

La modélisation dynamique des réseaux trophiques en polyculture d'eau douce

Michael Corson, Joël Aubin



Contexte

- L'aquaculture fournit un pourcentage des besoins en protéines de la population humaine de plus en plus grande
- Elle peut produire de la protéine animale de manière plus efficace d'autres formes d'élevage (due à l'efficacité alimentaire des animaux aquatiques), mais elle peut émettre de grandes quantités de nutriments, surtout quand elle est intensive
- La polyculture de poissons est une forme d'aquaculture qui peut recycler des émissions de nutriments au sein du système
- Le compromis entre la production de poissons et le recyclage de nutriments dépende de la mélange d'espèces empoissonnées

Objectifs et démarche

- Estimer (1) les conséquences de modifications du système de polyculture et (2) l'optimisation la productivité et le recyclage des nutriments des mélanges d'espèces aquatiques
- Développer un modèle de simulation de la dynamique des compartiments trophiques des polycultures en étang d'eau douce et de leurs interactions

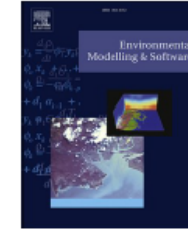
Adoption du modèle de Varga et al. (2020)



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Environmental Modelling and Software

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/envsoft>



Long-term dynamic simulation of environmental impacts on ecosystem-based pond aquaculture

Monika Varga^{a,*}, Laszlo Berzi-Nagy^b, Bela Csukas^a, Gergo Gyalog^b

^a Research Group on Process Network Engineering, Institute of Methodology, Kaposvar University, 40 Guba S, 7400, Kaposvar, Hungary

^b Research Institute for Fisheries and Aquaculture, National Agricultural Research and Innovation Centre, 35 Anna-liget, 5540, Szarvas, Hungary

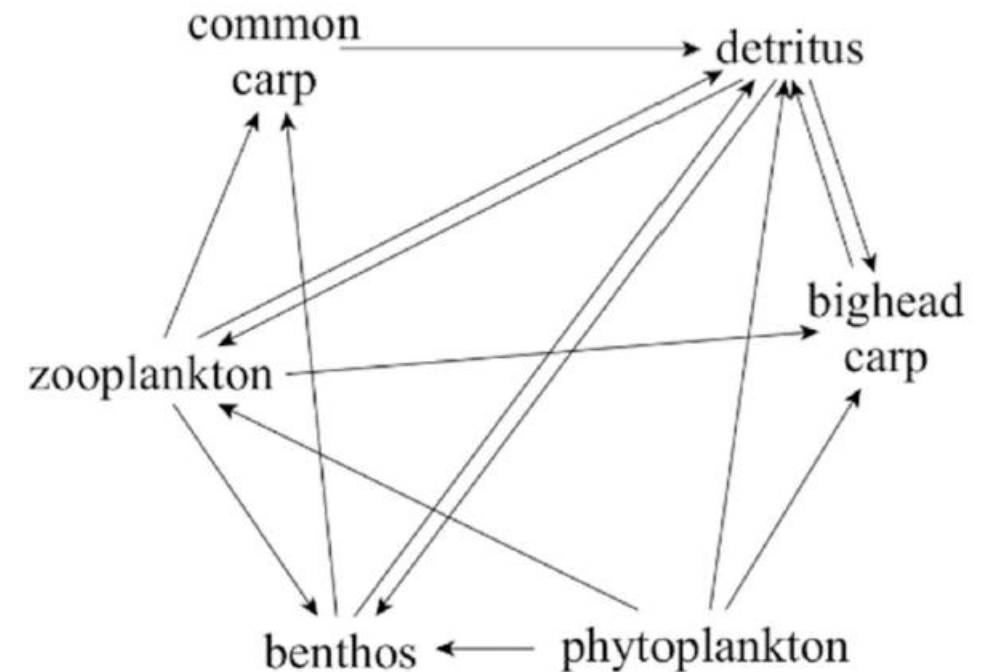
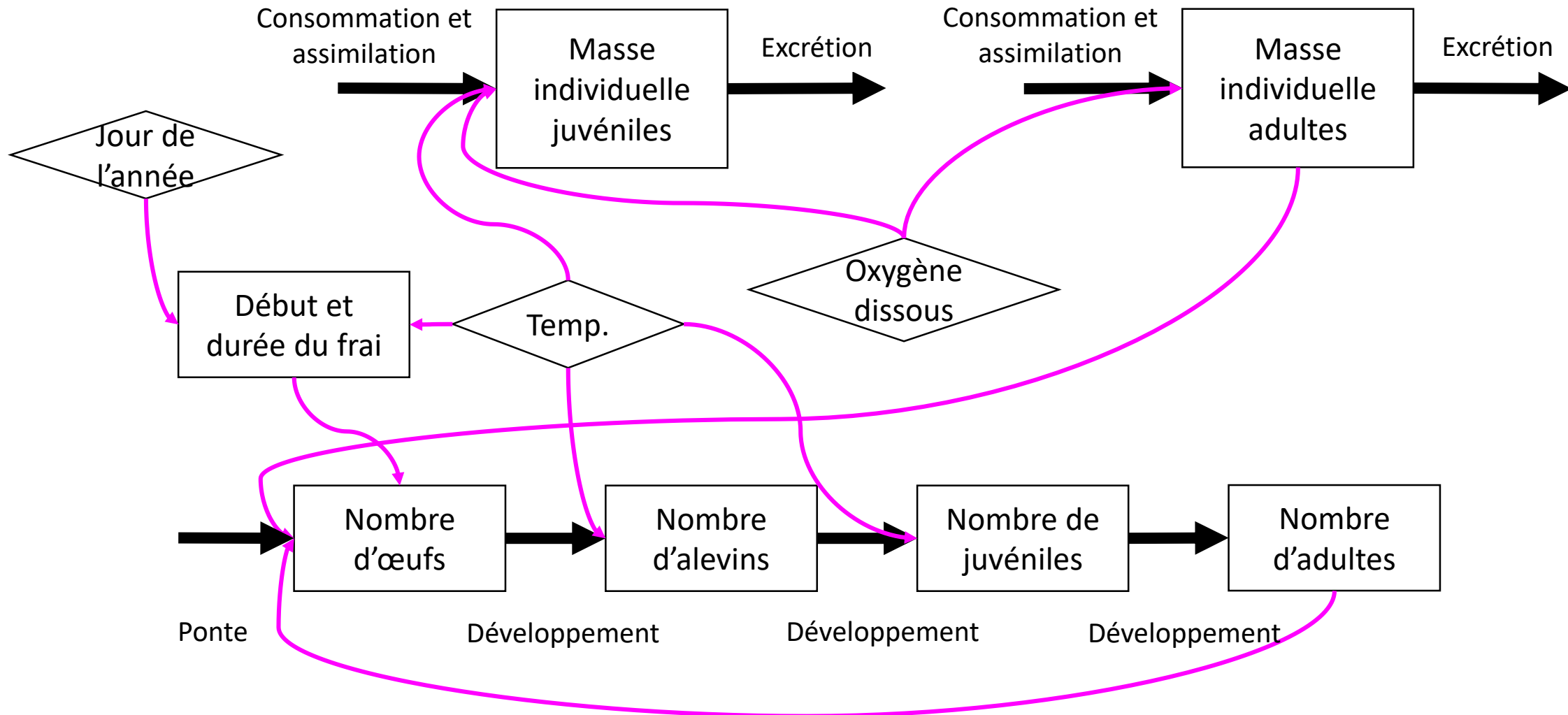


