

Impacts des structures de rétention sur la dynamique des lacs eutrophes

Auguste Caen¹ Jean-Denis Mathias² Delphine Latour³

¹ Université Paris-Saclay, INRAE, MalAGE, 78350 Jouy-en-Josas

² Université Clermont Auvergne, INRAE, UR LISC, F-63172 Aubière

³ Université Clermont Auvergne, CNRS, LMGE-UMR 6023, F-63178 Aubière

8 février 2023



Introduction

Vers la gestion viable de systèmes dynamiques lacustres anthropisés (2019)

Thèse financée par la région Auvergne-Rhône-Alpes (CPER) et l'Union Européenne (FEDER)

Lac oligotrophe



Lac eutrophe



L'eutrophisation :

Un excès de nutriments dans l'eau du lac :

- **Phosphore**
- Nitrates

Introduction

Vers la gestion viable de systèmes dynamiques lacustres anthropisés (2019)

Thèse financée par la région Auvergne-Rhône-Alpes (CPER) et l'Union Européenne (FEDER)

Lac oligotrophe



Lac eutrophe



l'eutrophisation :

Causée par :

- Agriculture
- Urbanisation
- Pollution

⇒ proliférations cyano-bactériennes :

- Appauvrissement en oxygène
- Perturbation des équilibres écologiques
- Production de toxines

Introduction

Vers la gestion viable de systèmes dynamiques lacustres anthropisés (2019)

Thèse financée par la région Auvergne-Rhône-Alpes (CPER) et l'Union Européenne (FEDER)

Lac oligotrophe



Lac eutrophe



l'eutrophisation :

Causée par :

- Agriculture
- Urbanisation
- Pollution

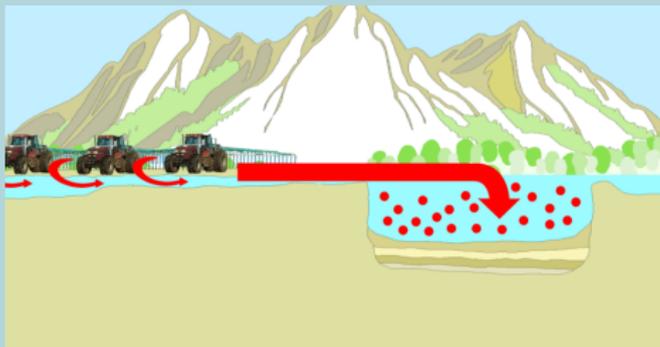
⇒ proliférations cyano-bactériennes :

- Appauvrissement en oxygène
- Perturbation des équilibres écologiques
- Production de toxines

→ modéliser et contrôler les flux de nutriments

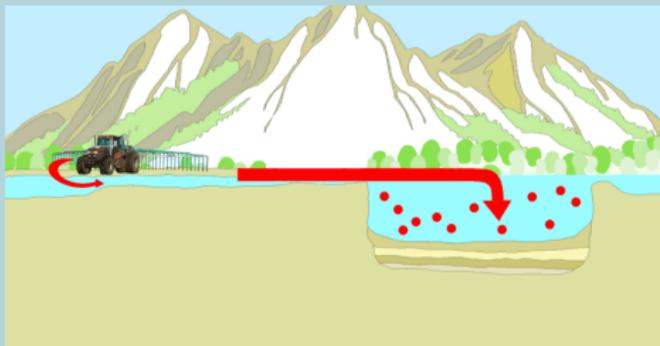
Introduction

Restaurer l'état d'un lac eutrophe :



Introduction

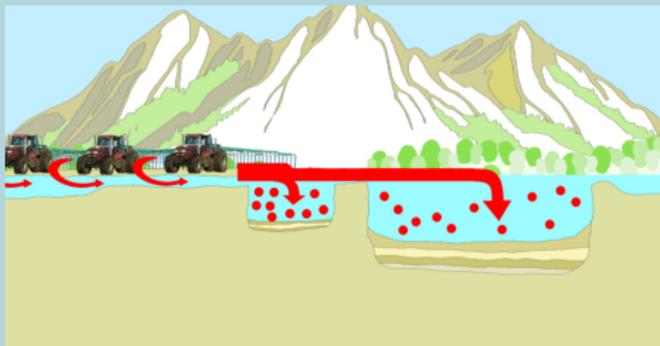
Diminuer les émissions de phosphore



→ difficulté de mise en oeuvre

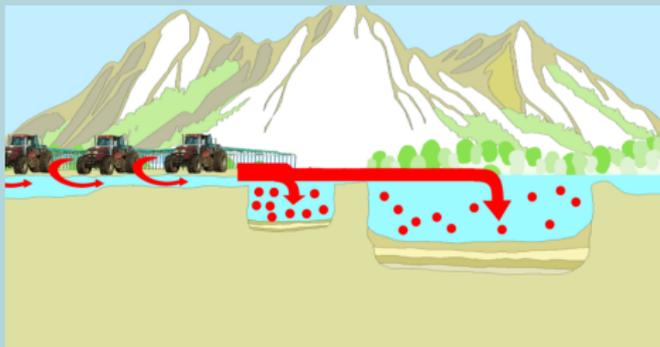
Introduction

Mise en place de structures de rétention



Introduction

Mise en place de structures de rétention



Exemples :

- Zones humides¹ :
rétention de nutriments par la végétation
- Bassins de sédimentation² :
rétention de nutriments par sédimentation

Gestion actuelle :

- Efficacité évaluée selon la capacité de rétention des structures
- Entretien régulier, selon le taux de saturation des structures.

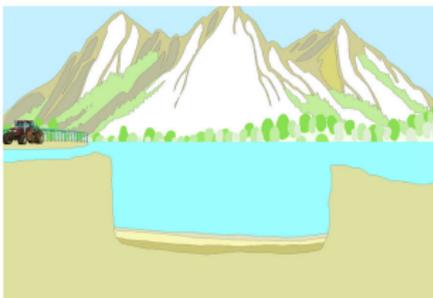
1. Barten 1987, Lake Reservoir Manag. ; Kadlec et al. 2010 Ecol. Eng.

