

## 5. Systèmes lacustres

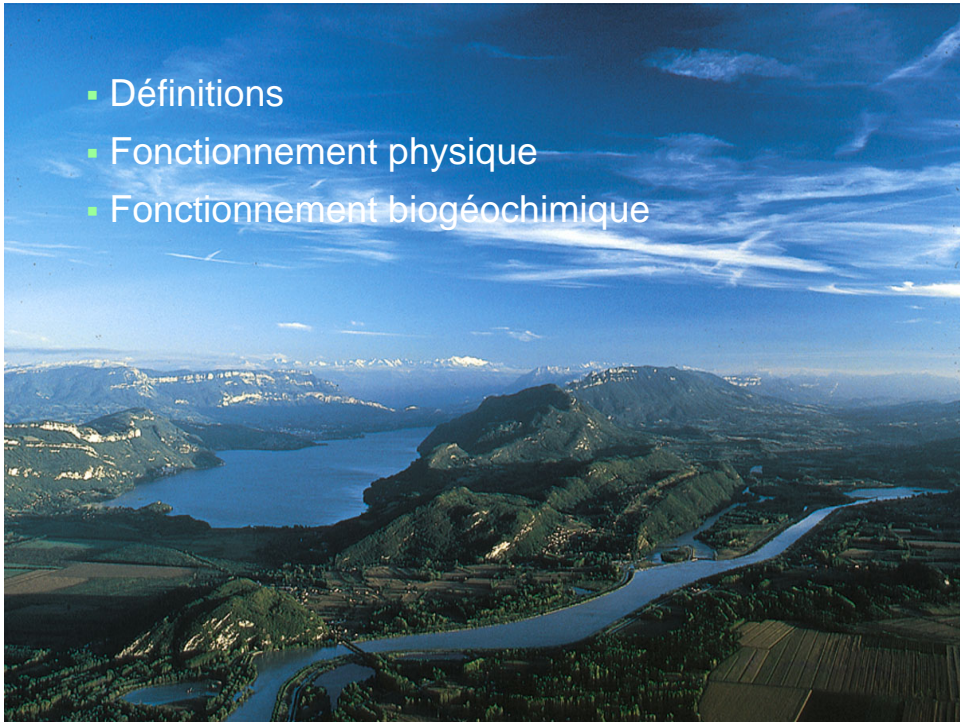
<http://leesu.univ-paris-est.fr/COURS-Eaux-superficielles>  
Master GTESD v 2013

**Martin.Seidl@leesu.enpc.fr**

ENPC, Ecole des Ponts ParisTech  
LEESU, Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains

UFMG Universidade Federal de Minas Gerais  
EHR Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos

- Définitions
- Fonctionnement physique
- Fonctionnement biogéochimique



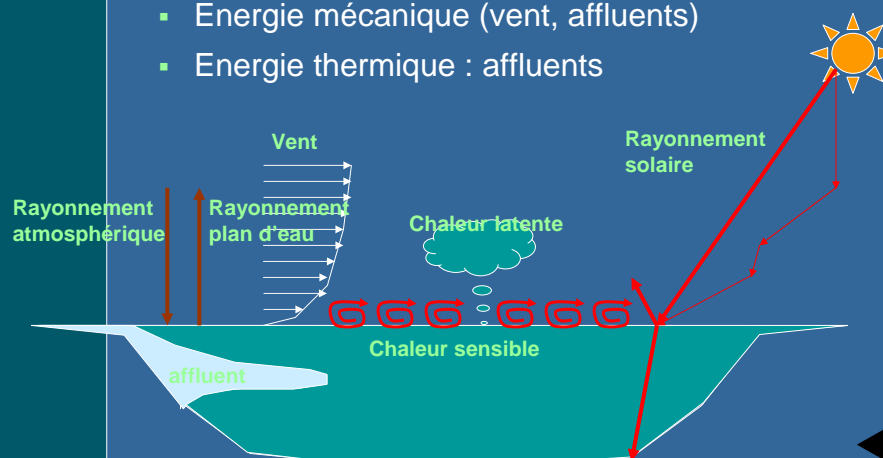
## Qu'est ce qu'un système lacustre ?

- « Un volume d'eau libre superficiel remplissant une dépression naturelle ou artificielle sans connexion directe avec les océans et dans lequel le déplacement de l'eau n'est pas unidimensionnel. »  
(Comité National Français des Sciences Hydrologiques)
- « une masse d'eau intérieure de surface stagnante » (Directive Cadre Européenne Eau)
- $0.01 \text{ km}^2 (1 \text{ ha}) < A < 374 \cdot 10^3 \text{ km}^2$  (Caspienne)
- profondeur supérieure à 1 m
- importance de la dimension verticale
- $\tau_x = 10^6 \text{ s}$ ,  $\tau_z = 10^8 \text{ s}$

