

# Incertitudes et physico-chimie en soutien à la biologie dans les plans d'eau

*Pierre-Alain Danis (AFB)*

*Vincent Roubeix (Irstea)*

*- Pôle AFB-Irstea d'Aix-en-Provence -*

Jordi Prats et Nathalie Reynaud (Irstea)

Thierry Tormos (AFB)

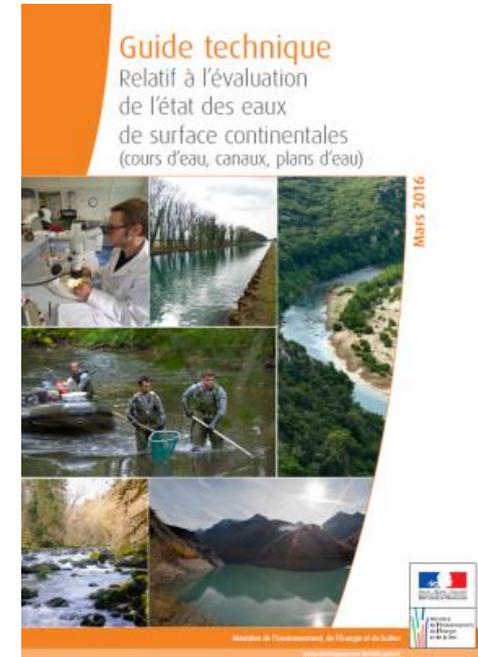
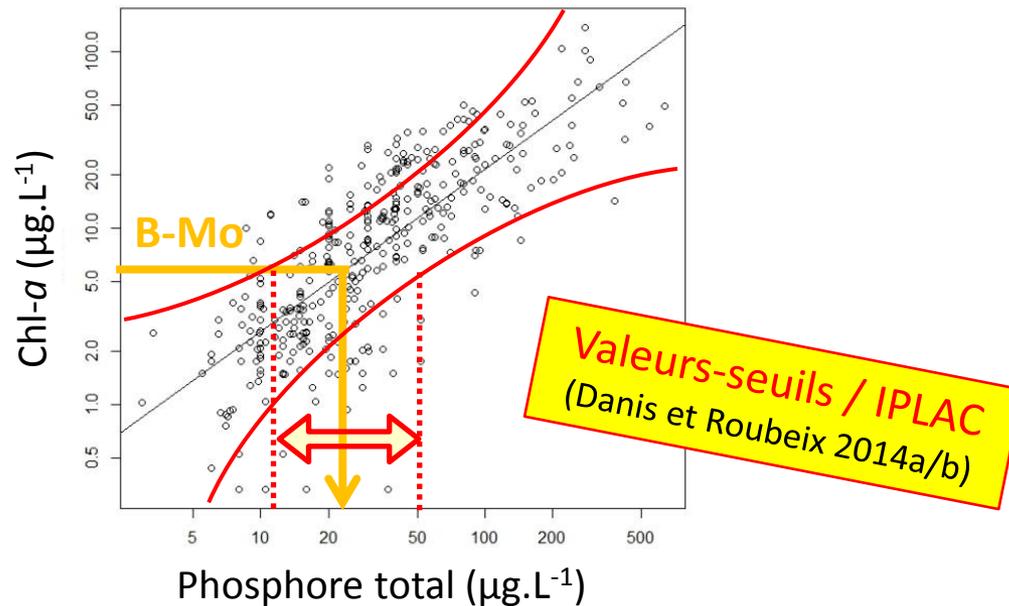
Tristan Harmel (Irstea/LOV) et Malik Chami (LOV)

Frédérique Soullignac et Orlanne Anneville (INRA)

Florentina Moatar et Camille Minaudo (Univ. Tours)

# Les seuils actuels pour les paramètres PC

Méthode : Cohérence des réponses des paramètres PC aux métriques des indices biologiques existants



- Utilisation de corrélations avec les 2 métriques de l'indice phytoplancton (IPLAC)
- Pas de réponses robustes des métriques des autres compartiments biologiques
- Pas assez de site de référence par type de plan d'eau → Critère typologique  $Z_{\text{moy}}$
- Indices : PT, NH<sub>4</sub>, (NO<sub>3</sub>) et Transparence
- Arrêté Evaluation 2015 (JORF 0198)
- Guide 2016 relatif à l'évaluation des eaux de surface continentales