2. Brown et al. 1981 ASAE ; Yousef et al. 1994, Sci. Total Environ.

Introduction

*Quels sont les effets dynamiques des **structures de rétention** sur la restauration d'un lac ?*

Carpenter et al., 1999

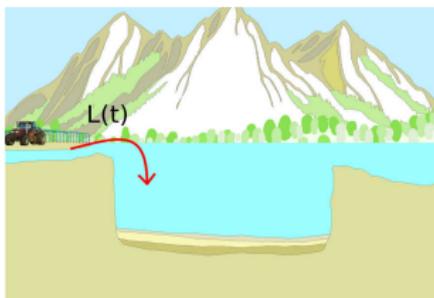


Le modèle :

$$\frac{dP}{dt} =$$

- $\frac{dP}{dt}$: dynamique du phosphore

Carpenter et al., 1999

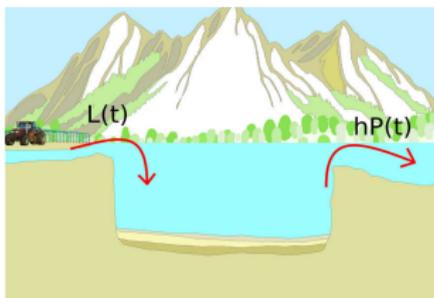


Le modèle :

$$\frac{dP}{dt} = L$$

- L : taux de phosphore entrant

Carpenter et al., 1999

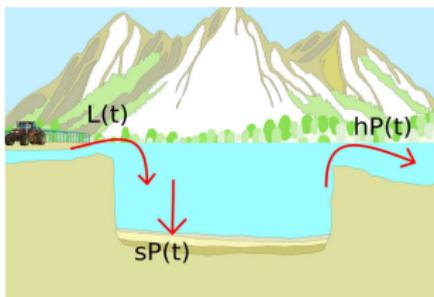


Le modèle :

$$\frac{dP}{dt} = L - hP$$

- hP : taux de phosphore sortant

Carpenter et al., 1999

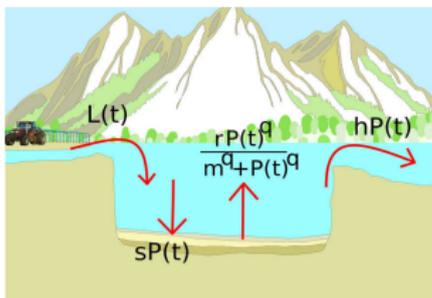


Le modèle :

$$\frac{dP}{dt} = L - hP - sP$$

- sP : taux de sédimentation du phosphore

Carpenter et al., 1999

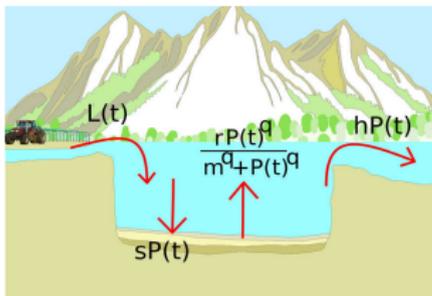


Le modèle :

$$\frac{dP}{dt} = L - hP - sP + r \frac{P^q}{m^q + P^q}$$

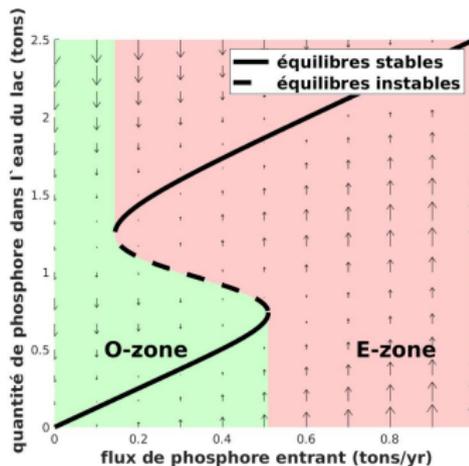
- $r \frac{P^q}{m^q + P^q}$: taux de recyclage du phosphore

Carpenter et al., 1999



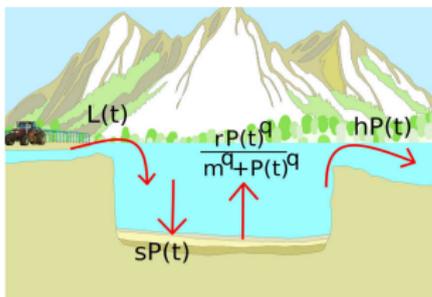
Le modèle :

$$\frac{dP}{dt} = L - hP - sP + r \frac{P^q}{m^q + P^q}$$



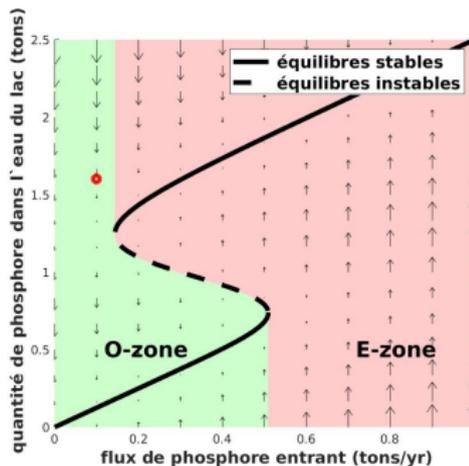
modèle de Carpenter : équilibres du lac

Carpenter et al., 1999



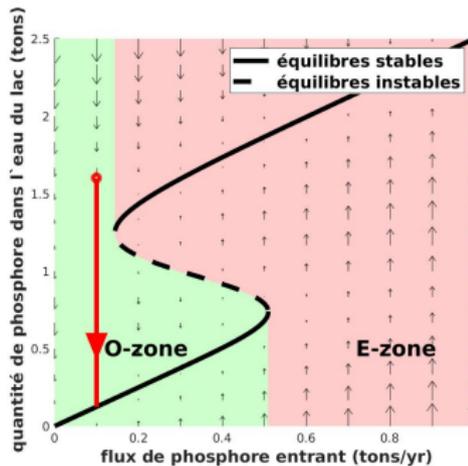
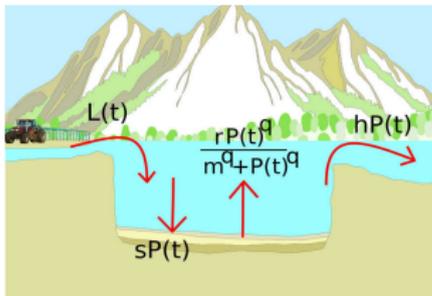
Le modèle :

$$\frac{dP}{dt} = L - hP - sP + r \frac{P^q}{m^q + P^q}$$



modèle de Carpenter : équilibres du lac

Carpenter et al., 1999

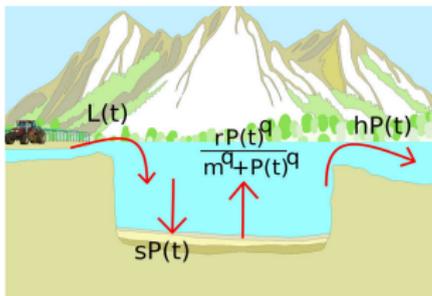


modèle de Carpenter : équilibres du lac

Le modèle :