3

## Fonctionnement physique

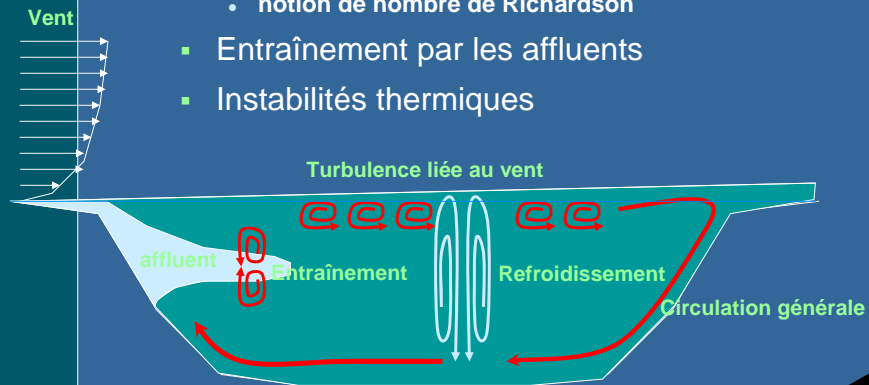
- Echanges thermiques atmosphériques
- Energie mécanique (vent, affluents)
- Energie thermique : affluents



4

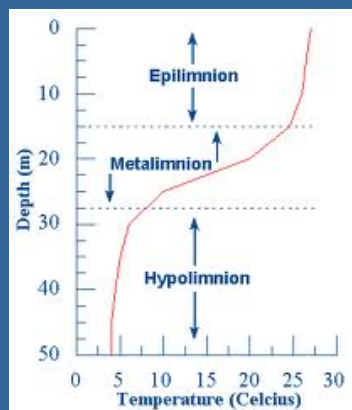
## Processus de mélange

- Vent
  - circulations générales
  - turbulence au voisinage de la surface
  - notion de nombre de Richardson
- Entraînement par les affluents
- Instabilités thermiques