Fig. 1. The food web of the studied model.

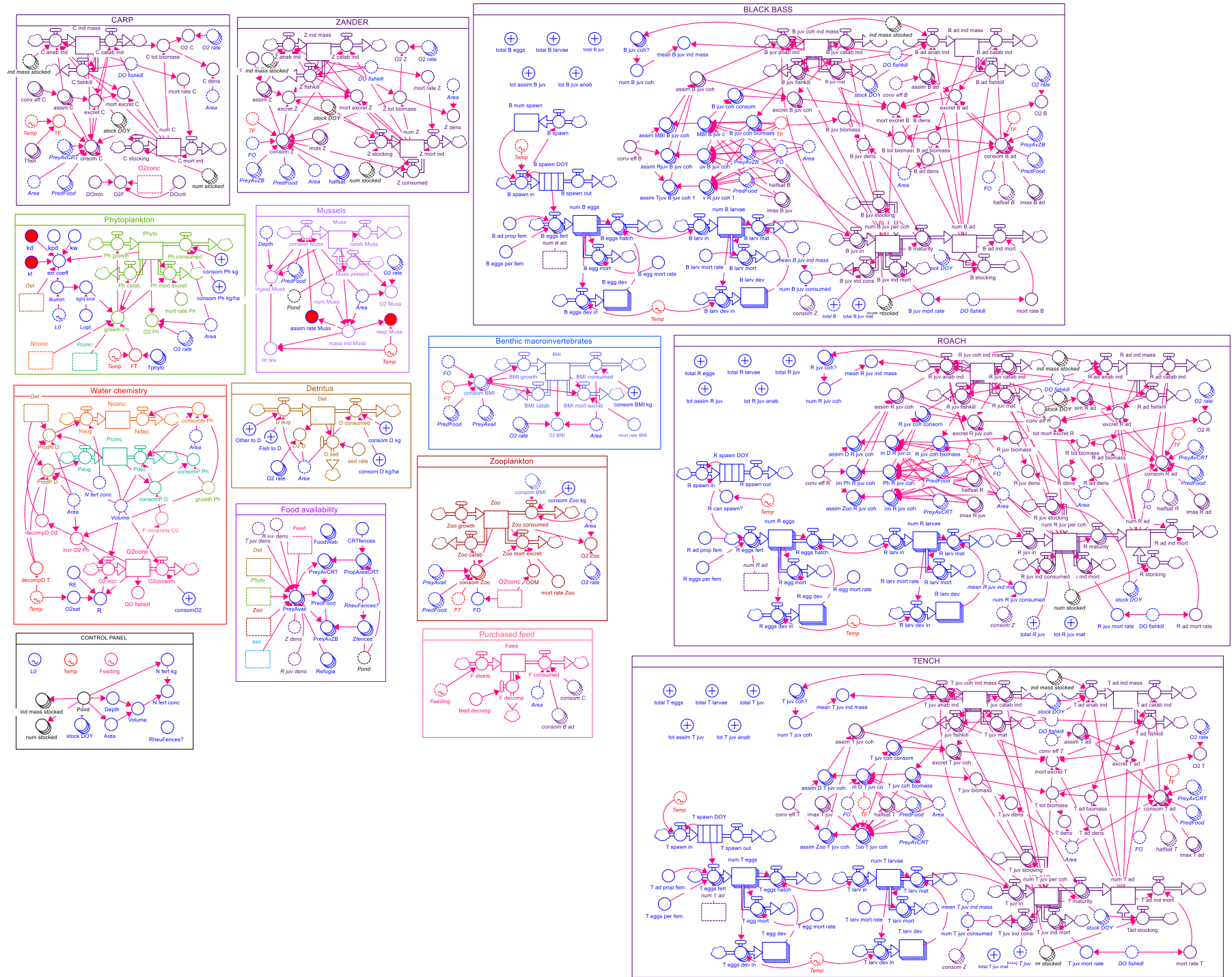
Modification du modèle de Varga et al. (2020)