# En soutien à la biologie

TRES BON

Les valeurs des éléments physico-chimiques correspondent totalement ou presque totalement aux conditions non perturbées

DIRECTIVE 2000/60/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 23 octobre 2000

Éléments de qualité physico-chimique (\*)

Élément	Très bon état	Bon état	État moyen
Conditions générales	Les valeurs des éléments physico-chimiques correspondent totalement ou presque totalement aux conditions non perturbées. Les concentrations de nutriments restent dans la fourchette normalement associée aux conditions non perturbées. Les niveaux de salinité, le pH, le bilan d'oxygène, la capacité de neutralisation des acides, la transparence et la température n'indiquent pas de signes de perturbation anthropogénique et restent dans la fourchette normalement associée aux conditions non perturbées.	La température, le bilan d'oxygène, le pH, la capacité de neutralisation des acides, la transparence et la salinité ne dépassent pas les niveaux établis pour assurer le fonctionnement de l'écosystème caractéristique et pour atteindre les valeurs indiquées ci-dessus pour les éléments de qualité biologique. Les concentrations de nutriments ne dépassent pas les niveaux établis pour assurer le fonctionnement de l'écosystème caractéristique et pour atteindre les valeurs indiquées ci-dessus pour les éléments de qualité biologique.	Conditions permettant d'atteindre les valeurs indiquées ci-dessus pour les éléments de qualité biologique.

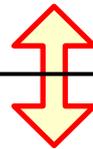
BON

Les paramètres ne dépassent pas les niveaux établis pour assurer le fonctionnement de l'écosystème caractéristique et pour atteindre les valeurs indiquées ci-dessus pour les éléments de qualité biologique

MOYEN

Conditions permettant d'atteindre les valeurs indiquées ci-dessus pour les éléments de qualité biologique

Physico-chimie



Biologie

TRES BON

La composition taxinomique correspondent totalement ou presque totalement aux conditions non perturbées

BON

Légères modifications dans la composition et l'abondance des taxa par comparaison avec les communautés caractéristiques

MOYEN

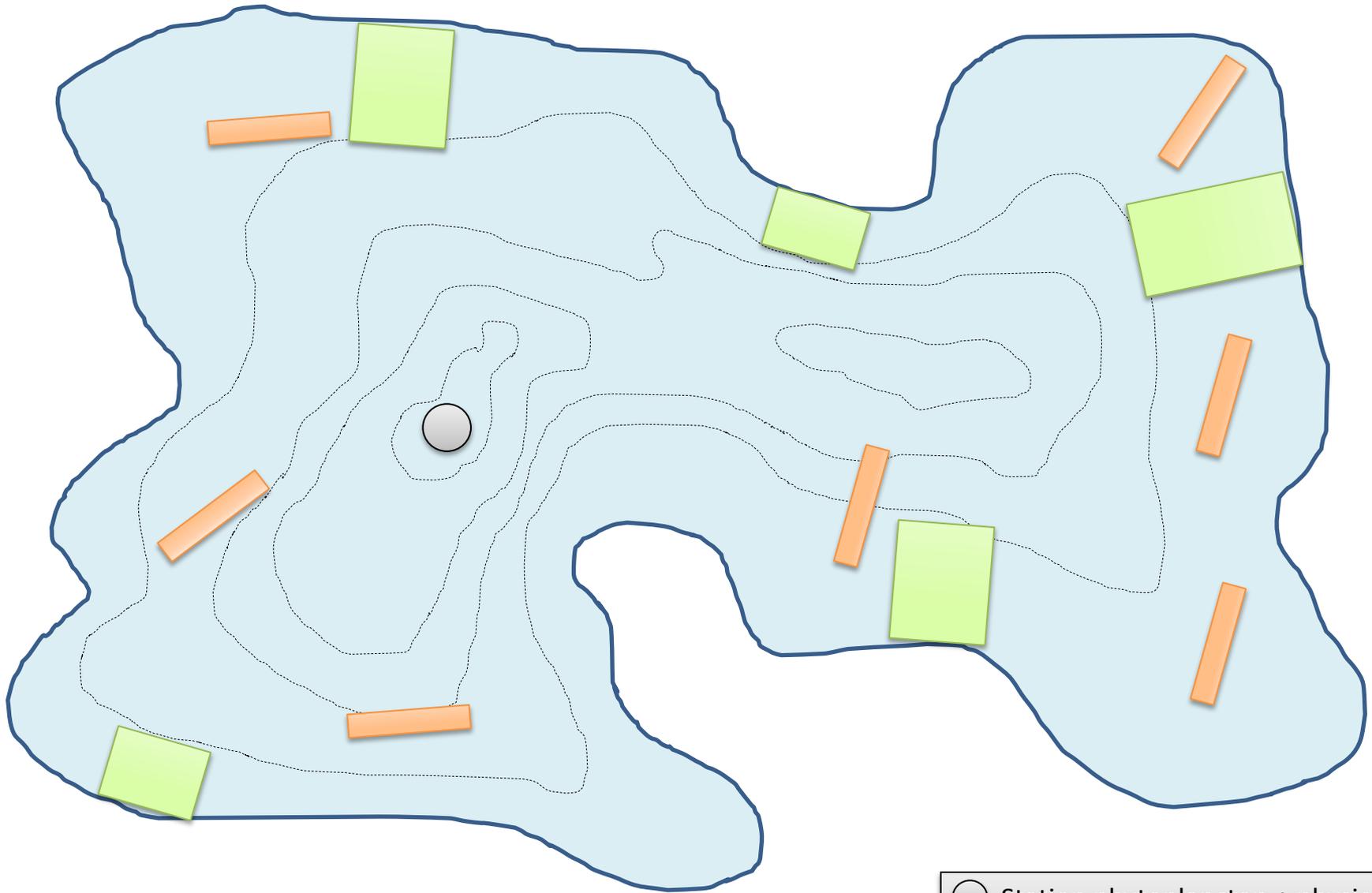
La composition et l'abondance des taxa planctoniques diffèrent modérément de celles des communautés caractéristiques