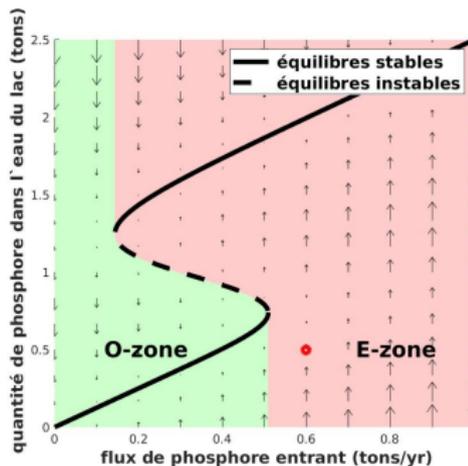
$$\frac{dP}{dt} = L - hP - sP + r \frac{P^q}{m^q + P^q}$$

Carpenter et al., 1999



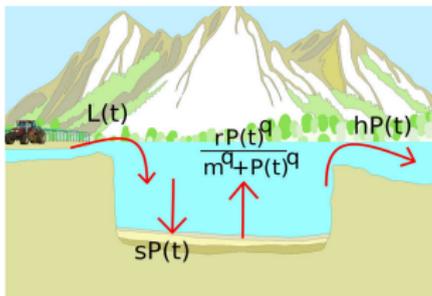
Le modèle :

$$\frac{dP}{dt} = L - hP - sP + r \frac{P^q}{m^q + P^q}$$



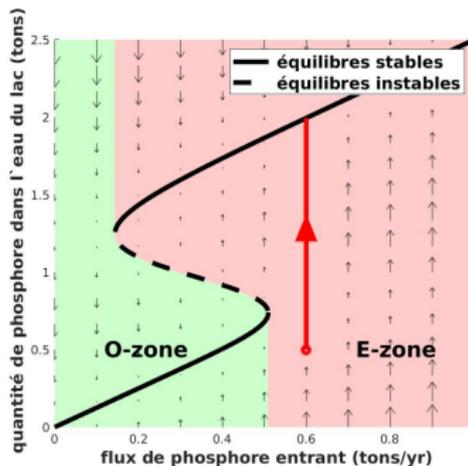
modèle de Carpenter : équilibres du lac

Carpenter et al., 1999



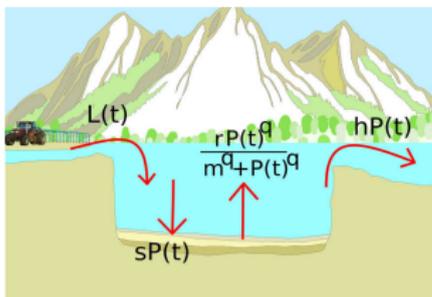
Le modèle :

$$\frac{dP}{dt} = L - hP - sP + r \frac{P^q}{m^q + P^q}$$



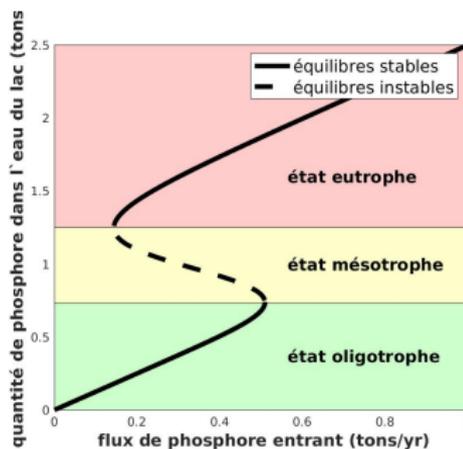
modèle de Carpenter : équilibres du lac

Carpenter et al., 1999



Le modèle :

$$\frac{dP}{dt} = L - hP - sP + r \frac{P^q}{m^q + P^q}$$



modèle de Carpenter : équilibres du lac

La dynamique du phosphore dans les structures de rétention

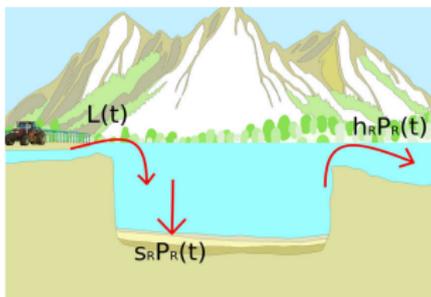
*Quels sont les effets dynamiques des **structures de rétention** sur la restauration d'un lac ?*

La dynamique du phosphore dans les structures de rétention

*Quels sont les effets dynamiques des **structures de rétention** sur la restauration d'un lac ?*

→ Étendre le modèle de Carpenter aux effets de rétention d'une structure.

Effet retard

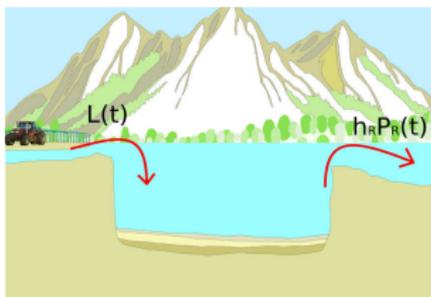


Le modèle :

$$\frac{dP_R}{dt} = L - h_R P_R - s_R P_R$$

- Effets de rétention

Effet retard

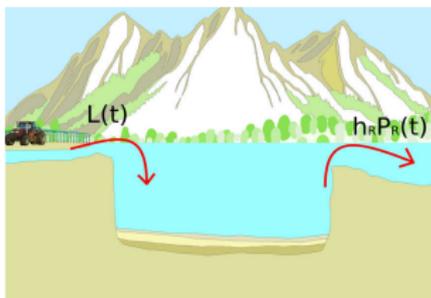


L'effet *retard* :

$$\frac{dP_R}{dt} = L - h_R P_R$$

- Pas d'effet de capture du phosphore

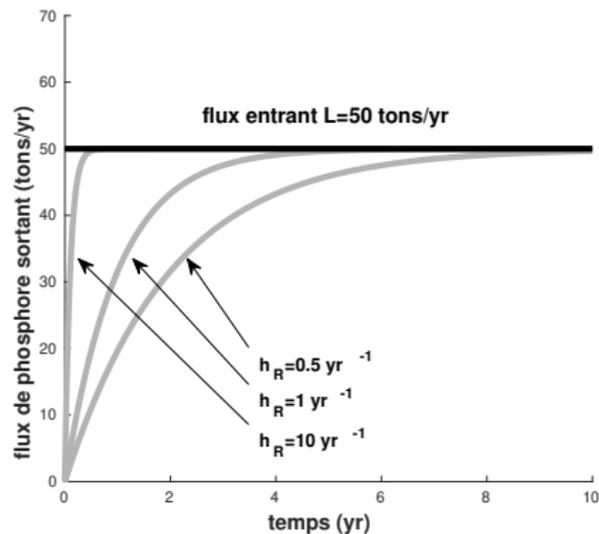
Effet retard



L'effet retard :