- Suppression de certains éléments
 - la carpe grosse-tête
 - l'application de fumier comme fertilisant
 - les dynamiques du profondeur de l'eau
 - la précipitation, le vent
- Ajout d'autres certains éléments:
 - d'autres espèces de poissons (carpe commune, gardon, tanche, et sandre)
 - des juvéniles de poissons (gardon et tanche)
 - des anodontes
 - des refuges pour des populations de phytoplancton, zooplancton, macroinvertébrés, et juvéniles des poissons qui reproduisent pendant le cycle de production
 - la possibilité de diviser l'étang en 3 sections
- Paramétrisation et calibration initiales du modèle avec les données d'une l'expérience de l'INRAE au Rheu (France) en 2021 (projet SEPURE)

Modèle conceptuelle : espèce de poisson



Modèle initial sous Stella® (logiciel payant)



Modèle final
sous R (accès
libre) :
3200 lignes

```
IMTA-10mar.R
Source on Save

758
759 # PHYTOPLANKTON GROWTH
760
761 #Temperature factor for phytoplankton, zooplankton, and benthos. Dmn1
762 if(temp[t] <= Topt) {
763   FT <- exp(-4.6 * ((Topt-temp[t]) / (Topt-Tmin)) ^ 4)
764 } else {
765   FT <- exp(-4.6 * ((temp[t]-Topt) / (Tmax-Topt)) ^ 4)
766 }
767
768 # Increase in phytoplankton biomass, kg/ha/day
769 # P limitation on phytoplankton growth
770 Plim <- PCONC ^ 2 / (0.00001 ^ 2 + PCONC ^ 2)
771 # N limitation on phytoplankton growth
772 Nlim <- 1 / 5 * (NCONC ^ 2 / (0.00001 ^ 2 + NCONC ^ 2))
773 # The value in the following equation is the maximum growth rate per day; was 3 in Svirezhev et al. (1984)
774 # Changed to 20 (ufmax) by Varga et al. (2020) during heuristic parameter identification
775 # 9 March 2023 - Increased to 25
776 Ph_growth <- 25 * FT * light_limit * min(Plim, Nlim) * PHYTO
777
778 # WATER CHEMISTRY (N, P, O2)
779
780 # Dependence of detritus decomposition on temperature, Dmn1
781 decompD.T <- 2 ^ ((temp[t] - 20) / 10)
782
783 # Dependence of detritus decomposition on dissolved oxygen concentration, Dmn1
784 # The 2 is COP, the parameter of the steepness of oxygen function.
785 # The 0.001 is Mo, the O2 concentration threshold between aerobic / anaerobic conditions.
786 decompD.O2 <- exp(2 * (0.001 - O2CONC)) / (1 + exp(2 * (0.001 - O2CONC)))
787
788 # Mineralization of N from detritus, kg/m3/day
789 prodN_Det <- 0.002 * decompD.T * decompD.O2 * DET * area / volume
790
791 # Decrease in N due to uptake by phytoplankton, kg/m3/day
792 consomN_Ph <- 5 / 106 * Ph_growth * area / volume
793

764:4 # START DAILY LOOP
```

Initialisation

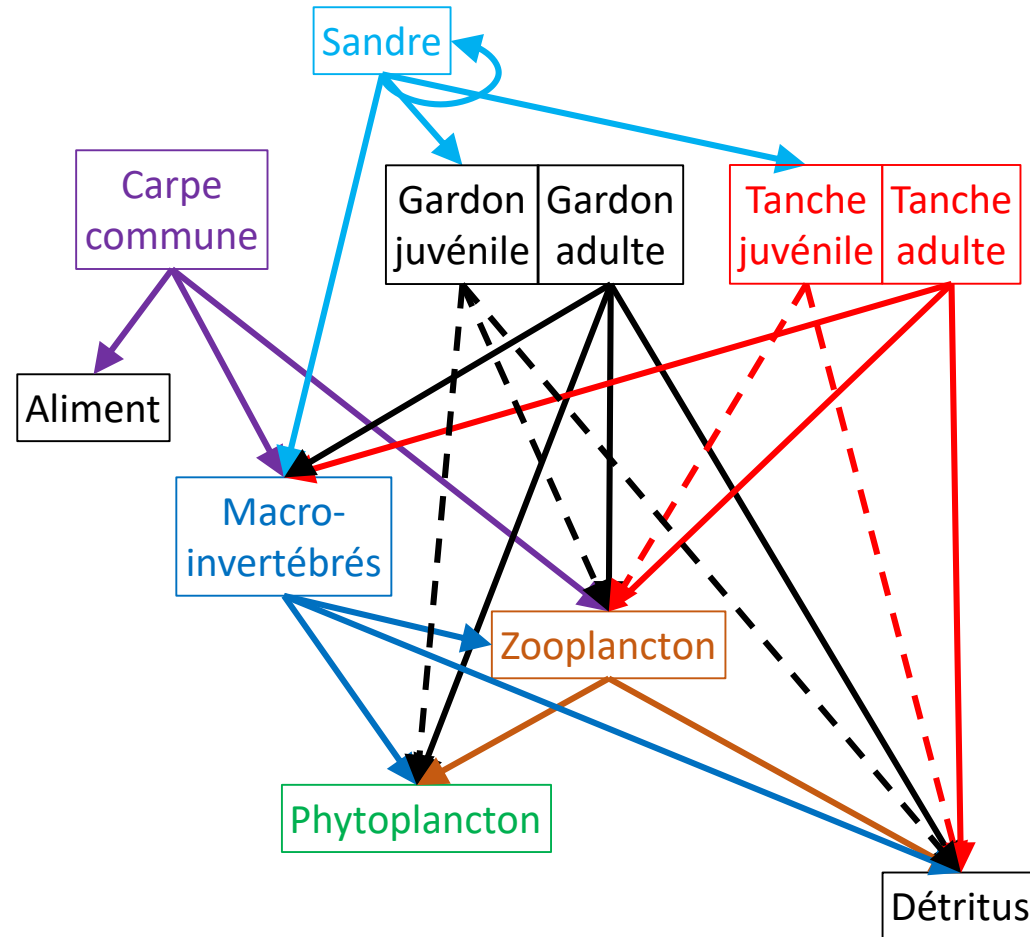
- Surface et profondeur moyen de l'étang
- Dates d'empoissonnement et de récolte
- Espèces de poissons empoissonnées
- Nombre et masse individuelle moyenne par espèce de poisson
- Données métrologiques (journalières)
 - température moyenne de l'air (°C), rayonnement global solaire (kcal/m²)
- Aliments, si distribués
- « Pacage », si fait (e.g. au Rheu)