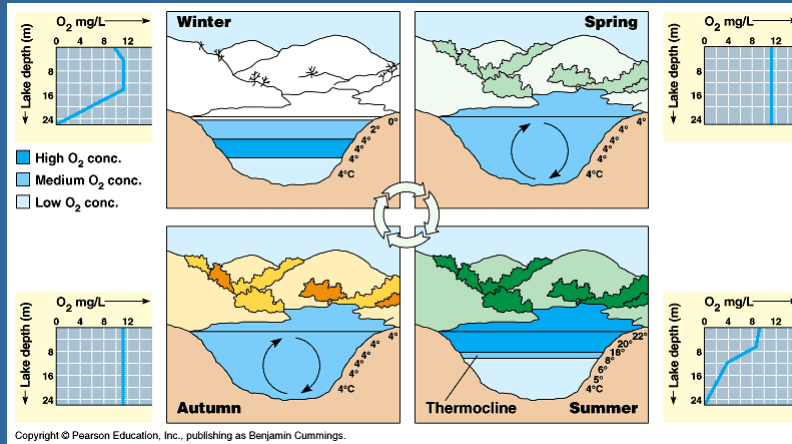
5

## Structure thermique saisonnière

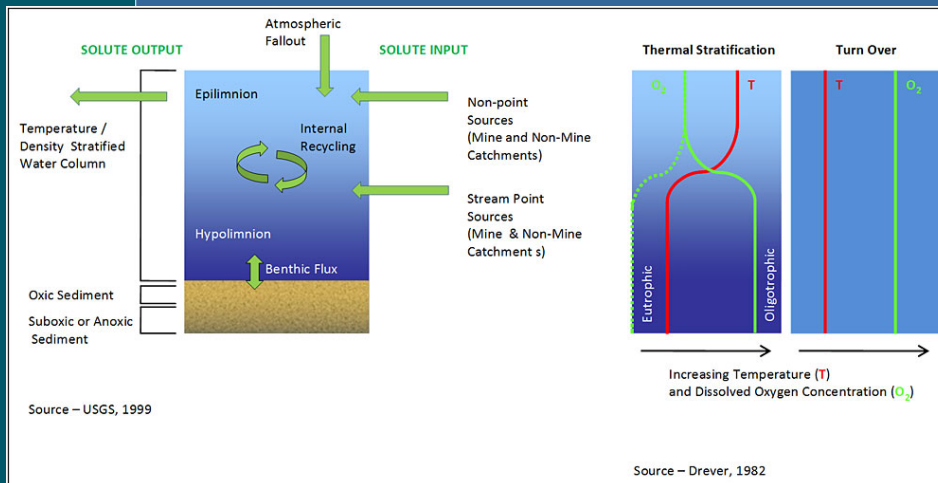


6

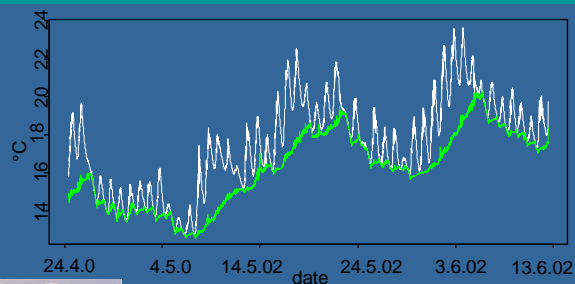
# Structure thermique saisonnière



# Structure thermique



## Autres stratifications



Etang de Bailly,  
Champs-sur-Marne (77)  
1 hectare  
2 m de profondeur

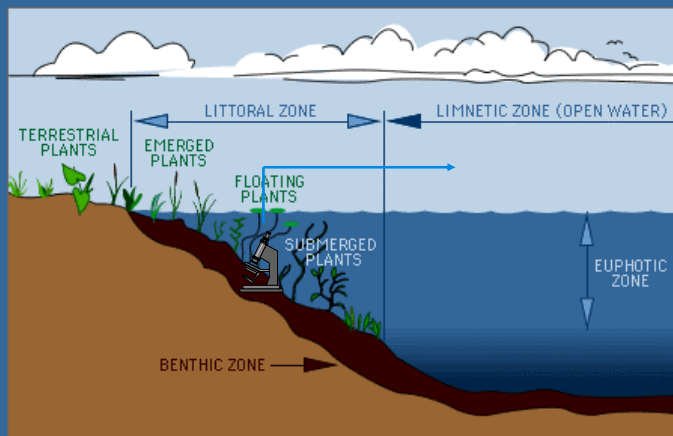
9

## Production primaire lacustre

- Matière organique formée à partir d'éléments minéraux ( $\text{CO}_2$ , N, P, Si) par l'ensemble des organismes **autotrophes** capables d'utiliser l'énergie lumineuse : Photosynthèse
- Source de matière et d'énergie pour les organismes **hétérotrophes**
- Conséquences sur les cycles biogéochimiques de nombreux éléments.
- Phytoplancton.

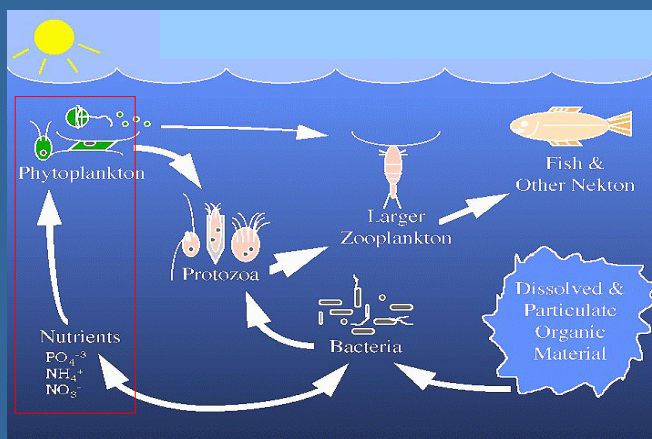
10

## Hétérogénéité spatiale



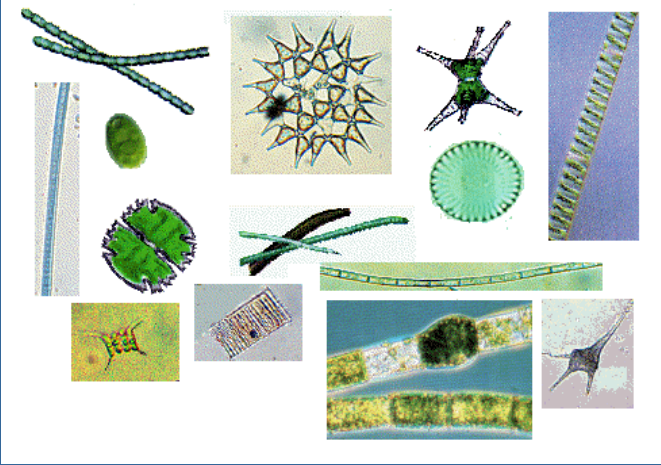
11

## Réseau trophique dans un lac



12

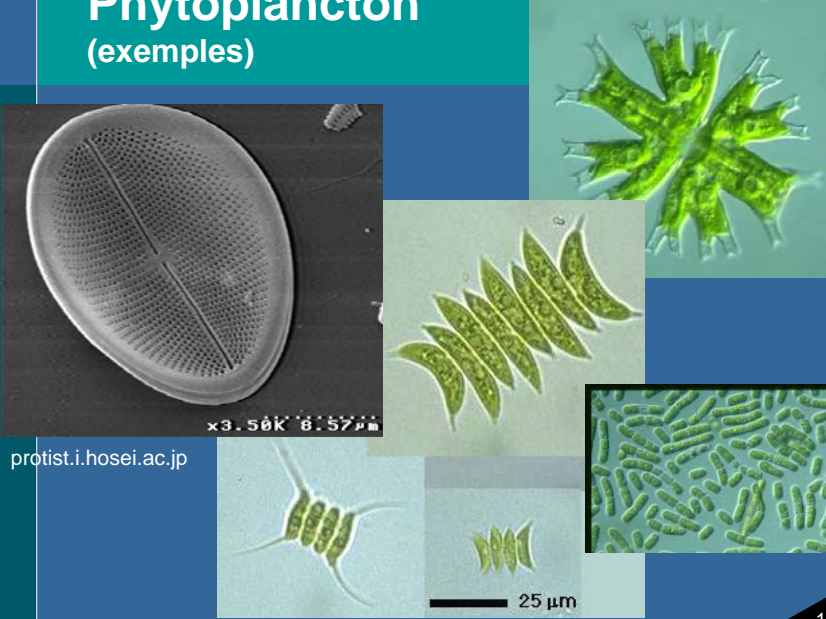
## Phytoplankton (exemples)



A collage of various phytoplankton species. It includes several diatoms with their characteristic silica shells, some in chains and some as single cells. There are also green algae, including a large, star-shaped form with multiple arms, and various cyanobacteria, some in long, thin chains and others as smaller, more complex structures. The images are arranged in a grid-like fashion on a white background.