$$\frac{dP_R}{dt} = L - h_R P_R$$

- Pas d'effet de capture du phosphore



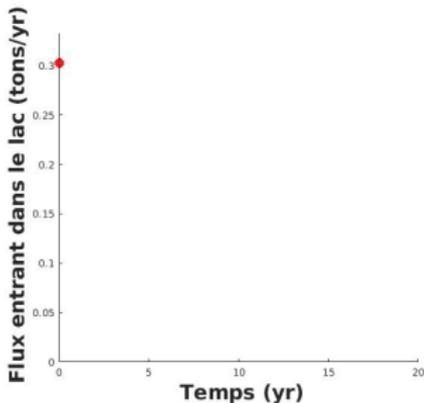
Effet retard

Flux entrant dans l'eau du lac

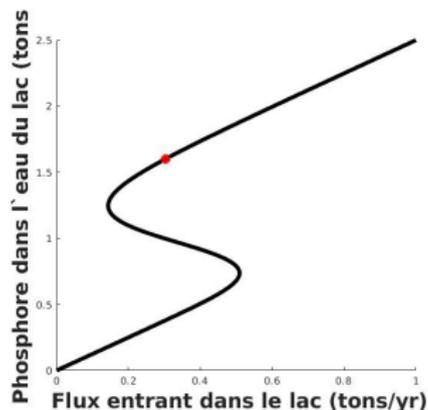
Phosphore dans l'eau du lac

Effet retard

Flux entrant dans l'eau du lac

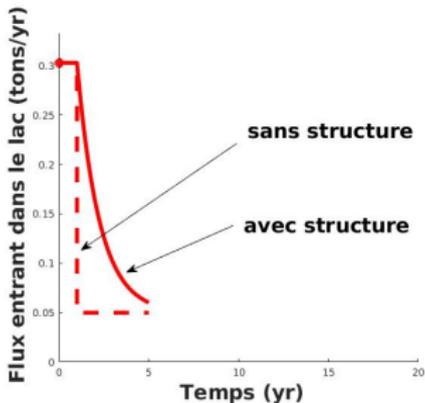


Phosphore dans l'eau du lac

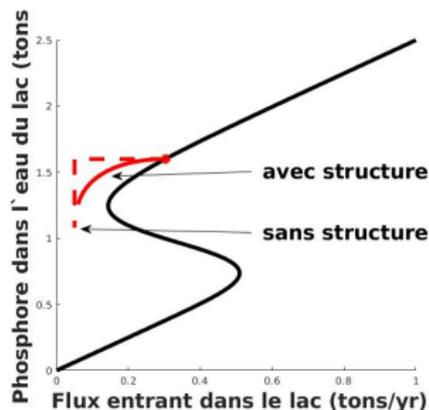


Effet retard

Flux entrant dans l'eau du lac

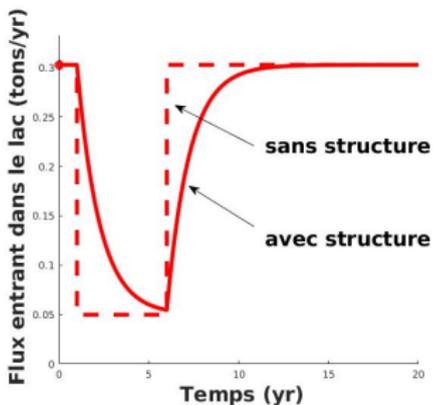


Phosphore dans l'eau du lac

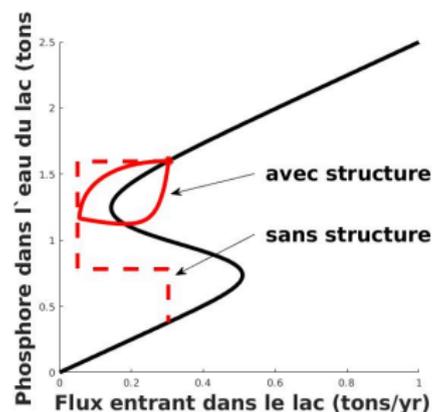


Effet retard

Flux entrant dans l'eau du lac

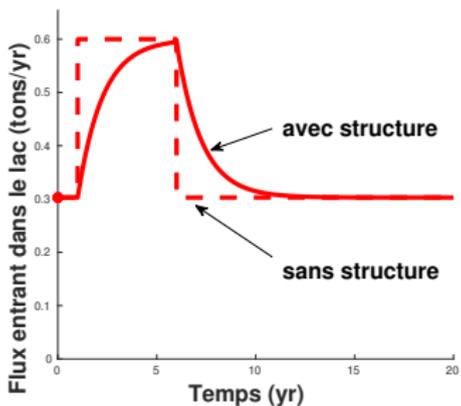


Phosphore dans l'eau du lac

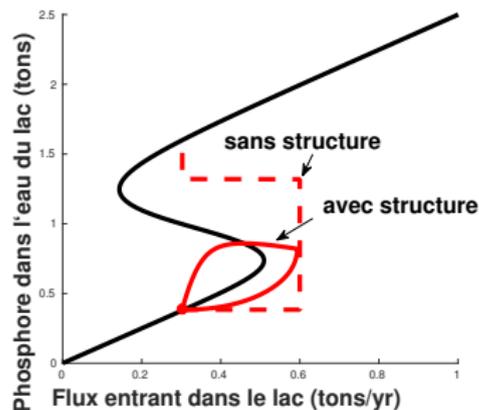


Effet retard

Flux entrant dans l'eau du lac



Phosphore dans l'eau du lac



Effet retard

L'effet retard augmente l'inertie du lac :

Effet retard

L'effet retard augmente l'inertie du lac :

→ Protège le lac oligotrophe d'une augmentation de phosphore en entrée

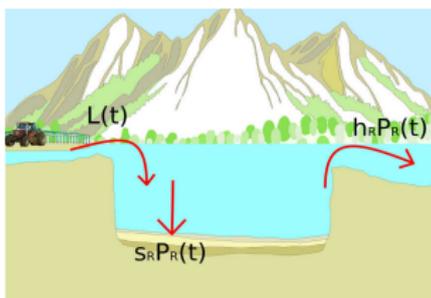
Effet retard

L'effet retard augmente l'inertie du lac :