Éléments de qualité biologique

Élément	Très bon état	Bon état	État moyen
phytoplancton	La composition taxinomique et l'abondance du phytoplancton correspondent totalement ou presque totalement aux conditions non perturbées. La biomasse moyenne de phytoplancton correspond aux conditions physico-chimiques caractéristiques et n'est pas de nature à altérer sensiblement les conditions de transparence caractéristiques. L'efflorescence planctonique est d'une fréquence et d'une intensité qui correspondent aux conditions physico-chimiques caractéristiques.	Légères modifications dans la composition et l'abondance des taxa planctoniques par comparaison avec les communautés caractéristiques. Ces changements n'indiquent pas de croissance accélérée des algues entraînant des perturbations indésirables de l'équilibre des organismes présents dans la masse d'eau ou de la qualité physico-chimique de l'eau ou du sédiment. La fréquence et l'intensité de l'efflorescence planctonique peuvent augmenter modérément.	La composition et l'abondance des taxa planctoniques diffèrent modérément de celles des communautés caractéristiques. L'abondance est modérément perturbée et peut être de nature à produire une forte perturbation indésirable des valeurs d'autres éléments de qualité biologique et de la qualité physico-chimique de l'eau ou du sédiment. La fréquence et l'intensité de l'efflorescence planctonique peuvent augmenter modérément. Une efflorescence persistante peut se produire durant les mois d'été.
Macrophytes et phytobenthos	La composition taxinomique correspond totalement ou presque totalement aux conditions non perturbées. Pas de modifications détectables dans l'abondance moyenne macrophytique et phytobenthique.	Légères modifications dans la composition et l'abondance des taxa macrophytiques et phytobenthiques par rapport aux communautés caractéristiques. Ces changements n'indiquent pas de croissance accélérée du phytobenthos ou de formes supérieures de vie végétale entraînant des perturbations indésirables de l'équilibre des organismes présents dans la masse d'eau ou de la qualité physico-chimique de l'eau. La communauté phytobenthique n'est pas perturbée par des touffes et couches bacialement dues à des activités anthropogéniques.	La composition des taxa macrophytiques et phytobenthiques diffère modérément de celle de la communauté caractéristique et est sensiblement plus perturbée que dans le bon état. Des modifications modérées de l'abondance moyenne macrophytique et phytobenthique sont perceptibles. La communauté phytobenthique peut être perturbée et, dans certains cas, déplacée par des touffes et couches bactériennes dues à des activités anthropogéniques.
Faune benthique invertébrée	La composition et l'abondance taxinomique correspondent totalement ou presque totalement aux conditions non perturbées. Le ratio des taxa sensibles aux perturbations par rapport aux taxa insensibles n'indique aucune détérioration par rapport aux niveaux non perturbés. Le niveau de diversité des taxa d'invertébrés n'indique aucune détérioration par rapport aux niveaux non perturbés.	Le ratio des taxa sensibles aux perturbations par rapport aux taxa insensibles indique une légère détérioration par rapport aux niveaux non perturbés. Le niveau de diversité des taxa d'invertébrés indique de légères détériorations par rapport aux niveaux non perturbés.	La composition et l'abondance des taxa d'invertébrés diffèrent modérément de celles des communautés caractéristiques. D'importants groupes taxinomiques de la communauté caractéristique sont déficitaires. Le ratio des taxa sensibles aux perturbations par rapport aux taxa insensibles et le niveau de diversité sont sensiblement inférieurs au niveau caractéristique et nettement inférieurs à ceux du bon état.
Ichtyofaune	La composition et l'abondance des espèces correspondent totalement ou presque totalement aux conditions non perturbées. Toutes les espèces caractéristiques sensibles aux perturbations sont présentes. Les structures d'âge des communautés n'indiquent guère de perturbation anthropogénique et ne révèlent pas de troubles dans la reproduction ou dans le développement d'une espèce particulière.	Légères modifications dans la composition et l'abondance des espèces par rapport aux communautés caractéristiques, en raison d'effets anthropogéniques sur les éléments de qualité physico-chimiques ou hydromorphologiques. Les structures d'âge des communautés indiquent des signes de perturbation dus aux effets anthropogéniques sur les éléments de qualité physico-chimique et hydromorphologique et, dans certains cas, révèlent des troubles dans la reproduction ou dans le développement d'une espèce particulière, en ce sens que certaines classes d'âge peuvent faire défaut.	La composition et l'abondance des espèces diffèrent modérément de celles des communautés caractéristiques, en raison d'effets anthropogéniques sur les éléments de qualité physico-chimique ou hydromorphologique. Les structures d'âge des communautés indiquent des signes importants de perturbations anthropogéniques, en ce sens qu'une proportion modérée de l'espèce caractéristique est absente ou très peu abondante.