13

## Phytoplankton (exemples)



Detailed images of specific phytoplankton species. The largest image is a large, oval-shaped diatom with a highly textured, perforated silica shell. Other images show various green algae, including a large, star-shaped form with multiple arms, and several chains of smaller, more complex structures. A scale bar of 25 μm is visible in the bottom right corner of the collage.

protist.i.hosei.ac.jp

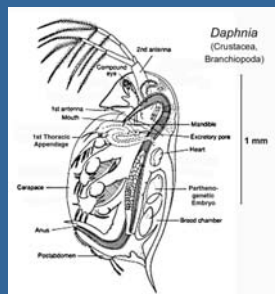
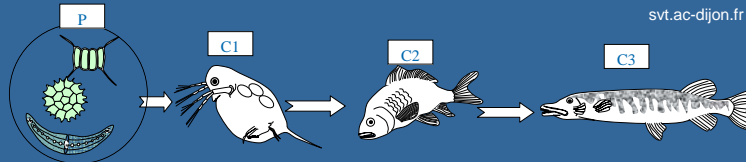
x3.50K 8.57μm

25 μm

14

## Invertébrés aquatiques

algues ( Scenedesmus, Pediastrum et Closterium) –daphnie (1 à 2 mm)- carpe – brochet1  
svt.ac-dijon.fr



15

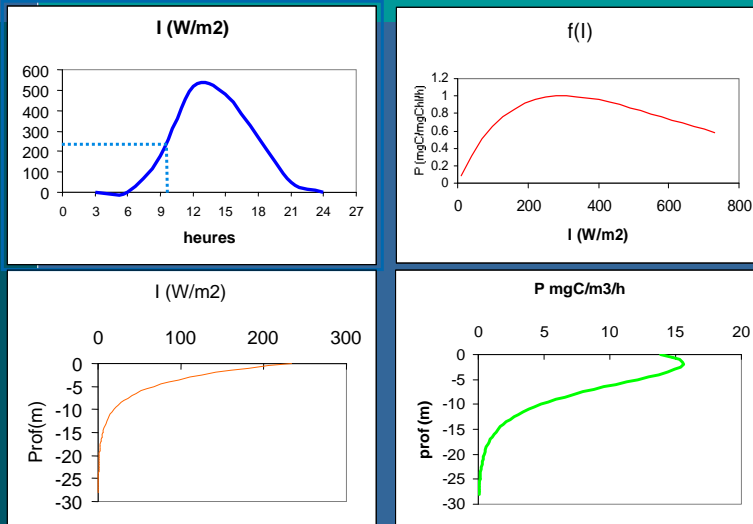
## Photosynthèse et lumière

- PAR: visible (400-700 nm) ~45% du flux radiatif total
- Absorption de la lumière incidente par l'eau
- absorption de la lumière =  $f(\lambda)$  modification du spectre en profondeur

16

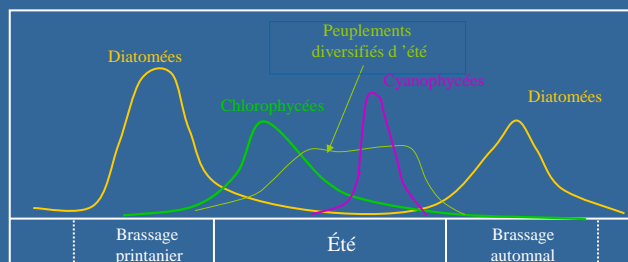


## Photosynthèse et lumière



17

## Succession phytoplanctonique saisonnière

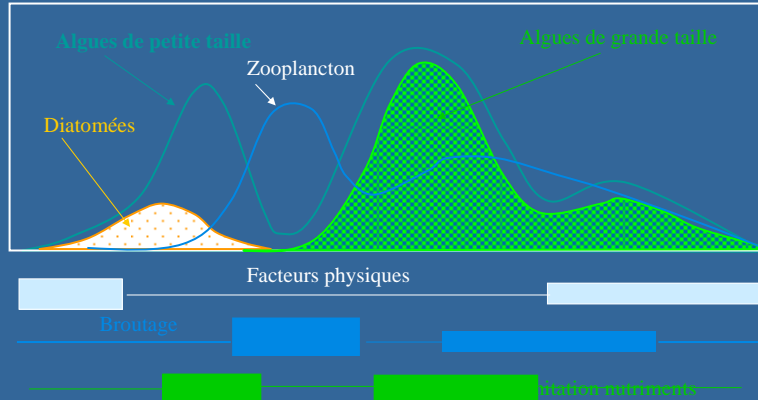


D'après Stewart & Wetzel (1986) in Amblard & Pinel-Alloul (1995)

18

## Facteurs contrôlant la succession

D'après Sommer et al. (1986) in Amblard & Pinel-Alloul (1995)



19

## Eutrophisation

- Depuis les années 1950-1960
- Enrichissement en nutriments (Bassin versant)
- Phosphore
- Excès de production algale
- Principales conséquences:
  - diminution de la transparence de l'eau
  - diminution de l'oxygène en profondeur
  - diminution de la biodiversité
  - espèces algales toxiques