→ Protège le lac oligotrophe d'une augmentation de phosphore en entrée

→ Entrave la restauration du lac eutrophe

Effet de capture fixe

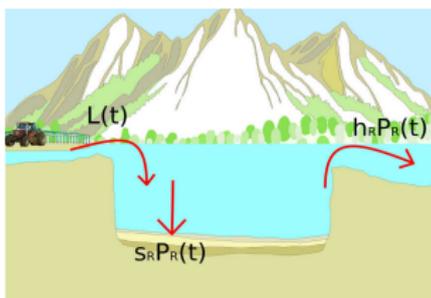


Le modèle :

$$\frac{dP_R}{dt} = L - h_R P_R - s_R P_R$$

- Effets de rétention

Effet de capture fixe



A l'équilibre, le taux de phosphore sortant de la structure est :

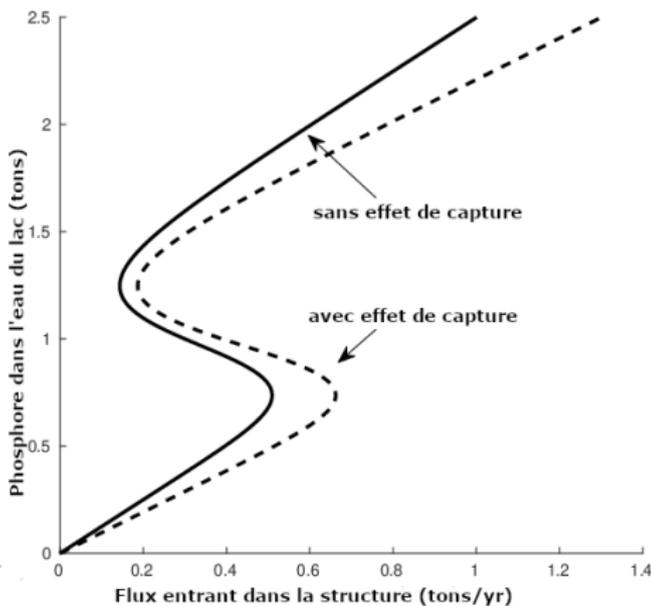
$$\frac{h_R L}{h_R + s_R} < L$$

L'effet de capture fixe :

$$\frac{dP_R}{dt} = L - s_R P_R - h_R P_R$$

- Un effet de capture fixe du phosphore
- Un effet retard négligeable : $h_R \gg 1$

Effet de capture fixe

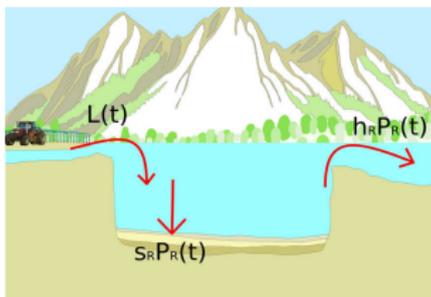


Equilibres du phosphore dans l'eau du lac

Effet de capture fixe

L'effet de capture fixe diminue la quantité de phosphore dans le lac

Effet de capture variable

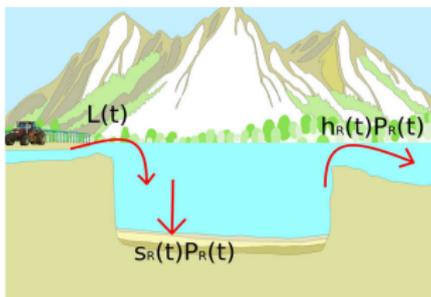


Le modèle :

$$\frac{dP_R}{dt} = L - h_R P_R - s_R P_R$$

- Effets de rétention

Effet de capture variable



L'effet de capture variable :

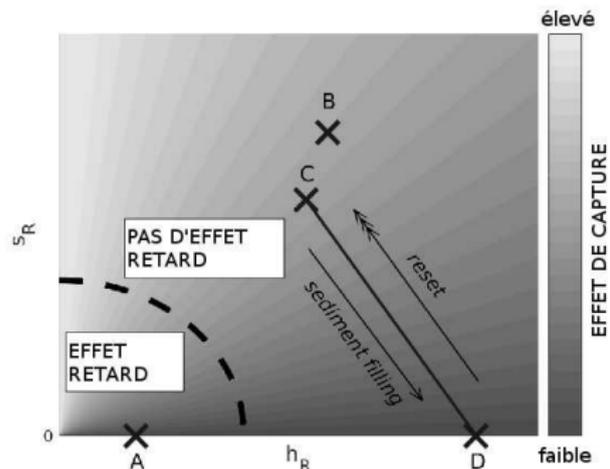
$$\frac{dP_R}{dt} = L - s_R(t)P_R - h_R(t)P_R$$

- Un effet de capture variable du phosphore :

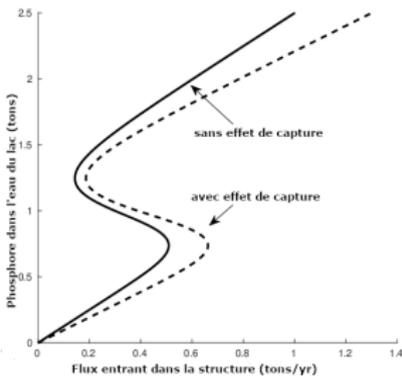
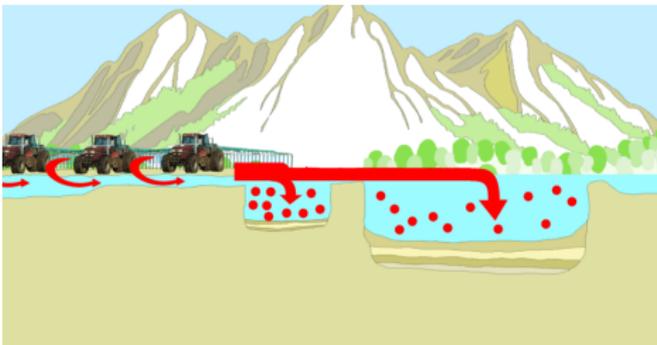
$$s_R(t) \rightarrow 0$$

