplancton est 5 fois plus élevée que celle en mésozooplancton (5 mmolC/m³ contre 1mmolC/m³). La concentration en DA augmente exponentiellement au cours du temps (avant d'atteindre son maximum un peu avant 20 jours), ce qui signifie que le terme positif de croissance de l'équation d'état 1 est supérieur au terme négatif de mortalité. Pour que le zooplancton puisse croître, il faut également que le terme positif de l'équation d'état 2 soit supérieur au terme négatif. Le terme positif dépend de la concentration en DA. Il faut que celle-ci s'élève car le taux de broutage augmente avec cette concentration. La concentration en MZP augmente donc aussi exponentiellement avec l'augmentation en DA et la pente de croissance atteint son maximum lorsque la concentration en DA est maximale.

Au maximum de biomasse de DA (environ 60 mmolC/m³), le facteur de croissance est égal au facteur de mortalité. Ceci est atteint quand la concentration en MZP est telle que la mortalité devient trop importante et égale puis surpasse la croissance des DA (et on entre alors dans la phase de décroissance).

C'est également au maximum en DA que la pente de croissance en MZP est maximale. Après que le maximum en DA ait été atteint, le DA décroît et la pente de croissance en MZP diminue petit à petit jusqu'à devenir nulle (et on atteint alors le maximum en MZP de 30 mmolC/m³ à environ 26 jours), lorsque le facteur positif de croissance en MZP égale le facteur de mortalité, ce qui signifie que le broutage est trop faible pour compenser la mortalité du mésozooplancton. Après ce maximum, le MZP décroît petit à petit à cause de sa mortalité et du broutage trop faible jusqu'au jour 35.

Figure 3 :

Tout ce qui se passe jusqu'au jour 35 a été décrit précédemment. Sur cette figure, on observe que la biomasse en DA arrive jusqu'à un minimum aux environs du 35^{ième} jour et ensuite recroît petit à petit pour devenir constante à environ 90 jours. Ce minimum atteint correspond à la pente de décroissance la plus élevée pour le MZP (car c'est là que le taux de broutage est le plus faible). Ensuite, la pente de décroissance en MZP diminue petit à petit (avec l'augmentation en DA) pour devenir constante aussi vers le 90^{ième} jour. A partir de là, on obtient un équilibre entre les deux courbes. Le broutage compense la croissance en DA. La mortalité en MZP compense sa croissance par broutage. Cet équilibre dépend des différents paramètres des DA et des MZP ($e_{\text{ges}_{\text{MSZ}}}$, $k_{\text{g}_{\text{MSZ}}}$, Y_{MSZ} , m_{MSZ} , g_{MSZmax_0} , μ_{DA}) et vaut 10 mmolC/m³ pour le MZP et 8 mmolC/m³ pour les DA.

b. Michaelis-Menten sans seuil

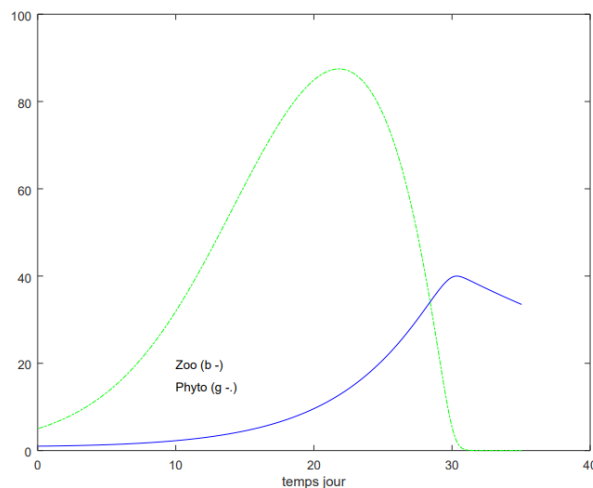


Figure 4 : Biomasse obtenue en DA et MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Michaelis sans seuil)

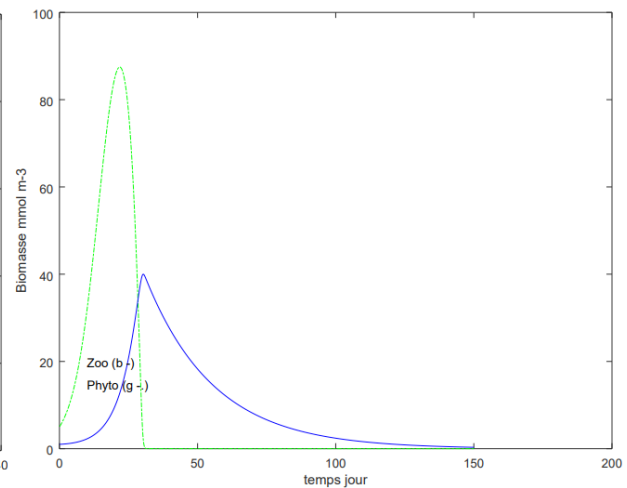


Figure 5 : Biomasse obtenue en DA et MSZ en fonction du temps sur 150 jours (Michaelis sans seuil)

Figure 4 :

Par rapport à la fonction HOL, le maximum de biomasse phytoplanctonique atteinte est plus élevée (environ 90 mmolC/m³ contre 60). Ce maximum est atteint plus tardivement également. Ceci

s'explique par le fait que d'une manière générale le taux de grazing est plus important dans HOL que dans MIC (termes au carré) et en conséquence la mortalité du phytoplancton est plus importante dans HOL que dans MIC. On se retrouve donc avec un max de biomasse en DA qui survient plus tardivement dans MIC et qui est plus importante (90 mmol/m^3 vers le 23^{ième} jour).

Le zooplancton obtient en conséquence un maximum de biomasse plus important par rapport à HOL car plus de phytoplancton est disponible tout le long de la simulation. Son maximum de biomasse est atteint plus tard car l'arrêt de la croissance survient plus tard également (lorsque la concentration en DA est proche de 0).