20

## Classification trophique

**Table 7.1** Nutrient levels, biomass and productivity of lakes at each trophic category

Trophic category	Mean total phosphorus (mg m <sup>-3</sup> )	Annual mean chlorophyll (mg m <sup>-3</sup> )	Chlorophyll maxima (mg m <sup>-3</sup> )	Annual mean Secchi disc transparency (m)	Secchi disc transparency minima (m)	Minimum oxygen (%sat) <sup>1</sup>	Dominant fish
Ultra-oligotrophic	4.0	1.0	2.5	12.0	6.0	<90	Trout, Whitefish
Oligotrophic	10.0	2.5	8.0	6.0	3.0	<80	Trout, Whitefish
Mesotrophic	10-35	2.5-8	8-25	6-3	3-1.5	40-89	Whitefish, Perch
Eutrophic	35-100	8-25	25-75	3-1.5	1.5-0.7	40-0	Perch, Roach
Hypereutrophic	100.0	25.0	75.0	1.5	0.7	10-0	Roach, Bream

<sup>1</sup> % saturation in bottom waters depending on mean depth

Sources: Håkanson, 1980; Håkanson and Jansson, 1983; Meybeck et al., 1989

21

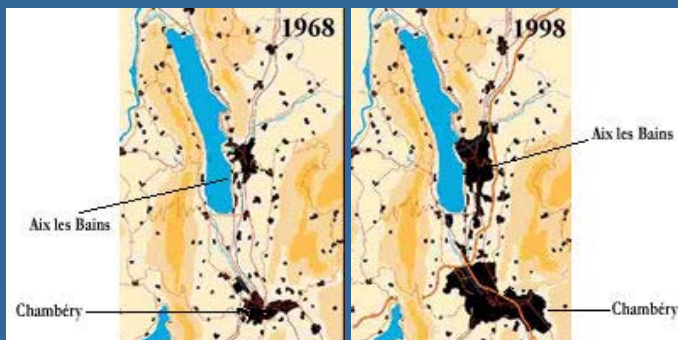
## Lac du Bourget Savoie



- Profondeur maximale = 145m
- surface = 42 Km<sup>2</sup>
- tw ≈ 8-9 ans

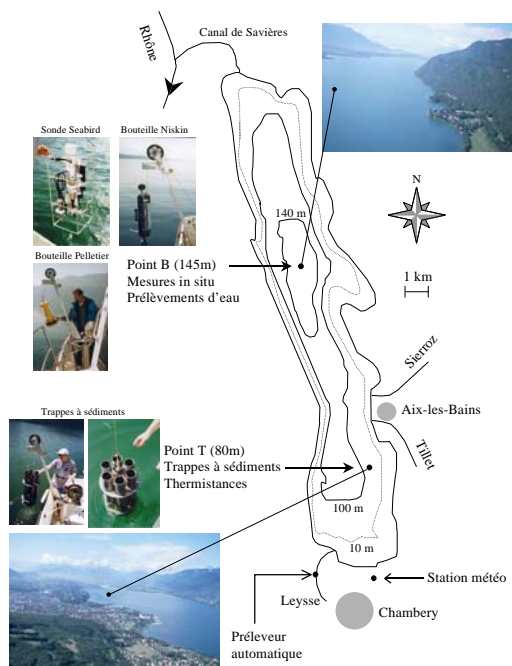
22

## Urbanisation dans le bassin versant

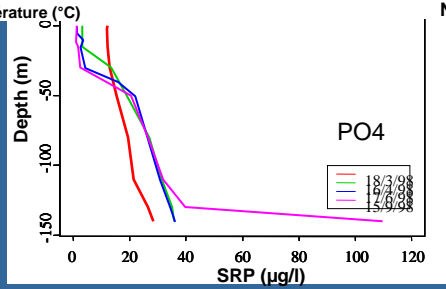
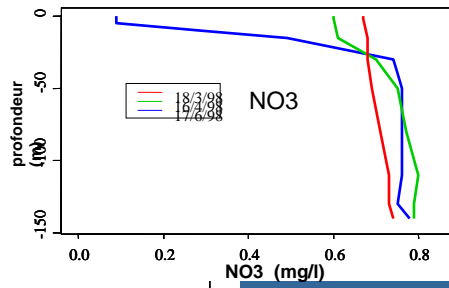
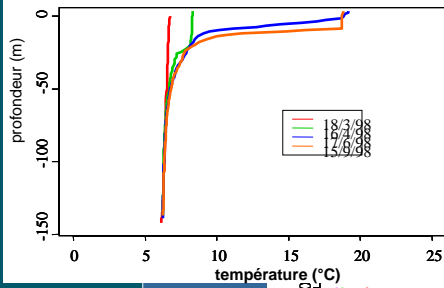