$$h_R(t) \rightarrow h_R^\infty$$

- Un effet retard négligeable :
- $$h_R(t) \gg 1$$

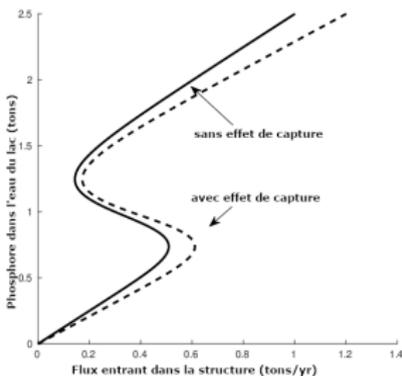
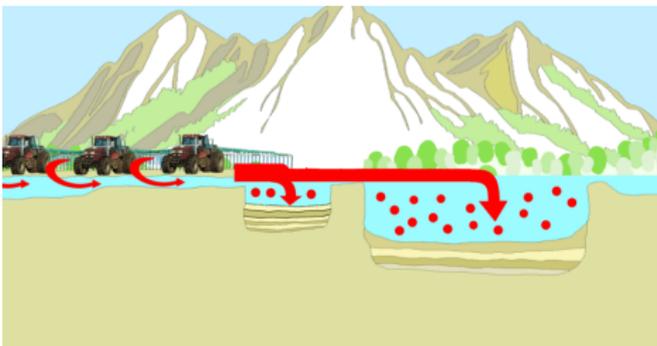


Effet de capture variable



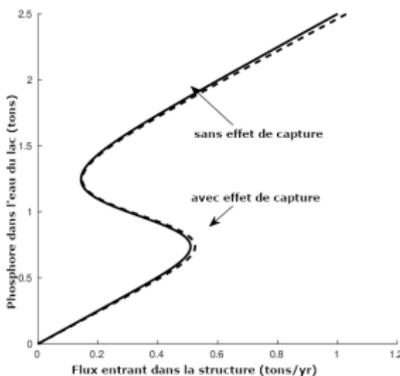
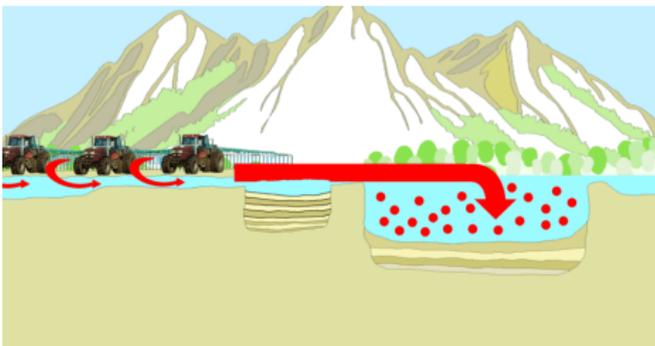
Equilibre du phosphore dans l'eau du lac à $T = 1$

Effet de capture variable



Equilibre du phosphore dans l'eau du lac à $T = 2$

Effet de capture variable



Equilibre du phosphore dans l'eau du lac à $T = 10$

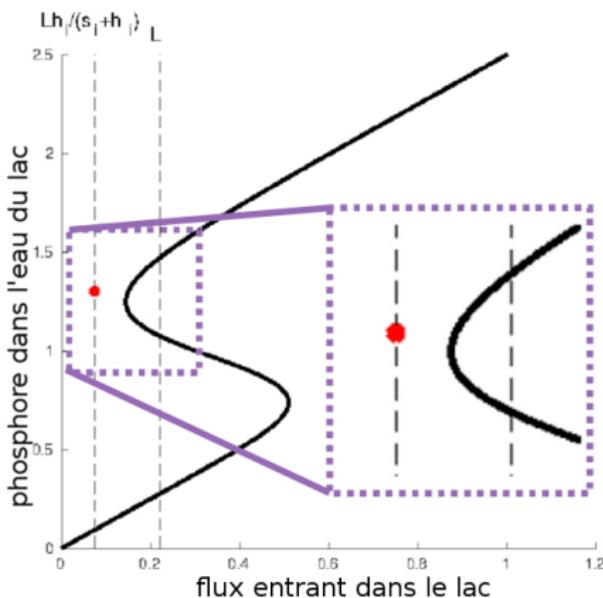
Un effet capturant variable

Quand doit-on rétablir l'effet de capture ?

Un effet capturant variable

Quand doit-on rétablir l'effet de capture ?

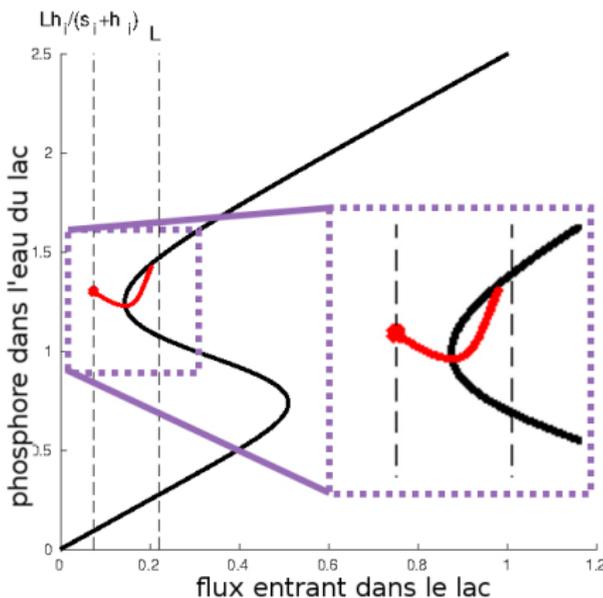
→ 1ère stratégie : lorsque la structure est saturée



Un effet capturant variable

Quand doit-on rétablir l'effet de capture ?

→ 1ère stratégie : lorsque la structure est saturée

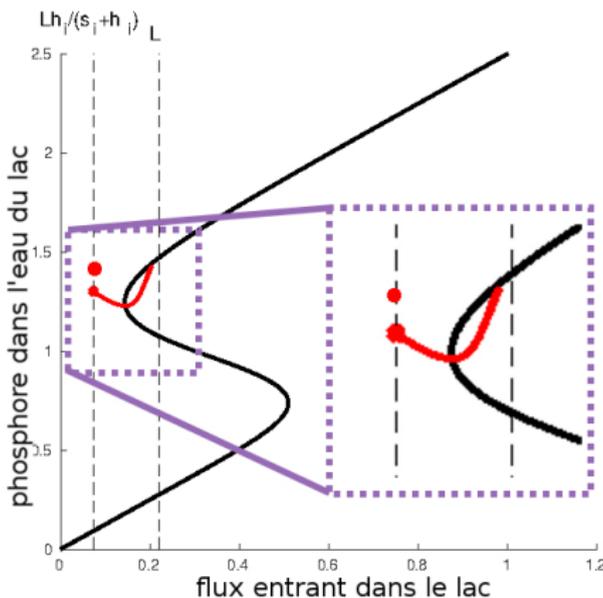


T = 10

Un effet capturant variable

Quand doit-on rétablir l'effet de capture ?