Espèces de poissons au Rheu

Espèce	Type/fonction/rôle	Masse individuelle finale
Carpe commune	Bioturbation	~ 1300 g
Gardon	Poisson « fourrage »	Adulte : ~ 130 g Juvénile : ~ 15 g
Tanche	Poisson « fourrage »	Adulte : ~ 500 g Juvénile : ~ 3 g
Sandre	Carnassier	~ 20 g

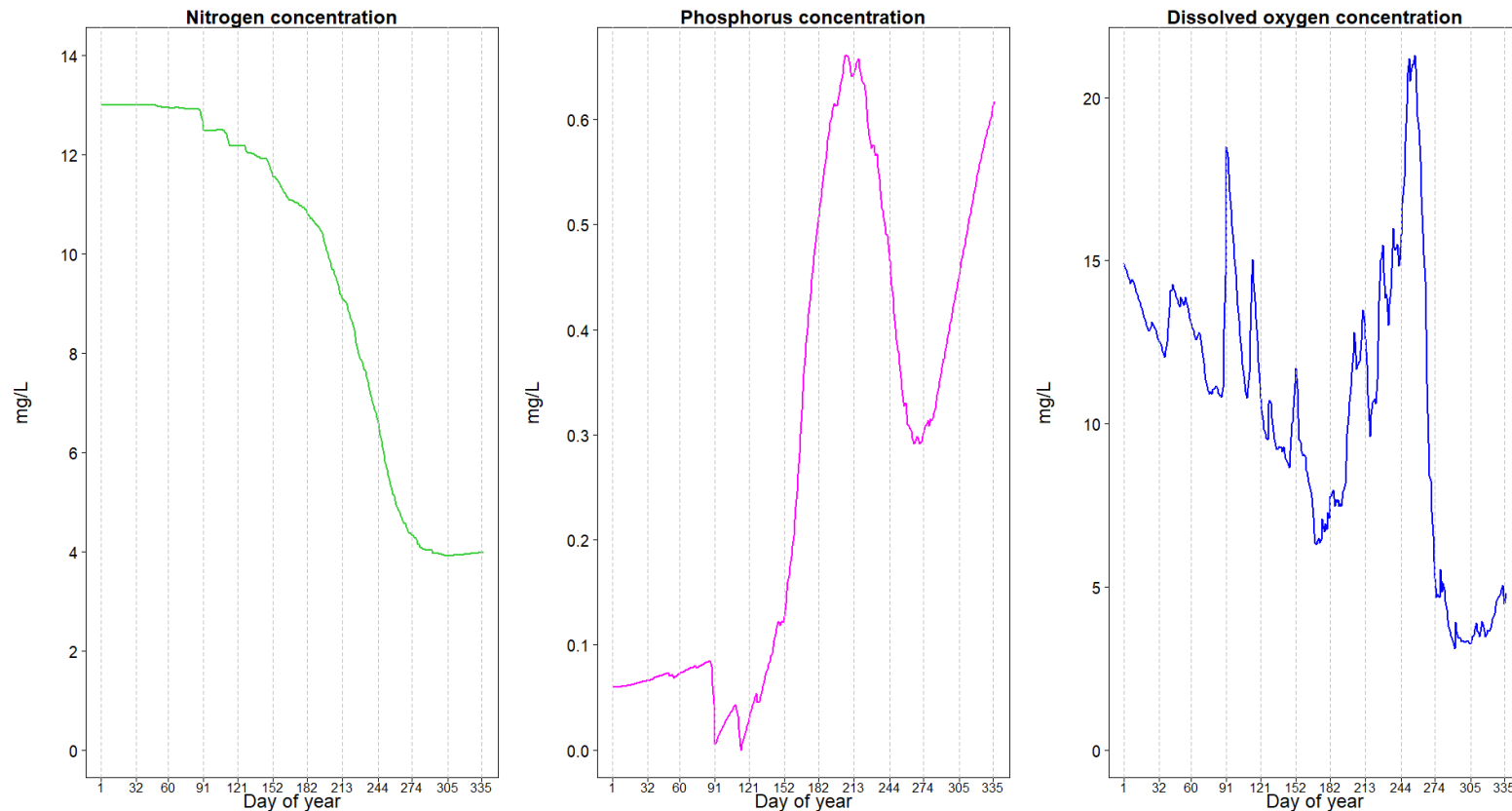


Réseau trophique au Rheu