- 61 communes
- 170 000 habitants
- +57% en 30 ans
- axe Grenoble - Genève

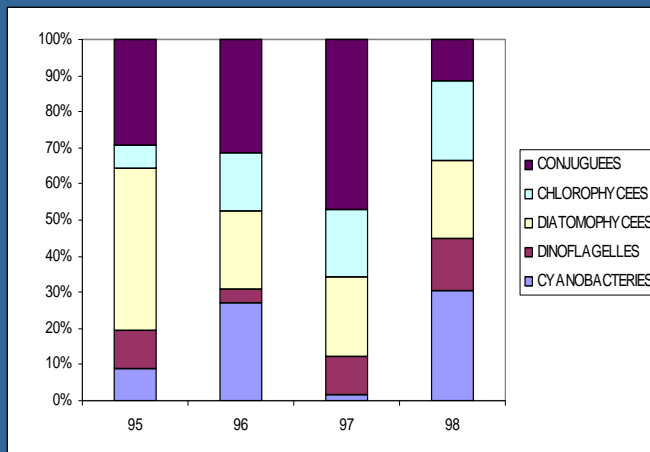
## Suivi du lac du Bourget

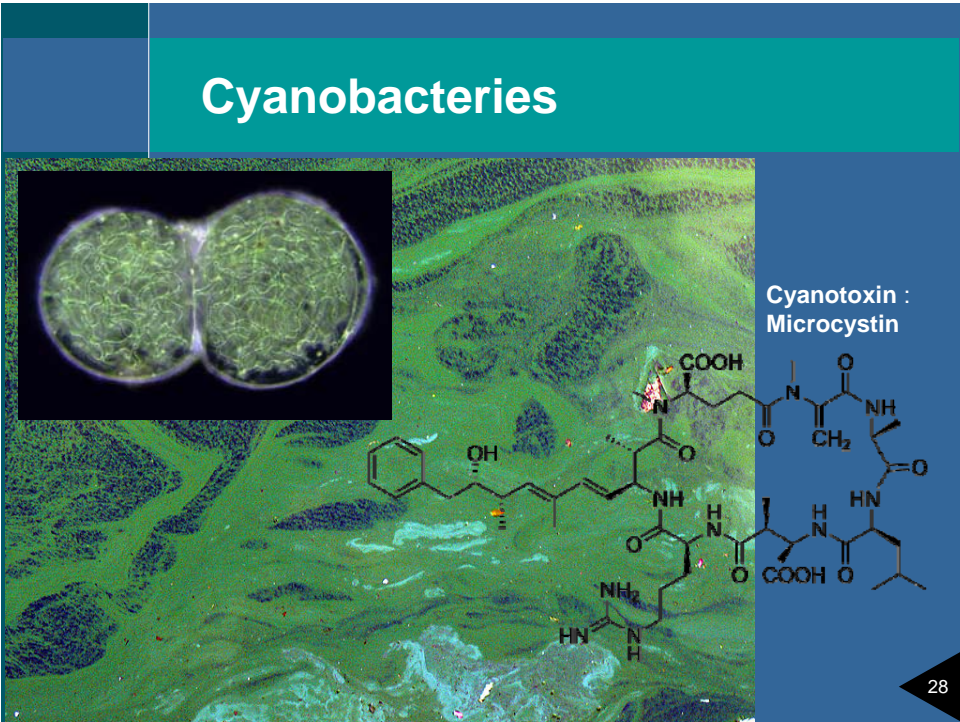
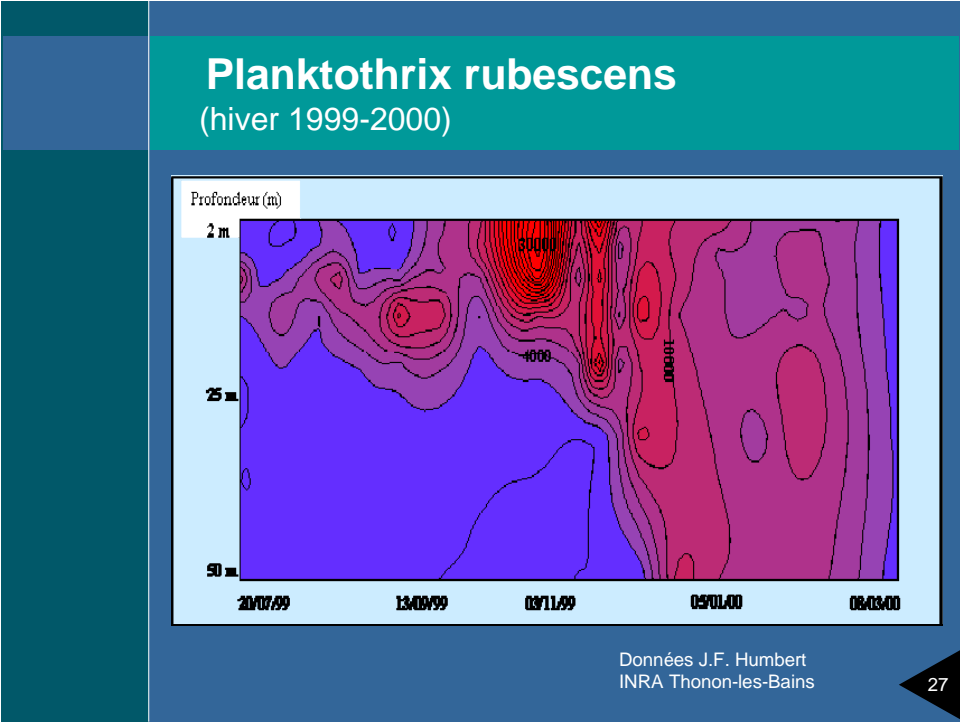