→ 1ère stratégie : lorsque la structure est saturée

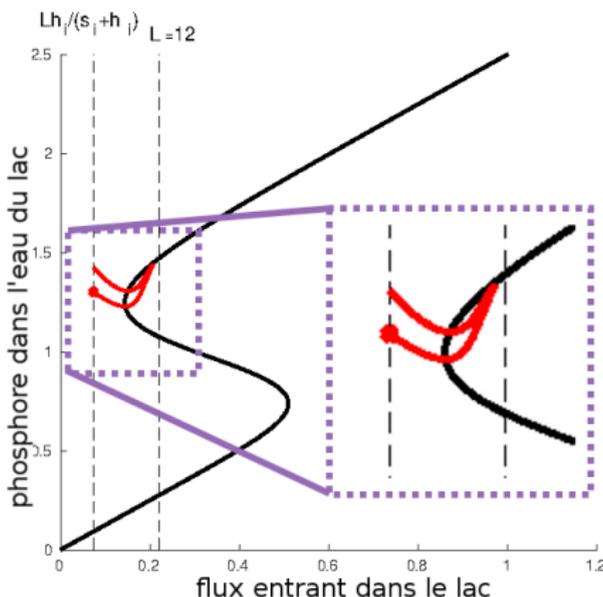


T = 10

Un effet capturant variable

Quand doit-on rétablir l'effet de capture ?

→ 1ère stratégie : lorsque la structure est saturée



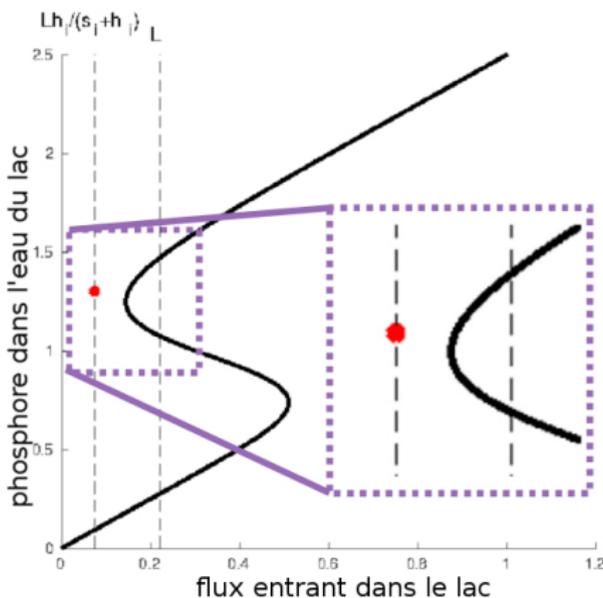
$T = 25$

→ état final eutrophe

Un effet capturant variable

Quand doit-on rétablir l'effet de capture ?

→ 2ème stratégie : selon la dynamique du phosphore dans l'eau du lac

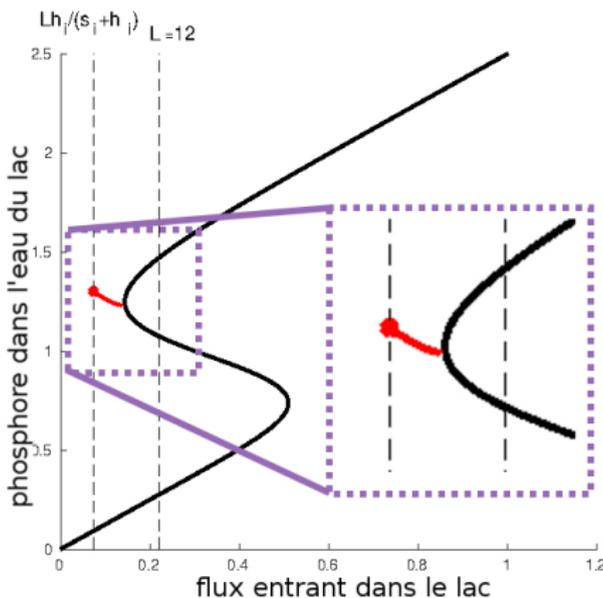


T = 0

Un effet capturant variable

Quand doit-on rétablir l'effet de capture ?

→ 2ème stratégie : selon la dynamique du phosphore dans l'eau du lac

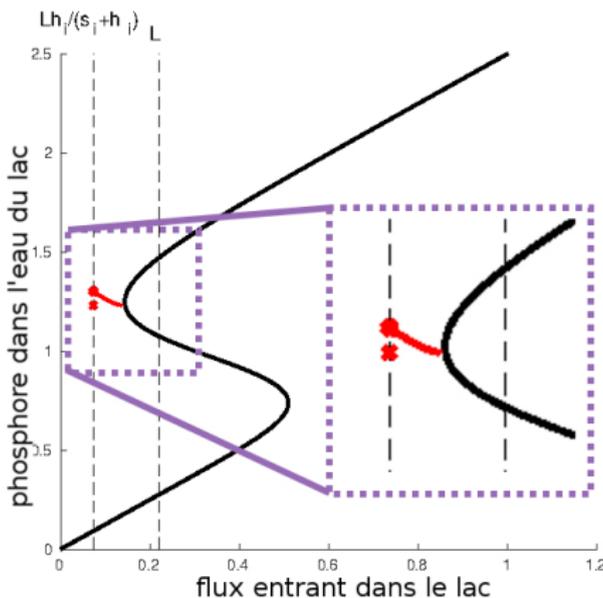


T = 2

Un effet capturant variable

Quand doit-on rétablir l'effet de capture ?

→ 2ème stratégie : selon la dynamique du phosphore dans l'eau du lac

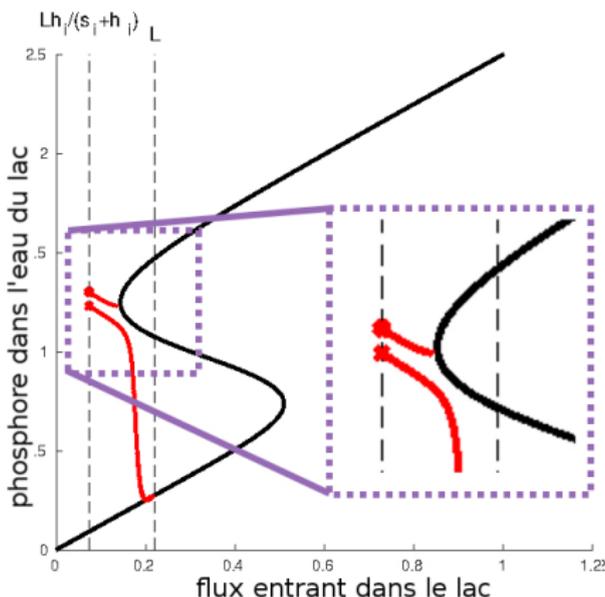


T = 2

Un effet capturant variable

Quand doit-on rétablir l'effet de capture ?