Figure 5 :

Une fois le max de DA atteint, on entre dans une phase de décroissance car le broutage par MSP est important (grande concentration en MSP). Cette décroissance va continuer jusqu'à ce que le broutage épuise complètement le phytoplancton au bout du 31^{ième} jour où cette concentration atteint 0. A partir de là, le zooplancton s'éteint exponentiellement car seul le terme de la mortalité naturelle joue (il n'y a plus du tout de croissance car plus de broutage).

c. Michaelis-Menten avec seuil

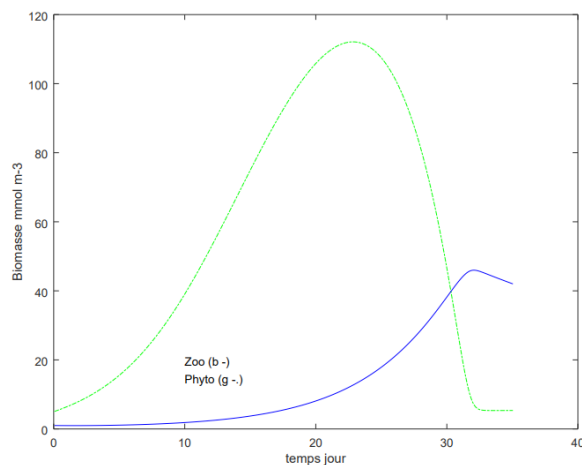


Figure 6 : Biomasse obtenue en DA et MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Michaelis avec seuil)

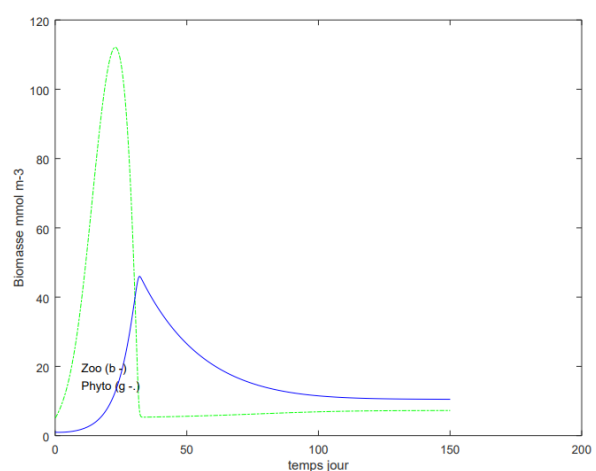


Figure 7 : Biomasse obtenue en DA et MSZ en fonction du temps sur 150 jours (Michaelis avec seuil)

Figure 6 :

La biomasse du phytoplancton ne peut pas descendre en dessous de la valeur seuil DAO car sinon le taux de grazing vaut 0 et cela arrête la mortalité du phytoplancton. A partir de cette valeur seuil (5 mmolC/m^3), le zooplancton croît petit à petit à mesure que la concentration en phytoplancton augmente. Cette croissance du phytoplancton, en termes de max de biomasse, est d'ailleurs plus élevée que pour MIC car le taux de grazing du zooplancton est à chaque instant plus faible (d'une valeur DAO). De même, la vitesse de croissance du zooplancton s'en retrouve ralentie quand on le

compare à MIC sans seuil car ce taux de grazing est à chaque instant plus faible (surtout aux petites valeurs de DA). On se retrouve donc avec un maximum de biomasse en phytoplancton plus important (environ 113 mmolC/m³ contre 60) et qui survient un peu plus tardivement. En conséquence, le maximum de biomasse en MSP est plus important et survient également plus tard (47 mmolC/m³ au 33^{ième} jour) car on a plus de DA. On observe qu'après le maximum de biomasse phytoplanctonique, la biomasse décroît de manière importante (car le grazing est important puisqu'on la concentration en MSP est élevé) jusqu'au 32^{ième} jour où elle semble se stabiliser pour croître légèrement.

Figure 7 :

Sur le long terme, on observe qu'après la décroissance jusqu'au 32^{ième} jour, la biomasse en phytoplancton s'arrête de décroître. Ceci est dû au fait qu'elle ne peut jamais descendre en dessous de la valeur seuil DA0 car si cette valeur seuil est atteinte, cela signifie que le broutage et donc la mortalité du phytoplancton est nulle. La biomasse croît donc légèrement au fur et à mesure que MSP décroît (car la concentration en DA est petite) et les deux courbes viennent se stabiliser vers le 110^{ième} jour, avec un DA légèrement au-dessus de cette valeur seuil. Ainsi, on obtient un équilibre de biomasse en DA et MSP car l'on a une concentration en DA qui permet un taux de broutage telle qu'on obtient un équilibre en MSP (le terme de croissance par le broutage est égal à la mortalité).

d. Conclusion pour le choix de fonctions :

Il est clair que les maximas atteints en biomasse de phytoplancton et zooplancton dépendent de la fonction de grazing utilisée. De plus, on remarque que le max de biomasse du zooplancton est dépendant du max de biomasse du phytoplancton. Au plus le maximum de DA est élevé, au plus le maximum en MSP le sera également.

Les maximums atteints étaient plus élevés pour la fonction de Michaelis-Menten avec seuil et les plus faibles pour la fonction de Holling. Ceci indique qu'au plus le taux de broutage est important (Holling), au plus la biomasse phytoplanctonique sera faible et en conséquence la biomasse zooplanctonique sera faible également. A l'inverse, au plus le taux de grazing est faible, au plus le phytoplancton aura le temps de croître et le zooplancton aura plus de ressources disponibles pour croître également.

2. Tests de sensibilité

a. Test 1

$g_{MSZmaxo}$ est passé de 1.2 à 2 jour⁻¹

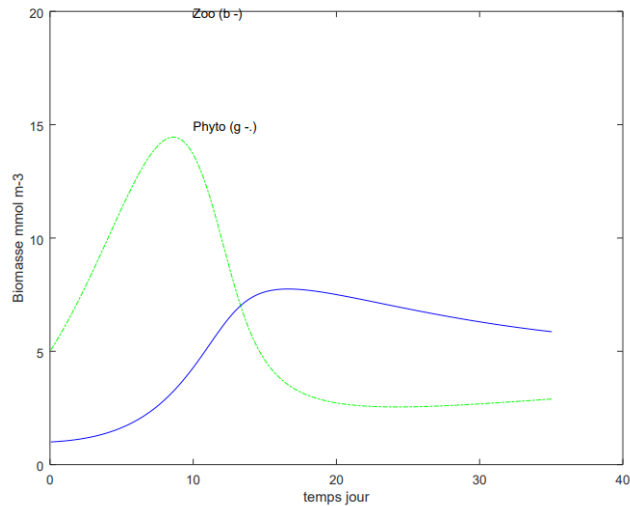


Figure 8 : Biomasse obtenue en DA et MSZ en fonction du temps suivant HOL avec $g_{MSZmaxo} = 2 \text{ jour}^{-1}$

Pas de surprise : le taux de grazing maximum étant plus élevé, le taux de broutage réel l'est également (et ce à tout instant) et on se retrouve avec une croissance du phytoplancton limitée, ce qui a pour conséquence de limiter la croissance du zooplancton. Les 2 pics sont atteints tôt et sont faibles par rapport à la référence (Hol 35 avec paramètres initiaux).