➔ Multi-compartiments biologiques et subjectivité

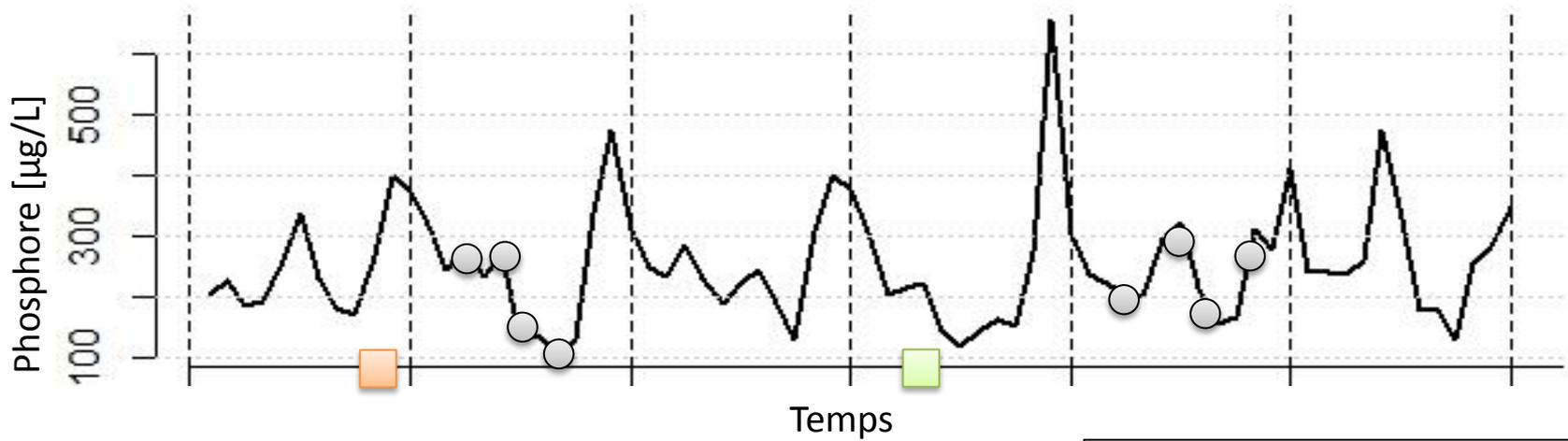
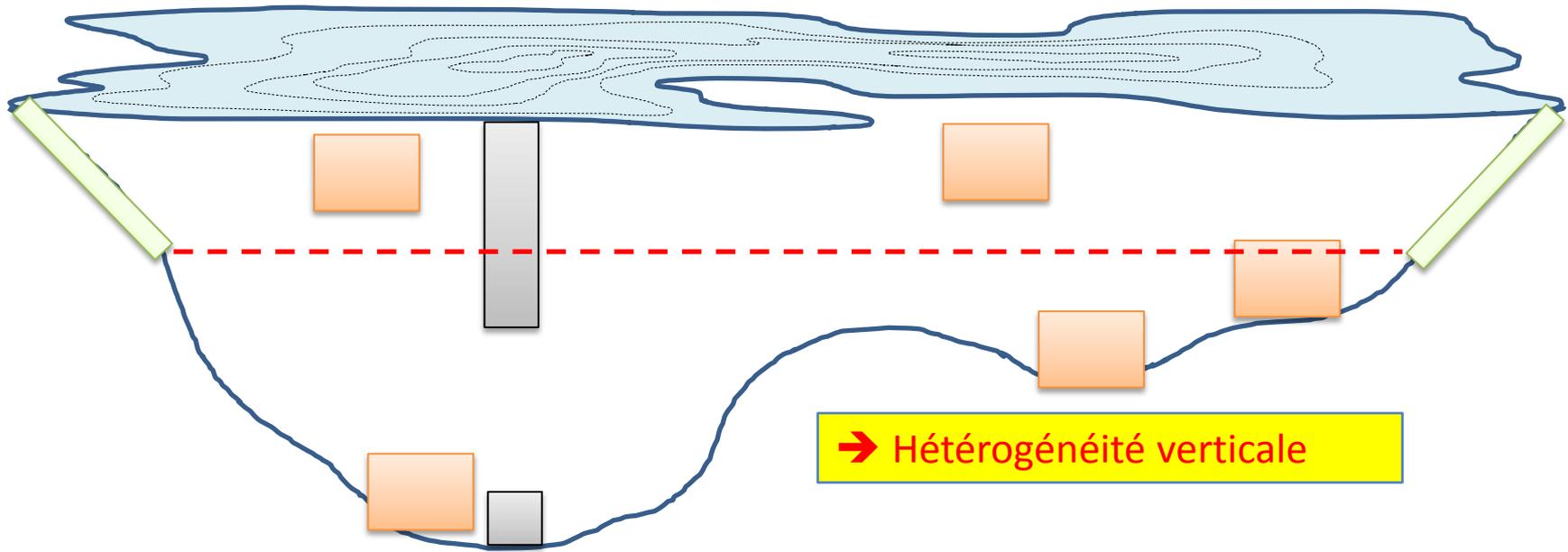
# Plan d'échantillonnage DCE



→ Hétérogénéité horizontale

- Station phytoplancton + physico-chimie