→ 2ème stratégie : selon la dynamique du phosphore dans l'eau du lac

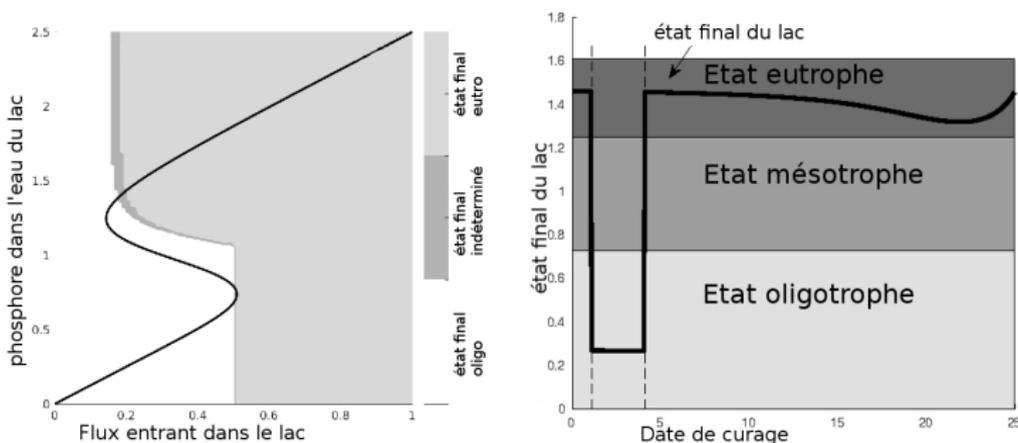


T = 25

→ état final oligotrophe

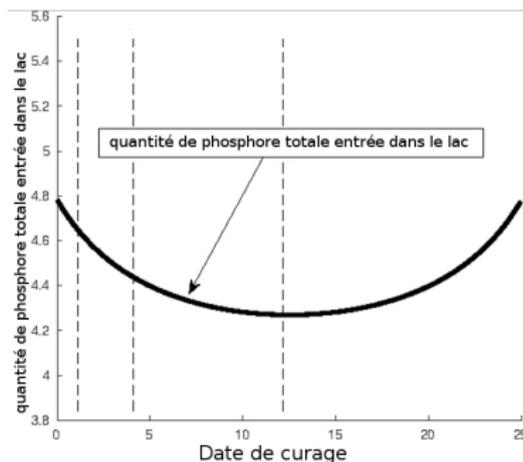
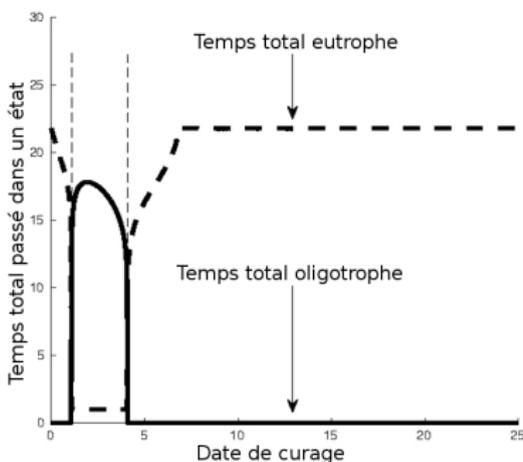
Un effet capturant variable

La stratégie de curage doit être adaptée au lac en aval :



Un effet capturant variable

La stratégie de curage doit être adaptée au lac en aval :



Un effet de capture variable

La dynamique du lac peut être longue \Rightarrow calibration des modèles difficile.

Un effet de capture variable

La dynamique du lac peut être longue \Rightarrow calibration des modèles difficile.
 \rightarrow Une stratégie pour rétablir ou maintenir un lac dans un état oligotrophe sans connaître les paramètres des modèles :

Un effet de capture variable

La dynamique du lac peut être longue \Rightarrow calibration des modèles difficile.
 \rightarrow Une stratégie pour rétablir ou maintenir un lac dans un état oligotrophe sans connaître les paramètres des modèles :

- 1) **Tant que** le lac est oligotrophe ou que le phosphore diminue :
attendre
- 2) **Dès que** le lac est eutrophe ou mésotrophe :
rétablir l'effet de capture
si ensuite le phosphore augmente :
la structure n'est pas suffisante
sinon :
1)

Bilan et conclusion :

Endiguer les phénomènes liés à l'eutrophisation :

Bilan et conclusion :

Endiguer les phénomènes liés à l'eutrophisation :

*Quels sont les effets dynamiques des **structures de rétention** sur la restauration d'un lac ?*

Bilan et conclusion :

Endiguer les phénomènes liés à l'eutrophisation :

*Quels sont les effets dynamiques des **structures de rétention** sur la restauration d'un lac ?*

Adaptation du modèle de Carpenter aux structures de rétention : étude de l'impact sur la dynamique du phosphore dans l'eau d'un lac.

Bilan et conclusion :

Endiguer les phénomènes liés à l'eutrophisation :

*Quels sont les effets dynamiques des **structures de rétention** sur la restauration d'un lac ?*

Adaptation du modèle de Carpenter aux structures de rétention : étude de l'impact sur la dynamique du phosphore dans l'eau d'un lac.

- Effet capturant fixe** → restaure et protège le lac
- Effet capturant variable** → restaure et protège le lac
- Effet retard** → **en fonction de la gestion**
protège le lac oligotrophe
Entrave la restauration du lac eutrophe

Bilan et conclusion :

Endiguer les phénomènes liés à l'eutrophisation :

Quels sont les effets dynamiques des **structures de rétention** sur la restauration d'un lac ?

Adaptation du modèle de Carpenter aux structures de rétention : étude de l'impact sur la dynamique du phosphore dans l'eau d'un lac.

- Effet capturant fixe** → restaure et protège le lac
 - Effet capturant variable** → restaure et protège le lac
 - Effet retard** → protège le lac oligotrophe
- Entraîne la restauration du lac eutrophe

A. Caen, D. Latour, J.-D. Mathias, Dynamical effects of retention structures on the mitigation of lake eutrophication, Environmental Modelling & Software, 2019, 119, 309-326.

Bilan et Conclusion

Merci pour votre attention !