## Température



## Espèces algales



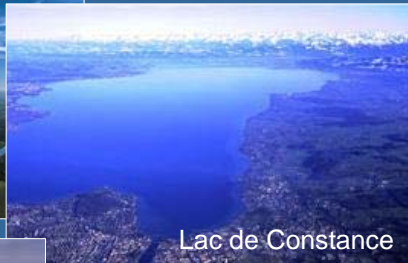


## Le 3 plus grands lacs européens

Lac du Bourget



Lac de Constance



Lac Léman



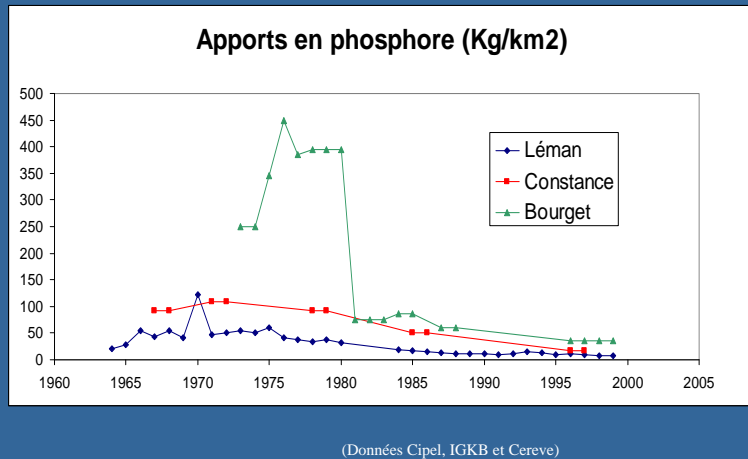
29

## Caractéristiques des 3 lacs

	Léman	Constance	Bourget
Altitude moyenne	372 m	395 m	230 m
Superficie	580 km <sup>2</sup>	534 km <sup>2</sup>	42 km <sup>2</sup>
Volume moyen	89 km <sup>3</sup>	48.4 km <sup>3</sup>	3.9 km <sup>3</sup>
Profondeur maximale	309 m	253 m	145 m
Temps de séjour de l'eau	11 ans	4 ans	8 ans
Surface du bassin versant	7395 km <sup>2</sup>	11980 km <sup>2</sup>	560 km <sup>2</sup>

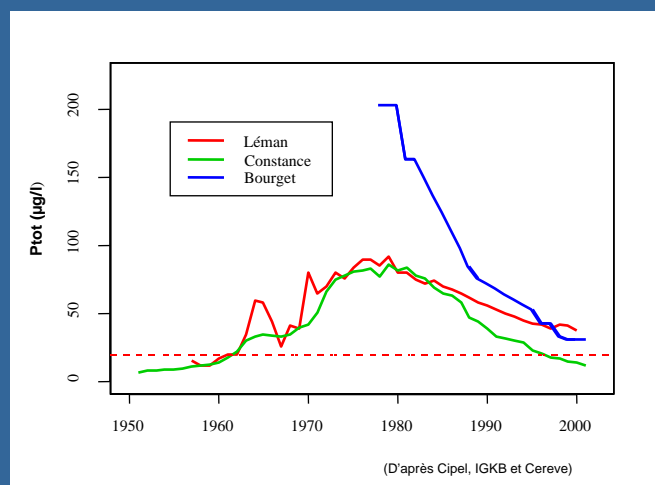
30

## Evolution des apports en « P »



31

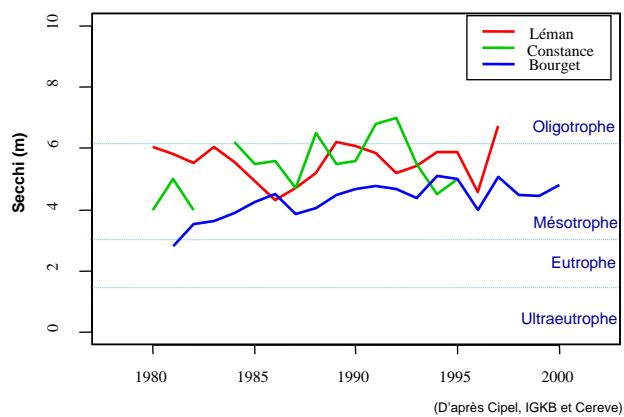
## Phosphore total (mélange hivernal)