Prédictions clés - facteurs abiotiques

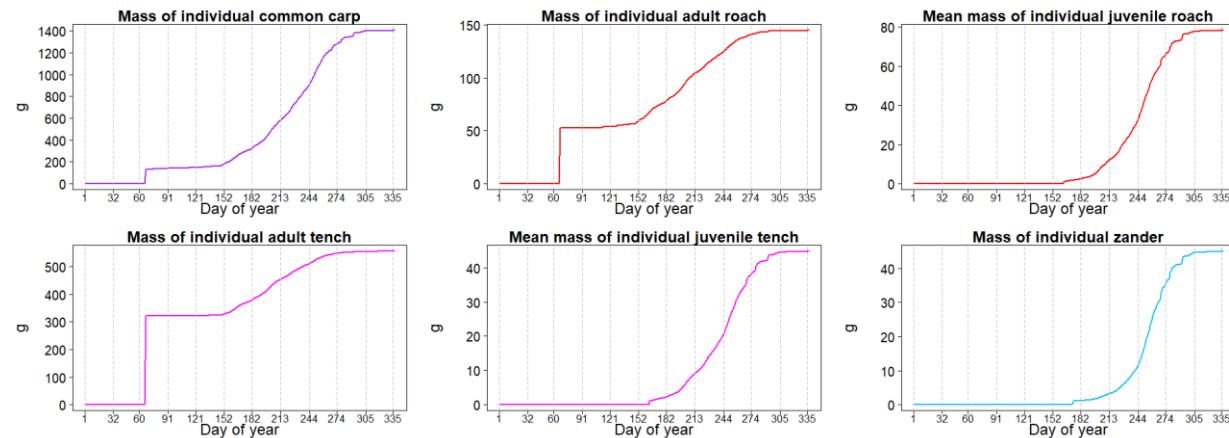
- Dynamiques de N, P et la concentration en oxygène dissous (COD)



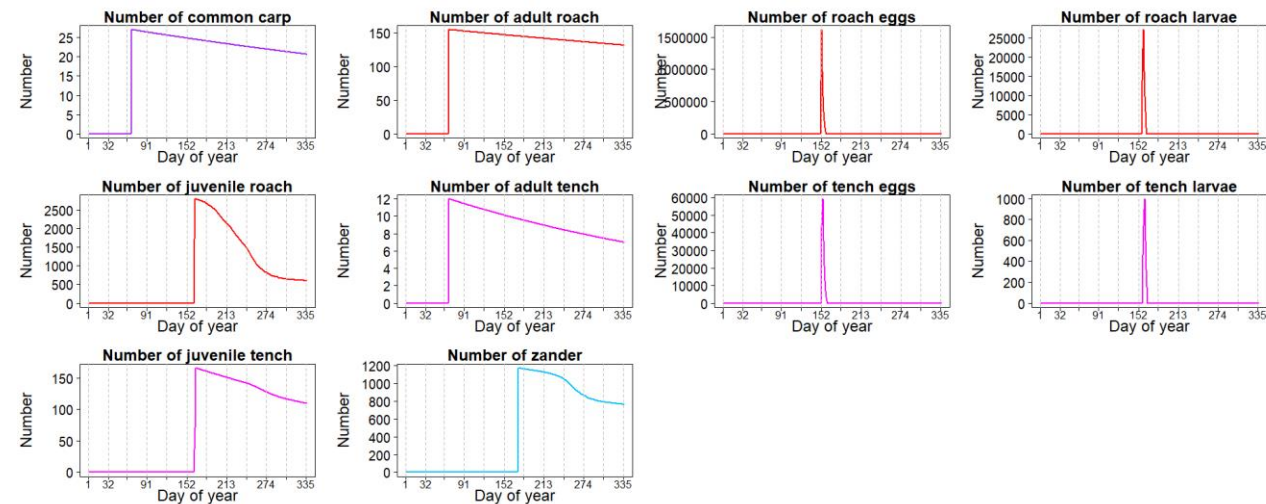
Prédictions clés - poissons

- Nombre et masse individuelle moyenne par espèce (et stade de vie, le cas échéant) de poisson (surtout lors de la pêche)