b. Test 2

Kg_{MSZ} passe de 10 à 25 mmoleC/m³

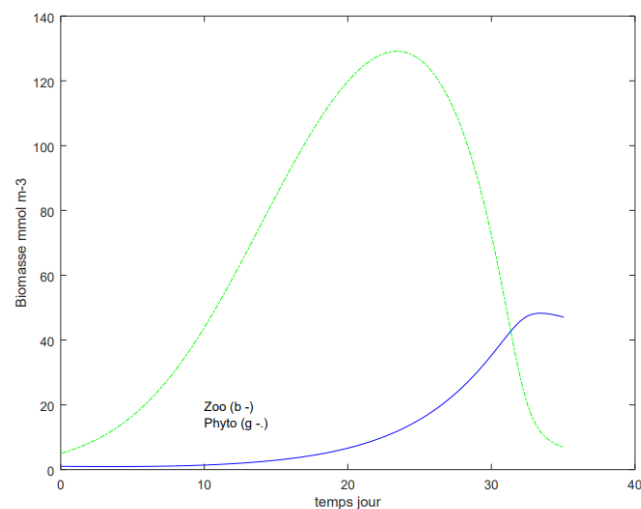


Figure 9 : Biomasse obtenue en DA et MSP en fonction du temps suivant HOL avec $kg_{MSZ} = 25 \text{ mmoleC/m}^3$

$K_{g_{MSZ}}$ étant plus élevé, le taux de grazing est beaucoup plus faible (car $K_{g_{MSZ}}$ intervient au dénominateur dans la fonction de Holling, et est au carré). Il en résulte que le broutage du phytoplancton est beaucoup plus faible et il peut donc croître plus longtemps et atteindre un maximum de biomasse beaucoup plus élevé. En conséquence, le maximum de MSP l'est aussi.

c. Test 3

$K_{g_{MSZ}}$ passe de 10 à 5 mmoleC/m³ (divisé par 2).

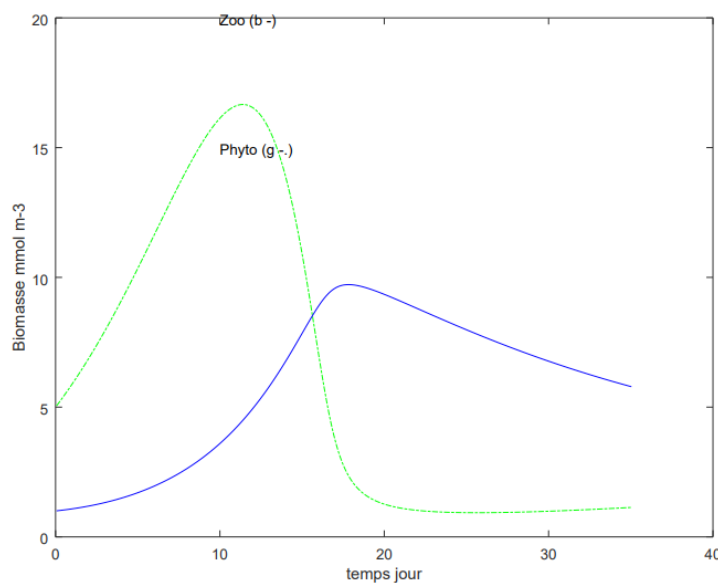


Figure 10 : Biomasse obtenue en DA et MSP en fonction du temps suivant HOL avec $k_{g_{MSZ}} = 5 \text{ mmoleC/m}^3$

$K_{g_{MSZ}}$ étant divisé par deux, l'affinité du zooplancton pour le phytoplancton est deux fois plus élevée. Le taux de grazing sera plus important ($K_{g_{MSZ}}$ intervenant toujours au dénominateur) et en conséquence le phytoplancton aura un maximum de biomasse moins élevé. Il en va de même pour le zooplancton.

d. Test 4

Y_{MSZ} est passé de 0.25 à 0.5 par rapport à la référence (doublé).

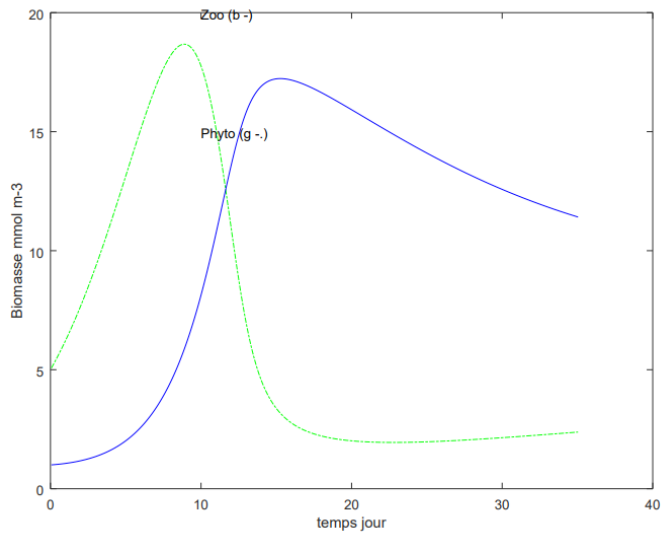


Figure 11 : Biomasse obtenue en DA et MSP en fonction du temps suivant HOL avec $Y_{MSZ} = 0.5$

Ici, on a doublé l'efficacité de croissance par 2. Les deux maxima de biomasse (DA et MSP) sont assez proches. Comme l'efficacité de croissance du zooplancton a été doublée, sa croissance est « boostée ». Son maximum de biomasse est atteint beaucoup plus rapidement et est plus élevé (car 1 unité de phytoplancton lui permettra de croître beaucoup plus). Le broutage du phytoplancton sera également plus important car à chaque instant t la concentration en zooplancton sera plus élevée. Il en résulte que le maximum de biomasse atteint par le phytoplancton est plus faible.

e. Test 5

mm est passé de 0.05 à 0.01

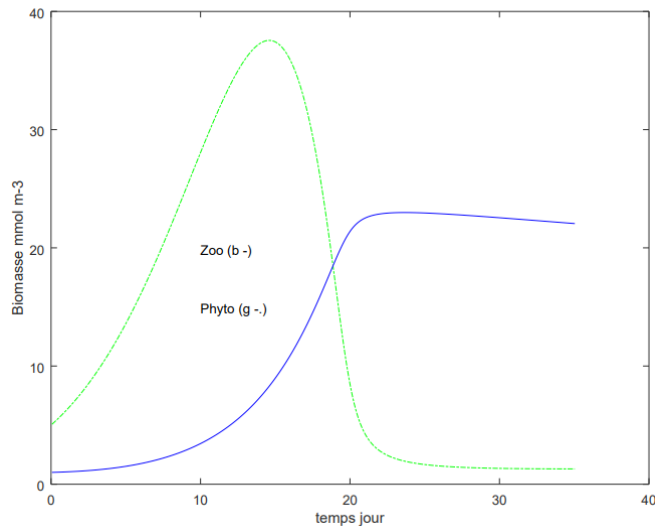


Figure 12 : Biomasse obtenue en DA et MSP en fonction du temps suivant HOL avec $mm_{MSZ0} = 0.01j^{-1}$ au lieu de $0,05 j^{-1}$