32

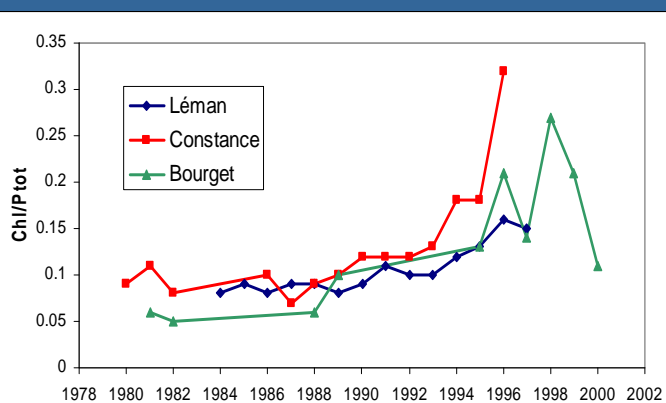


## Transparence estivale



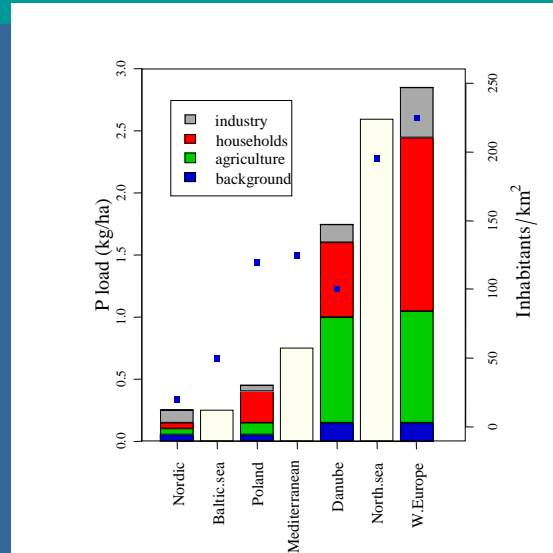
33

## Chl/Ptot



34

## Sources de phosphore France ???



35

## Urbanisation

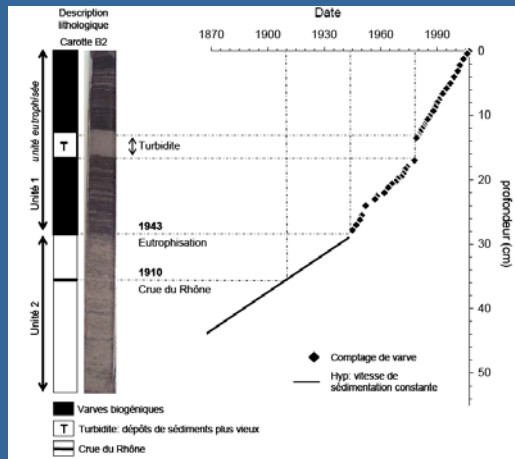
### Sédiments archives de la pollution



Bourget 2008,  
thèse Sarah Jung

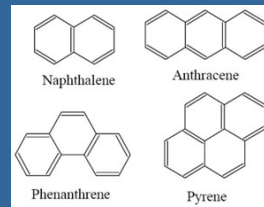
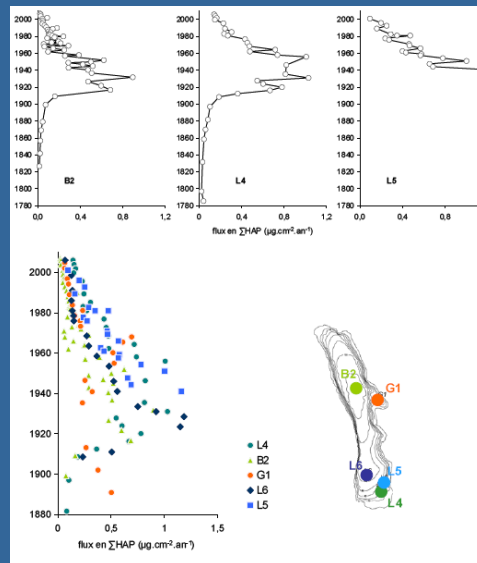
36

# Sédiments archives de la pollution



Bourget 2008, thèse Sarah Jung

# Urbanisation Sédiments archives de la pollution



## Mx ?

39

## Lacs en conclusion

- Production primaire - Phytoplancton
- Eutrophisation - **Phosphore**
- Modifications du réseau trophique **adaptations, interactions,...**
- Impact des activités anthropiques « gravé » dans le sédiments
- Reconstitution des pollution possibles grâce à la datation Cs/Pb

40

# Lac, application pratique



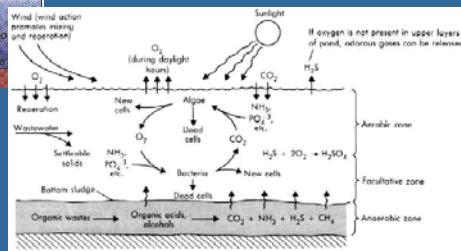
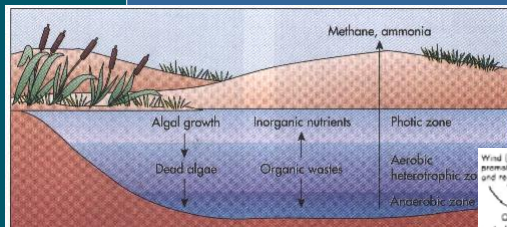
[en-charente-maritime.com](http://en-charente-maritime.com)



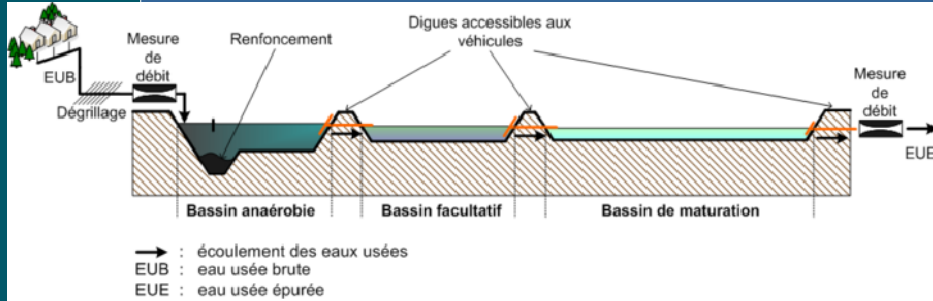
<http://www.ville-rochefort.fr>

# Processus lagune /lac

- Symbiose



# Lagunage



[Retour sommaire](#)