Masse individuelle de poissons

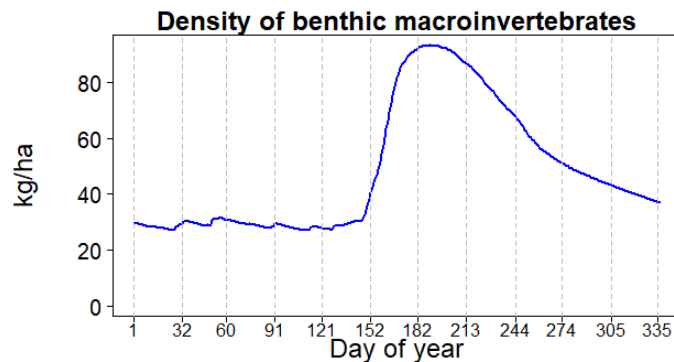
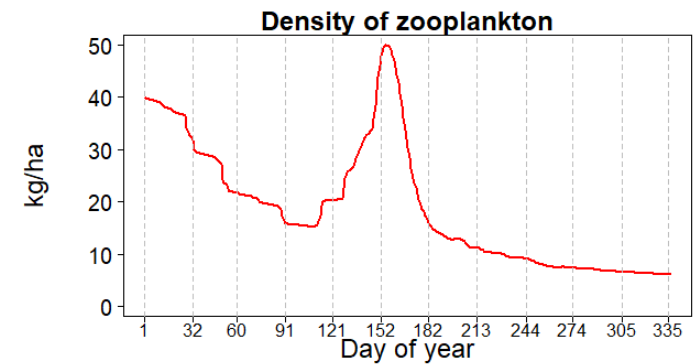
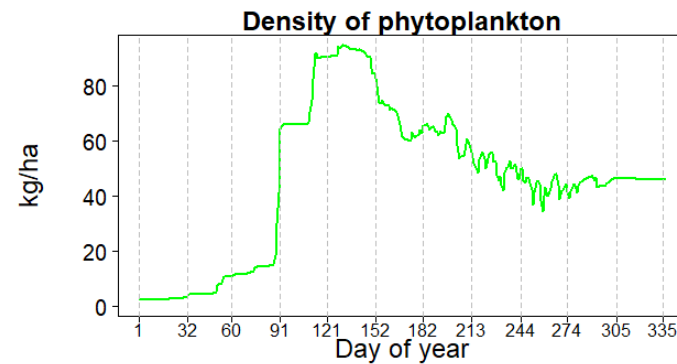
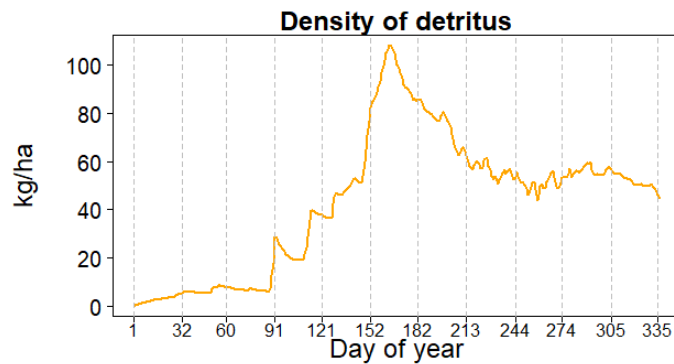


Nombre de poissons



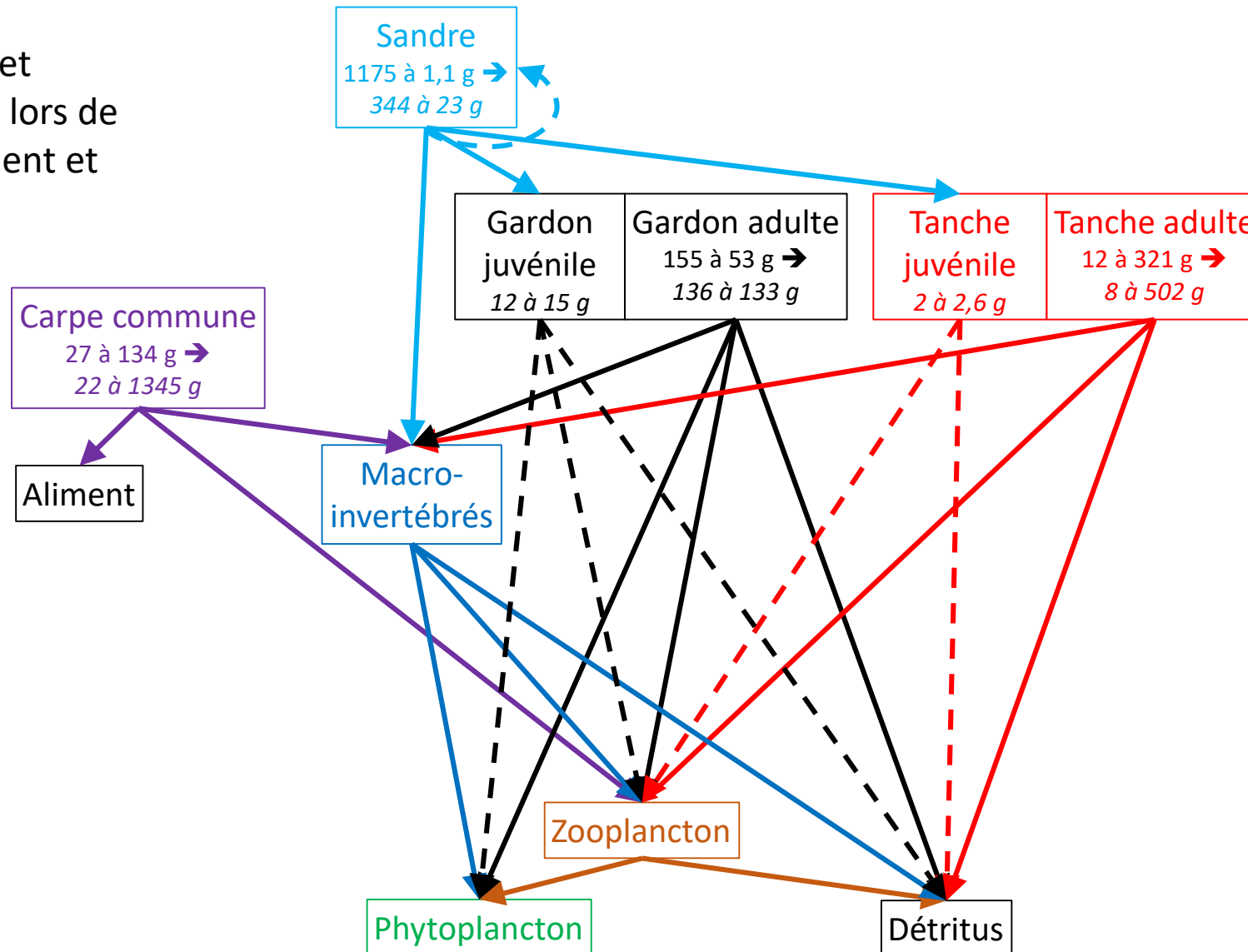
Prédictions clés - compartiments de base