Ici, la mortalité du zooplancton a été réduite par un facteur 5. Si sa mortalité est réduite, on aura une croissance en zooplancton plus élevée (à chaque instant moins de zooplancton meurt) et donc le broutage sera plus conséquent. Si le broutage est plus conséquent, la croissance du phytoplancton est réduite et son maximum de biomasse du phytoplancton est plus bas ce qui a pour résultante d'impacter également le maximum de biomasse du zooplancton, qui est plus bas lui aussi par rapport à la référence (mais de peu car compensée par une mortalité plus faible). Une fois ce maximum atteint, on voit bien que la décroissance du zooplancton est moins rapide (toujours à cause de ce mm réduit).

Conclusion des tests de sensibilité

On se rend compte que les maxima de biomasse atteints vont être principalement déterminés par le taux de broutage (déterminé par la fonction de Holling), qui dépend directement de la constante de demi-saturation de broutage kg_{MSZ} et de $g_{MSZmaxo}$. Si on augmente kg_{MSZ} , on augmente la valeur au dénominateur et le taux de grazing devient plus faible ce qui a pour conséquence d'augmenter les max de biomasse atteints. Si on le diminue, l'inverse se produit. Si on augmente $g_{MSZmaxo}$ on augmente directement le taux de grazing et donc on diminue les pics de biomasse atteints. L'efficacité de croissance et la mortalité du zooplancton ont aussi leur rôle à jouer car ils influencent indirectement le taux de grazing, en favorisant ou non la croissance du zooplancton et donc le broutage que celui-ci exerce.

TP 5

CROISSANCE DU ZOOPLANCTON A DEUX PROIES

A. Module et application

L'objectif de ce second module est de modéliser la croissance du zooplancton lorsqu'il y a deux proies (Diatomées et Dinoflagellés). Pour ce faire, dans un premier temps, nous allons analyser comparativement 2 situations différentes : lorsque le grazing est non sélectif et lorsqu'il est sélectif. Dans un second temps, nous allons analyser l'impact du changement des concentrations initiales pour les deux proies (Diatomées et Dinoflagellés) et l'impact du changement des concentrations initiales pour le mésozooplancton (MSZ) en utilisant la fonction de Holling.

Dans le modèle à deux proies, nous avons trois variables d'état, à savoir la biomasse en diatomées DA, la biomasse en dinoflagellés DINO et la biomasse en mésozooplancton (MSZ) auxquelles nous allons nous intéresser. Celles-ci sont régies par les équations d'état suivantes :

1. Pour les proies :

$$\frac{\partial DA}{\partial t} = \mu_{DA} \cdot DA - \text{graz}_{MSZ/DA} \cdot MSZ$$

et

$$\frac{\partial DINO}{\partial t} = \mu_{DINO} \cdot DINO - \text{graz}_{MSZ/DINO} \cdot MSZ$$

Tous les paramètres ont déjà été décrits précédemment, seuls les paramètres $\text{graz}_{MSZ/DA}$ et $\text{graz}_{MSZ/DINO}$ vont prendre des formes différentes selon que le grazing sera non sélectif ou sélectif.

2. Pour le mésozooplancton :

$$\frac{\partial MSZ}{\partial t} = [(1 - \text{eges}_{MSZ}) \cdot \text{graz}_{MSZ} \cdot Y_{MSZ} - mm_{MSZ}] \cdot MSZ$$

avec :

$$\text{graz}_{MSZ} = \text{graz}_{MSZ/DA} + \text{graz}_{MSZ/DINO}$$

Tous les paramètres ont également déjà été décrits précédemment, seul graz_{MSZ} prendra des formes différentes selon que le grazing sera non sélectif ou sélectif.

Pour un grazing non sélectif, on va modéliser $graz_{MSZ}$, $graz_{MSZ/DA}$ et $graz_{MSZ/DINO}$ avec les équations suivantes :

$$PHYTO = DA + DINO$$

$$graz_{MSZ} = g_{MSZ} \max(T) \cdot \frac{PHYTO^2}{kg_{MSZ}^2 + PHYTO^2}$$

et

$$graz_{MSZ/DA} = graz_{MSZ} \cdot \frac{DA}{PHYTO}$$

$$graz_{MSZ/DINO} = graz_{MSZ} \cdot \frac{DINO}{PHYTO}$$

Pour un grazing sélectif, on modélisera $graz_{MSZ}$, $graz_{MSZ/DA}$ et $graz_{MSZ/DINO}$ avec les équations suivantes :

$$graz_{MSZ/DA} = g_{MSZ} \max(T) \cdot \frac{\left(\frac{DA}{kg_{MSZ/DA}}\right)^2}{1 + \left(\frac{DA}{kg_{MSZ/DA}}\right)^2 + \left(\frac{DINO}{kg_{MSZ/DINO}}\right)^2}$$

et

$$graz_{MSZ/DINO} = g_{MSZ} \max(T) \cdot \frac{\left(\frac{DINO}{kg_{MSZ/DINO}}\right)^2}{1 + \left(\frac{DA}{kg_{MSZ/DA}}\right)^2 + \left(\frac{DINO}{kg_{MSZ/DINO}}\right)^2}$$

$$graz_{MSZ} = graz_{MSZ/DA} + graz_{MSZ/DINO}$$

Tous les paramètres ont été décrits précédemment mis à par $kg_{MSZ/DA}$ et $kg_{MSZ/DINO}$ qui sont les constantes de demi-saturation dites constantes de grazing du mésozooplancton pour respectivement les diatomées (DA) puis les dinoflagellés (DINO).

Dans notre modèle, on a donc les paramètres suivants :

Paramètres ZOO	signification	valeur	unité
$g_{MCZmaxo}$	Taux de grazing à température opt.	1.2	Jour ⁻¹
T_{opt}	Température opt	16.3	°C
d_{opt}	Delta T	13.7	°C
kg_{MCZ}	Cte de grazing	10	mmoleC m ⁻³
$kg_{MSZ/DA}$	Cte de grazing (DA)	10	mmoleC m⁻³
$kg_{MSZ/DINO}$	Cte de grazing (DINO)	20	mmoleC m⁻³

Y_{MCZ}	Efficiencie de croissance	0.25	-
eges	Taux d'egestion	0.1	-
mm	Taux de mortalité	0.05	Jour ⁻¹

Tableau 1 : paramètres de référence, signification, valeurs et unités

Les seuls changement qui sont apparus par rapport premier module à une seule proie sont en gras dans le tableau 1 et correspondent évidemment aux du constantes de grazing pour chaque type de proies (DA ou DINO).