- Stations macrophytes
- Filets de pêche

# Plan d'échantillonnage DCE



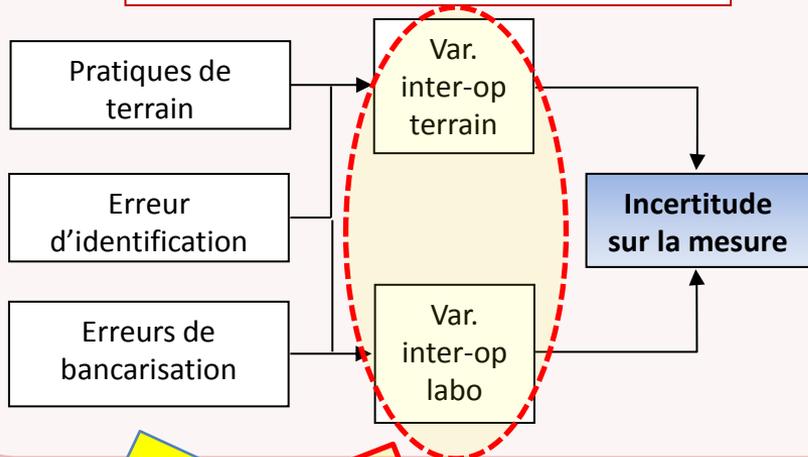
→ Asynchronisme

- Station phytoplancton + physico-chimie
- Stations macrophytes
- ▭ Filets de pêche