- Dynamiques des compartiments du réseau trophique (détritits, phytoplancton, zooplancton, macroinvertébrés benthiques)



Réseau trophique modélisé : étangs au Rheu 2021

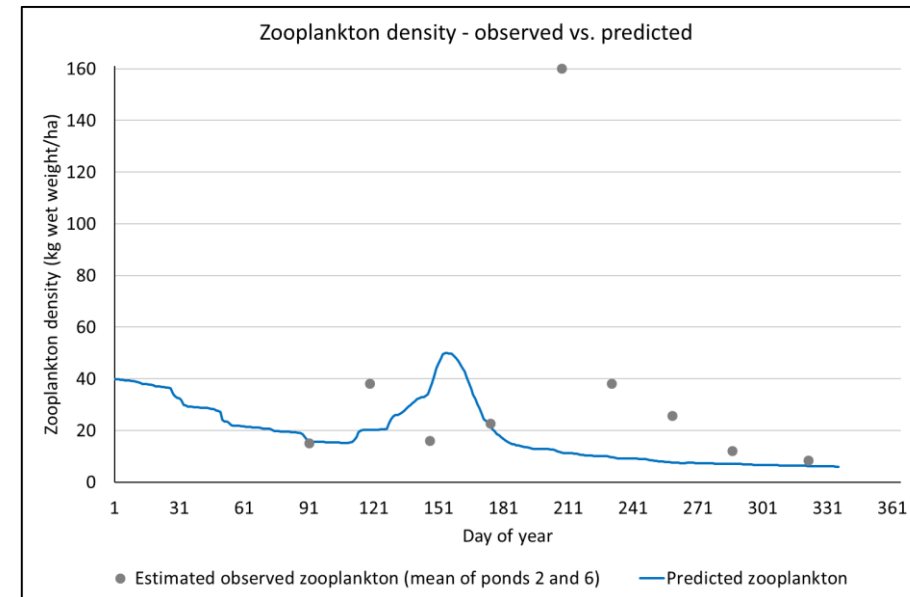
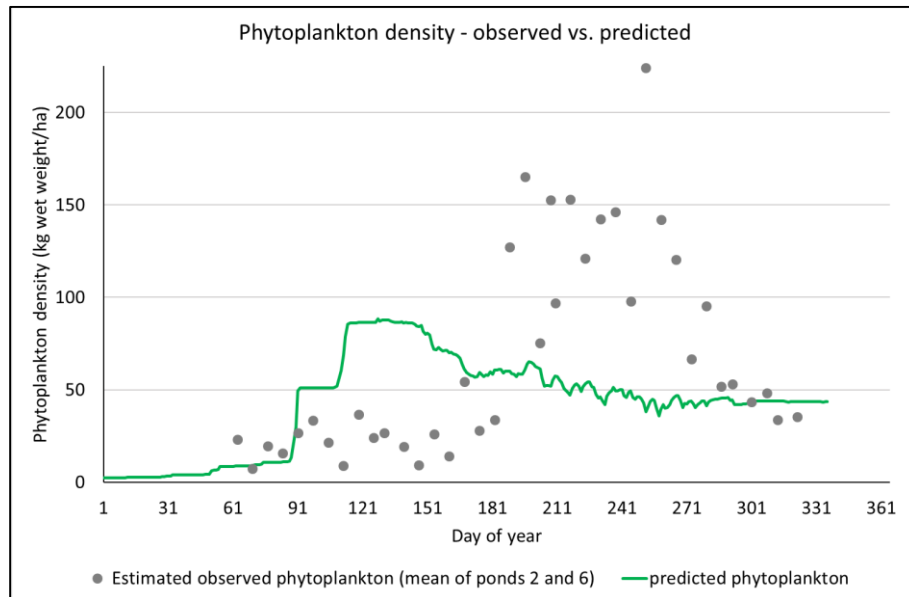
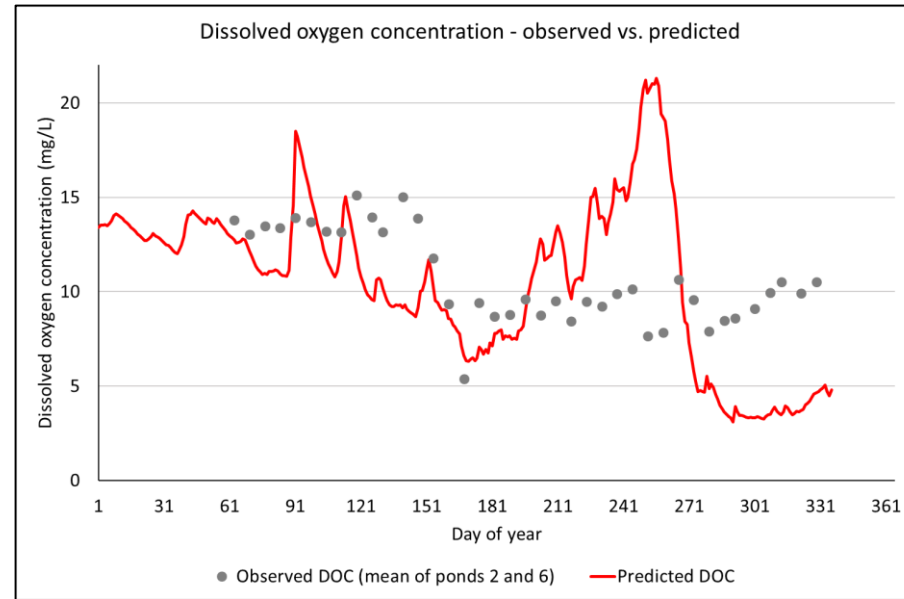
Avec le nombre et
masse moyenne lors de
l'empoissonnement et
de la pêche