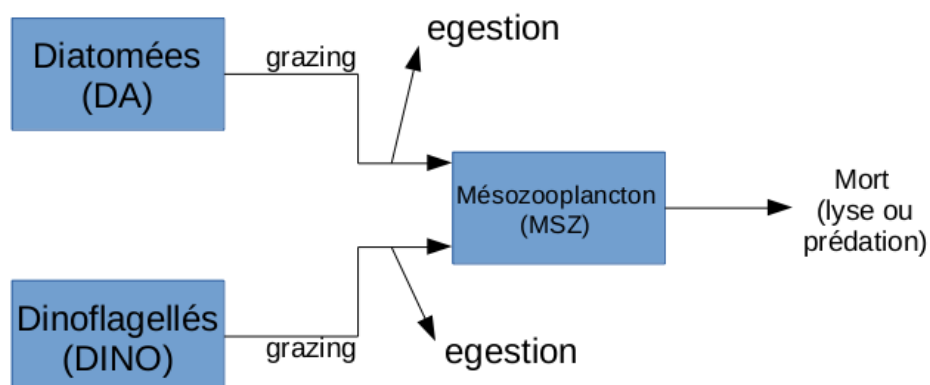
Pour nos variables d'état, les conditions initiales sont les suivantes:

Variable	Cond. initiales	unité
DA	20	mmoleC m ⁻³
DINO	20	mmoleC m ⁻³
MSZ	10	mmoleC m ⁻³

Tableau 2 : conditions initiales des variables d'état

Lors des tests de sensibilité, ce sont ces valeurs que nous allons changer pour un grazing non sélectif puis un grazing sélectif.

B. Modèle conceptuel



D. Résultats et discussion

1. Comparaison croisée du grazing non sélectif et sélectif (avec Holling)- simulations de référence

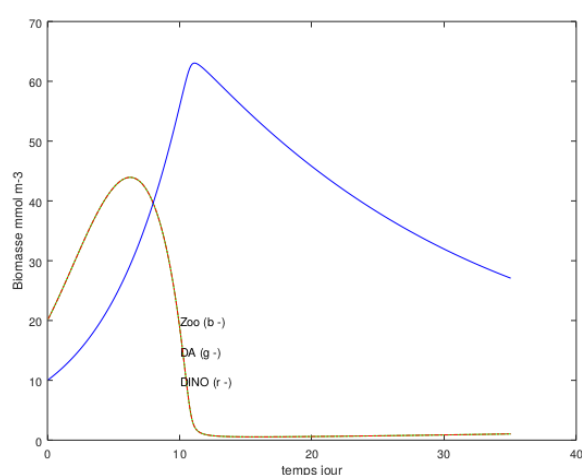


Figure 1 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing non sélectif

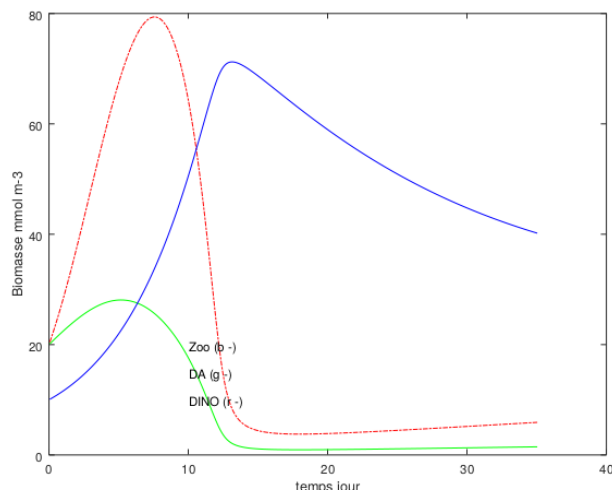


Figure 2 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing sélectif

Figure 1 :

On part de deux concentrations identiques pour les diatomées et les dinoflagellés (toujours 20 mmol m⁻³ comme en sélectif), μ_{DA} et μ_{DINO} sont égaux et la concentration initiale pour le mésozooplancton est de 10 mmol m⁻³ donc le grazing non sélectif apparaît dès le début c'est à dire qu'il y a dès le début une consommation du phytoplancton par le zooplancton. On observe une phase de croissance ($\mu_{DA}.DA > \text{graz}_{MSZ/DA}.MSZ$ et $\mu_{DINO}.DINO > \text{graz}_{MSZ/DINO}.MSZ$) identique entre les deux espèces de phytoplancton puisque les μ sont égaux et les concentrations initiales aussi. Le phytoplancton croît et atteint une biomasse maximale au jour 7 dont le total est inférieur (45*2=90 mmol m⁻³) au total de biomasse phytoplanctonique atteint pour un grazing sélectif (27+79= 106 mmol m⁻³). On observe ensuite une phase de décroissance du phytoplancton ($\mu_{DA}.DA < \text{graz}_{MSZ/DA}.MSZ$ et $\mu_{DINO}.DINO < \text{graz}_{MSZ/DINO}.MSZ$). Comme on a ici un grazing non sélectif, on voit que les diatomées et les dinoflagellés sont consommées de la même manière, les courbes sont superposées. Cela paraît logique puisque $[DA]_0 = [DINO]_0$ donc $\text{graz}_{MSZ/DA} = \text{graz}_{MSZ/DINO}$. En effet, le zooplancton consomme indifféremment diatomées et dinoflagellés lorsque le grazing est non sélectif, il consomme donc plus de diatomées en grazing non sélectif qu'en grazing sélectif (45 contre 27 mmol m⁻³) et moins de dinoflagellés en grazing non sélectif qu'en grazing sélectif (45 contre 80 mmol m⁻³) et sa croissance dure environ 11 jours où il atteint une biomasse de 62 mmol m⁻³. Lorsqu'il n'y a quasiment plus de phytoplancton, le zooplancton décroît. D'ailleurs, on peut noter que la concentration des DA et des DINO n'atteint pas tout à fait une concentration nulle à cause de la fonction de Holling.

Figure 2 :

on part d'une concentration initiale de Zooplancton non nulle égale à 10 mmol m⁻³. Il existe donc directement un grazing des diatomées et des dinoflagellés qui sont consommées par le zooplancton. La concentration initiale des deux espèces de phytoplancton est identique et égale à 20 mmol m⁻³.

Comme on est dans le cas d'une fonction de grazing sélective, les diatomées sont plus consommées par le zooplancton que les dinoflagellés donc la biomasse maximale atteinte par les diatomées est inférieure à la biomasse maximale atteinte par les dinoflagellés (28 mmol m⁻³ pour les diatomées contre 80 mmol m⁻³ pour les dinoflagellés). La biomasse maximale de diatomée est plus rapidement atteinte (J5-6) que la biomasse maximale de dinoflagellés (J8). Puis les biomasses de phytoplancton diminuent, le zooplancton lui, continue à croître, sa biomasse maximale atteint 75 mmol m⁻³ et lorsqu'il n'y a quasiment plus de diatomées et de dinoflagellés (j13), la biomasse de zooplancton commence alors à baisser, le terme de mortalité est plus grand que celui de croissance et la biomasse de phytoplancton qui restait commence à augmenter à nouveau petit à petit puisque le zooplancton est en train de mourir (sa biomasse diminue).

Concernant la diminution de la concentration de diatomées, elle est plus faible avec un grazing sélectif (pente moins importante) que en non sélectif car dans la fonction de grazing sélective, on a une [DA]_{max} plus petite (numérateur) et une [DINO]_{max} plus importante (dénominateur) donc un $\text{graz}_{\text{MSZ/DA}}$ plus petit en sélectif qu'en non sélectif donc une pente plus petite avec un grazing sélectif.

2. Tests de sensibilité

2.1 $[DA]_0$ et $[DINO]_0$ modifiées

a. Conditions initiales en DA et DINO modifiées dans le cas d'un grazing non sélectif (comparaison des test 1 $\text{graz}_{\text{non-sélectif}}$ et test 2 $\text{graz}_{\text{non-sélectif}}$ à la simulation de référence $\text{graz}_{\text{non-sélectif}}$)

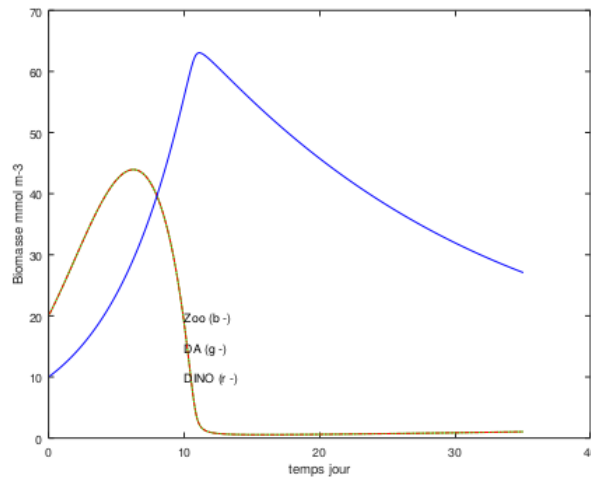


Figure 1 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing non sélectif et $[DA]_0 = 20 \text{ mmol m}^{-3}$ et $[DINO]_0 = 20 \text{ mmol m}^{-3}$

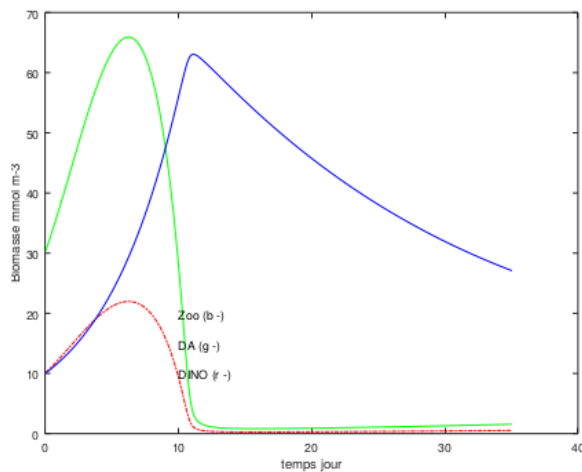


Figure 3 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing non sélectif et $[DA]_0 = 30 \text{ mmol m}^{-3}$ et $[DINO]_0 = 10 \text{ mmol m}^{-3}$ test 1

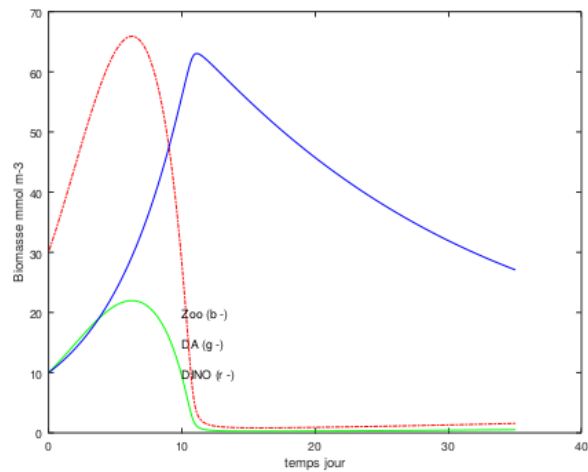


Figure 4 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing non sélectif et $[DA]_0 = 10 \text{ mmol m}^{-3}$ et $[DINO]_0 = 30 \text{ mmol m}^{-3}$ test 2

Si on regarde les figures 3 et 4 pour le zooplancton, on peut tout d'abord noter qu'on n'a pas changé la concentration initiale, on a donc la même croissance que la simulation de référence (Figure 1), la biomasse maximale de zooplancton atteinte est identique à la simulation de référence et la décroissance est également identique à la simulation de référence.

On observe ensuite que dans la simulation de référence, on a biomasse maximale de DA (45 mmol m^{-3}) + une biomasse maximale de DINO (45 mmol m^{-3}) = 90 mmol m^{-3} . Dans le test 1, on a une biomasse maximale de DA (68 mmol m^{-3}) + une biomasse maximale de DINO (22 mmol m^{-3}) = 90 mmol m^{-3} environ et dans le test 2, on a une biomasse maximale de DA (22 mmol m^{-3}) + une biomasse maximale de DINO (68 mmol m^{-3}) = 90 mmol m^{-3} . La biomasse totale de phytoplancton est donc égale dans les trois cas et ça s'explique parce que $\text{graz}_{\text{MSZ}} = \text{graz}_{\text{MSZ/DA}} + \text{graz}_{\text{MSZ/DINO}} = \text{graz}_{\text{MSZ}} \max [\text{DA}]/[\text{phyto}] + \text{graz}_{\text{MSZ}} \max [\text{DINO}]/[\text{phyto}]$, on a juste une redistribution des biomasses.

b. Conditions initiales en DA et DINO modifiées dans le cas d'un grazing sélectif (comparaison des test 1 $\text{graz}_{\text{sélectif}}$ et test 2 $\text{graz}_{\text{sélectif}}$ à la simulation de référence $\text{graz}_{\text{sélectif}}$)