Empoisonnement
Tous sauf sandre : 8 mars
Sandre : 23 juin

Pêche
30 nov à 3 déc
(simulé comme un seul
jour : 2 déc)

Calibration : COD, phytoplankton, zooplankton



Calibration : poissons à la pêche (étangs 2/6)

Nombre

Espèce	Obs.	Préd.	% diff.
Carpe	22	21	-5%
Gardon adulte	136	132	-3%
Tanche adulte	8	8	0%
Sandre	344	766	123%
Gardon juvénile	12	601	4908%
Tanche juvénile	2	110	5400%

Masse individuelle (g)

Espèce	Obs.	Préd.	% diff.
Carpe	1344,9	1405,8	5%
Gardon adulte	133,3	144,9	9%
Tanche adulte	501,7	555,0	11%
Sandre	22,5	45,0	100%
Gardon juvénile	14,5	78,3	440%
Tanche juvénile	2,6	44,8	1624%

NB : variabilité parfois énorme dans le nombre de poissons lors de la pêche

Sandre : 28 à 857

Gardon juvénile : 12 à 873

Tanche juvénile : 1 à 170

Densité (kg/ha)

Espèce	Obs.	Préd.	% diff.
Carpe	295,9	290,3	-2%
Gardon adulte	184,6	191,2	4%
Tanche adulte	37,2	38,9	5%
Sandre	28,9	345,3	1095%
Gardon juvénile	1,7	474,7	27823%
Tanche juvénile	0,065	47,6	73092%
Densité CGT adulte	517,7	520,5	1%
Densité totale poissons	548,4	1388,0	153%

Évaluation : poissons à la pêche (étangs 4 (ouvert) et 1, 3, et 5 (divisé))

Pourcentage de différence en nombre

	Étang			
Espèce	4	1	3	5
Carpe	24%	-9%	24%	-13%
Gardon adulte	6%	1%	3%	5%
Tanche adulte	-20%	-11%	-27%	60%
Sandre	53%	4%	708%	238%
Gardon juvénile	1715%	235%	6%	60%
Tanche juvénile	588%	214%	1557%	-32%

Pourcentage de différence en masse individuelle

	Étang			
Espèce	4	1	3	5
Carpe	-3%	2%	27%	5%
Gardon adulte	12%	7%	4%	-1%
Tanche adulte	-9%	7%	11%	-4%
Sandre	532%	242%	54%	196%
Gardon juvénile	2012%	510%	477%	1080%
Tanche juvénile	3624%	481%	296%	205%

Pourcentage de différence en densité

	Étang			
Espèce	4	1	3	5
Carpe	18%	-9%	55%	-9%
Gardon adulte	19%	8%	7%	4%
Tanche adulte	-36%	-17%	-29%	35%
Sandre	873%	258%	1142%	895%
Gardon juvénile	39258%	1948%	510%	1771%
Tanche juvénile	237229%	1701%	6157%	102%
Densité CGT adulte	11%	-5%	24%	-3%
Densité totale poissons	159%	88%	134%	102%

Utilisation : évaluation des mélanges d'espèces

Mélange	Répartition biomasse init.				Prédictions de rendement net (kg)							Prédiction de concentration N finale (mg/L)
	Carpe	Sandre	Gardon	Tanche	Adultes				Juvéniles		TOTAL	
					Carpe	Sandre	Gardon	Tanche	Gardon	Tanche		
1	66%	1%	33%	0%	125,3	1,5	4,0	0,0	69,9	0,0	196,9	5,55
2	66%	1%	33%	0%	138,8	0,2	7,2	0,0	21,2	0,0	158,7	9,94
3	30%	10%	40%	2%	112,8	13,8	10,1	2,6	42,8	5,0	178,4	6,06
4	50%	23%	23%	0%	145,7	2,5	5,8	2,3	35,7	6,3	189,5	8,31
5	40%	10%	25%	25%	134,9	8,9	6,6	2,4	40,7	8,2	193,0	6,93
6	50%	5%	30%	15%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-8,8*	10,52
7	20%	7%	48%	25%	78,2	14,4	12,4	2,8	44,3	4,2	147,6	5,21
8	15%	7%	40%	38%	59,0	13,3	11,0	5,2	40,0	5,3	125,1	5,18
9	15%	10%	45%	30%	59,0	17,8	12,2	4,0	36,6	4,7	125,5	5,21
10	10%	7%	40%	43%	39,7	13,4	11,4	5,5	37,6	5,1	103,9	4,96

* Prédiction de la mortalité de tous les poissons suite à un manque d'oxygène dissous

Pistes potentielles

- Ajouter des espèces de poissons d'autres expériences du projet (carpe amour, brochet, ide mélanote, esturgeon) et leurs liens trophiques
- Ajouter des éléments éventuellement utiles (ex : précipitation, vent, macrophytes, représentation de plusieurs classes de zooplancton et/ou de macroinvertébrés, prédation par la faune) – tout en gardant en tête des compromis potentiels avec la précision
- Réfléchir à son utilisation pour contribuer à un outil pour des pisciculteurs

Conclusion

- Modèle dynamique relativement réaliste (de certains compartiments) et générique
- Travail d'amélioration de la précision à continuer
- Peut-être plus approprié pour des prédictions relatives (choix parmi plusieurs scénarios) au lieu des prédictions absolues