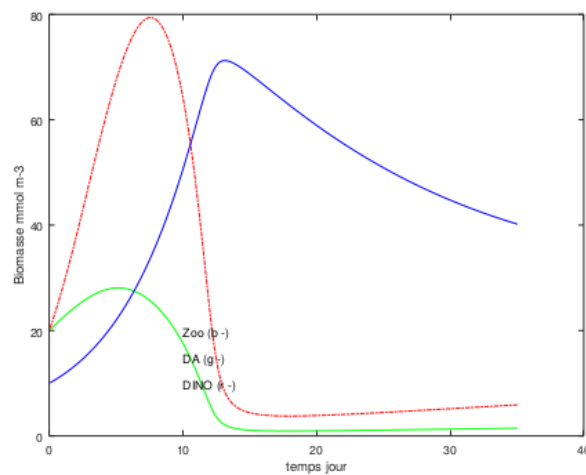


Figure 2 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing sélectif et $[\text{DA}]_0 = 20 \text{ mmol m}^{-3}$ et $[\text{DINO}]_0 = 20 \text{ mmol m}^{-3}$

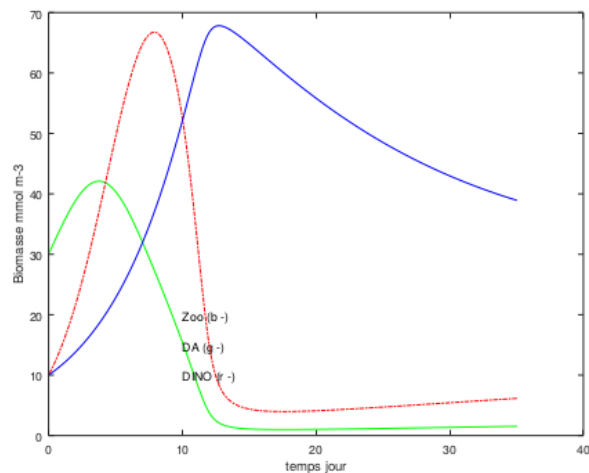


Figure 5 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing sélectif et $[DA]_0 = 30 \text{ mmol m}^{-3}$ et $[DINO]_0 = 10 \text{ mmol m}^{-3}$ test 1

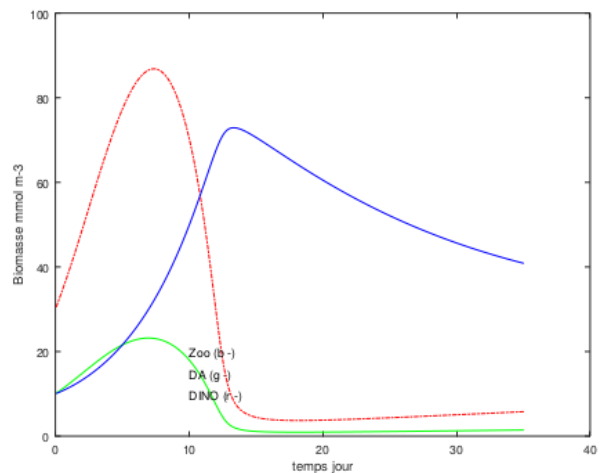


Figure 6 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing sélectif et $[DA]_0 = 10 \text{ mmol m}^{-3}$ et $[DINO]_0 = 30 \text{ mmol m}^{-3}$ test 2

On observe que la biomasse maximale atteinte de zooplancton est moins importante (68 mmol m^{-3}) par rapport à la simulation de référence (71 mmol m^{-3}) quand on augmente $[DA]_0$ et qu'on diminue $[DINO]_0$ (test1) et la biomasse maximale atteinte de zooplancton est plus importante (73 mmol m^{-3}) par rapport à la simulation de référence quand on augmente $[DINO]_0$ et qu'on diminue $[DA]_0$ (test2).

Dans le test 1, la biomasse de DA est atteinte plus rapidement par rapport à la simulation de référence et elle est supérieure car la concentration de DA initiale est plus importante et le grazing plus important. Pour les DINO, la biomasse atteinte est moins importante dans le test 1 que pour la simulation de référence car $[DINO]_0$ moins importante et le grazing est moins important.

Conclusion :

- pour le zooplancton, un grazing sélectif est plus avantageux qu'un grazing non sélectif. Bien que le zooplancton consomme en priorité les DA, on constate qu'une augmentation de $[DA]_0$ a plutôt tendance à diminuer la biomasse atteinte de Zooplancton qu'à l'augmenter, il vaut donc mieux augmenter $[DINO]_0$ pour que le zooplancton atteigne une biomasse supérieure.
- pour les DA, un grazing non sélectif et/ou une augmentation de $[DA]_0$ sont avantageux afin qu'elles atteignent une biomasse maximale.
- pour les Dinoflagellés, un grazing sélectif est avantageux pour eux ainsi que l'augmentation de $[DINO]_0$.

2.2 $[MSZ]_0$ modifiée

a. $[MSZ]_0$ diminuée

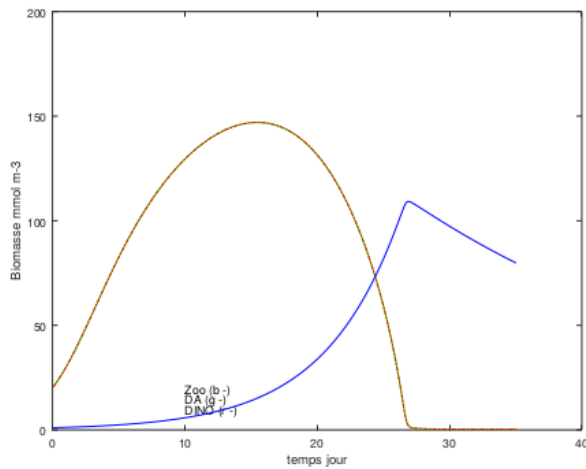


Figure 7 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing non sélectif et $[MSZ]_0 = 1 \text{ mmol m}^{-3}$

test 1

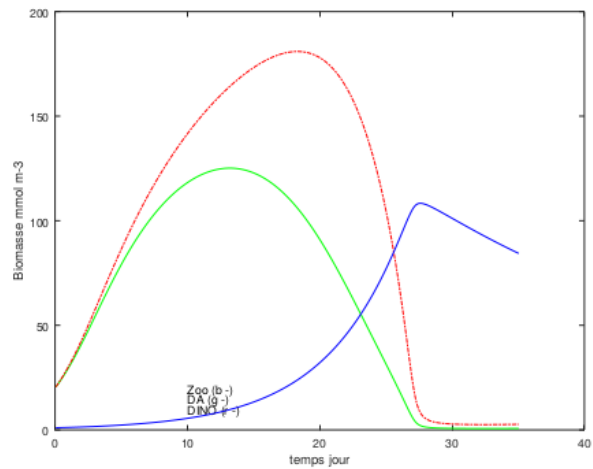


Figure 8 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing sélectif et $[MSZ]_0 = 1 \text{ mmol m}^{-3}$

test 2

Test 1 :

On observe que le grazing étant quasiment inexistant au début du fait de $[MSZ]_0$ très petit ($\text{graz}_{MSZ/DA} \cdot MSZ$ et $\text{graz}_{MSZ/DINO} \cdot MSZ$ sont très petits), le phytoplancton croît énormément et atteint une biomasse maximale bien supérieure à la simulation de référence (148 mmol m^{-3} pour DA et DINO contre 45 mmol m^{-3} pour les deux lors de la simulation de référence). Du fait de la biomasse de phytoplancton atteinte, le zooplancton atteint à son tour une biomasse maximale très supérieure à la simulation de référence (110 mmol m^{-3} contre 65 mmol m^{-3}). Évidemment, la concentration de phytoplancton n'est pas égale à zéro à partir de J27 comme la courbe pourrait nous le faire penser puisqu'on utilise Holling. Aussitôt que ce minimum de concentration de phytoplancton est atteint, le zooplancton commence à décroître à son tour.

Test 2 :

Bien que le grazing soit très petit à cause de $[MSZ]_0$ très petit, on observe tout de même une différence de grazing qui augmente peu à peu, on le voit à travers la divergence des courbes de croissances des DA et des DINO. En effet, la croissance des DA commence à s'infléchir au jour 5 alors que la pente de croissance pour les DINO est conservée 5 à 6 jours de plus. La Biomasse maximale des DA est atteinte plus rapidement que dans le test 1 mais elle est plus basse que dans le test 1 (125 mmol m^{-3} pour le test 2 contre 150 mmol m^{-3} pour le test 1) puisque le grazing est sélectif. La Biomasse maximale des DA est évidemment plus importante que celle de la simulation de référence (125 mmol m^{-3} ici contre 26 mmol m^{-3} en référence). En ce qui concerne le zooplancton, la biomasse maximale atteinte est supérieure à la simulation de référence mais quasiment inchangée par rapport au test 1.

b. $[MSZ]_0$ augmentée

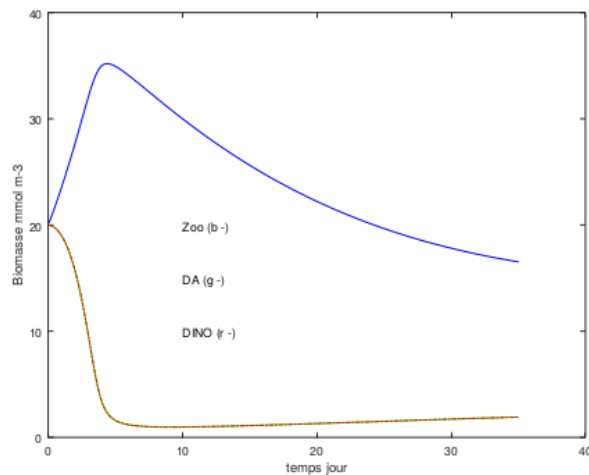


Figure 9 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing non sélectif et $[MSZ]_0 = 20 \text{ mmol m}^{-3}$
test 1

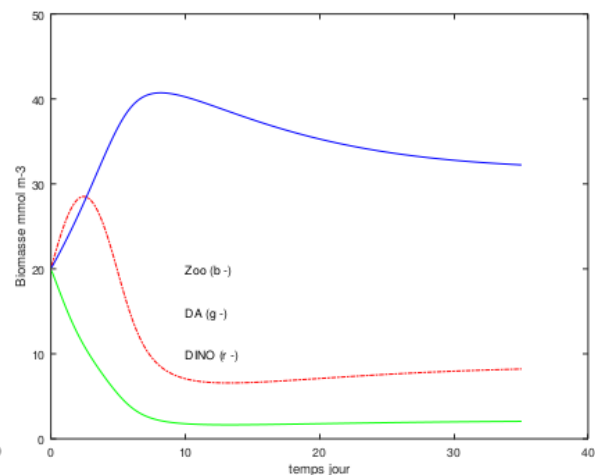


Figure 10 : Biomasse obtenue en DA, en DINO et en MSZ en fonction du temps sur 35 jours (Holling) avec un grazing sélectif et $[MSZ]_0 = 20 \text{ mmol m}^{-3}$
test 2

Test 1 : On observe que le zooplancton consomme rapidement le phytoplancton dès le début, le phytoplancton n'a pas de croissance tellement le grazing est élevé et la biomasse maximale atteinte par le zooplancton est moins importante que dans la référence car le phytoplancton n'a pas eu de croissance et donc la biomasse initiale de phytoplancton est de fait la biomasse de phytoplancton maximale. Du coup, le maximum de biomasse de zooplancton est atteint plus rapidement que lors de la simulation de référence (J4 au lieu de j12 pour la référence).

Test 2 : On observe qu'il n'y a pas de croissance des DA car comme le zooplancton a une concentration initiale plus élevée et que le grazing est sélectif, elles sont aussitôt consommées préférentiellement par celui-ci. Les dinoflagellés ont une croissance contrairement aux DA car ils sont moins consommés que les DA. Toutefois, la biomasse maximale atteinte par les DINO est bien inférieure par rapport à la référence (28 mmol m^{-3} contre 79 mmol m^{-3}) du fait de la $[MSZ]_0$ doublée. La biomasse de DINO ayant pu croître ce qui n'est pas le cas dans le test 1 lorsque le grazing est non sélectif, on observe donc une biomasse maximale de zooplancton supérieure en grazing sélectif (test 2) qu'en grazing non sélectif (test 1 : 41 mmol m^{-3} contre 37 mmol m^{-3}).

Conclusion :

- pour le zooplancton, une diminution de sa concentration initiale est avantageuse car elle permet au phytoplancton d'atteindre une biomasse très supérieure et en conséquence, la biomasse maximale de zooplancton atteinte est également bien supérieure. De même qu'un grazing sélectif est plus avantageux pour le zooplancton qu'un grazing non sélectif si la concentration initiale de zooplancton est augmentée.

- pour les DA, un grazing non sélectif est avantageux quand $[MSZ]_0$ est augmentée mais un grazing sélectif est légèrement avantageux quand $[MSZ]_0$ est diminuée car les DA mettent un peu plus de temps à atteindre leur concentration minimale dans ce cas.

- pour les Dinoflagellés, un grazing sélectif est avantageux dans les deux cas (augmentation ou diminution de $[MSZ]_0$).