# Existant

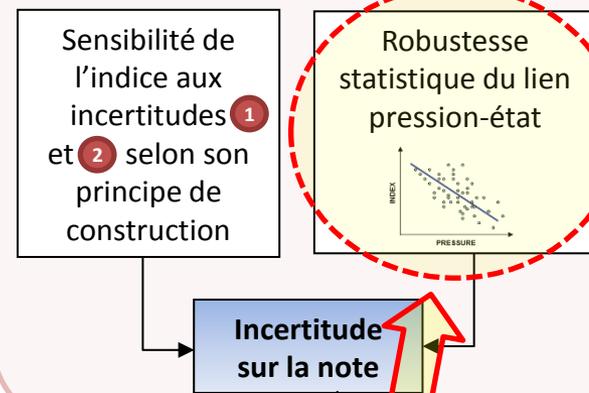
2

## Protocole d'acquisition des données



3

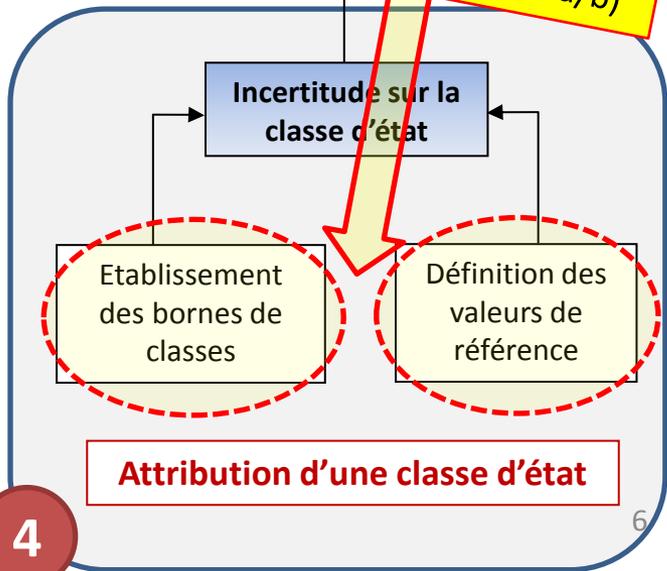
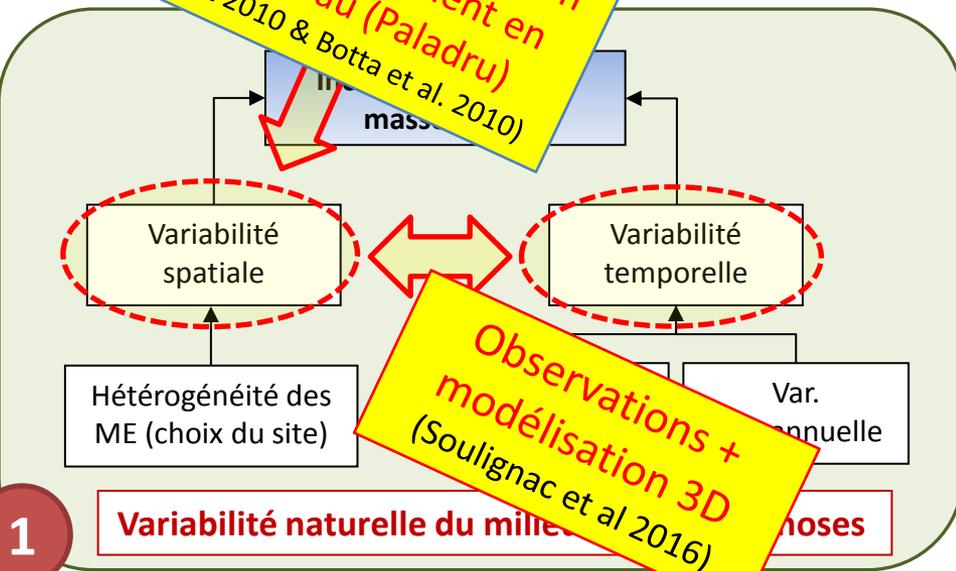
## Calcul des indices



## NIVEAU GLOBAL DE CONFIANCE

Essai inter-comparaison sur le prélèvement en plan d'eau (Paladru) (Lepot 2010 & Botta et al. 2010)

VS / IPLAC (Danis et Roubeix 2014a/b)



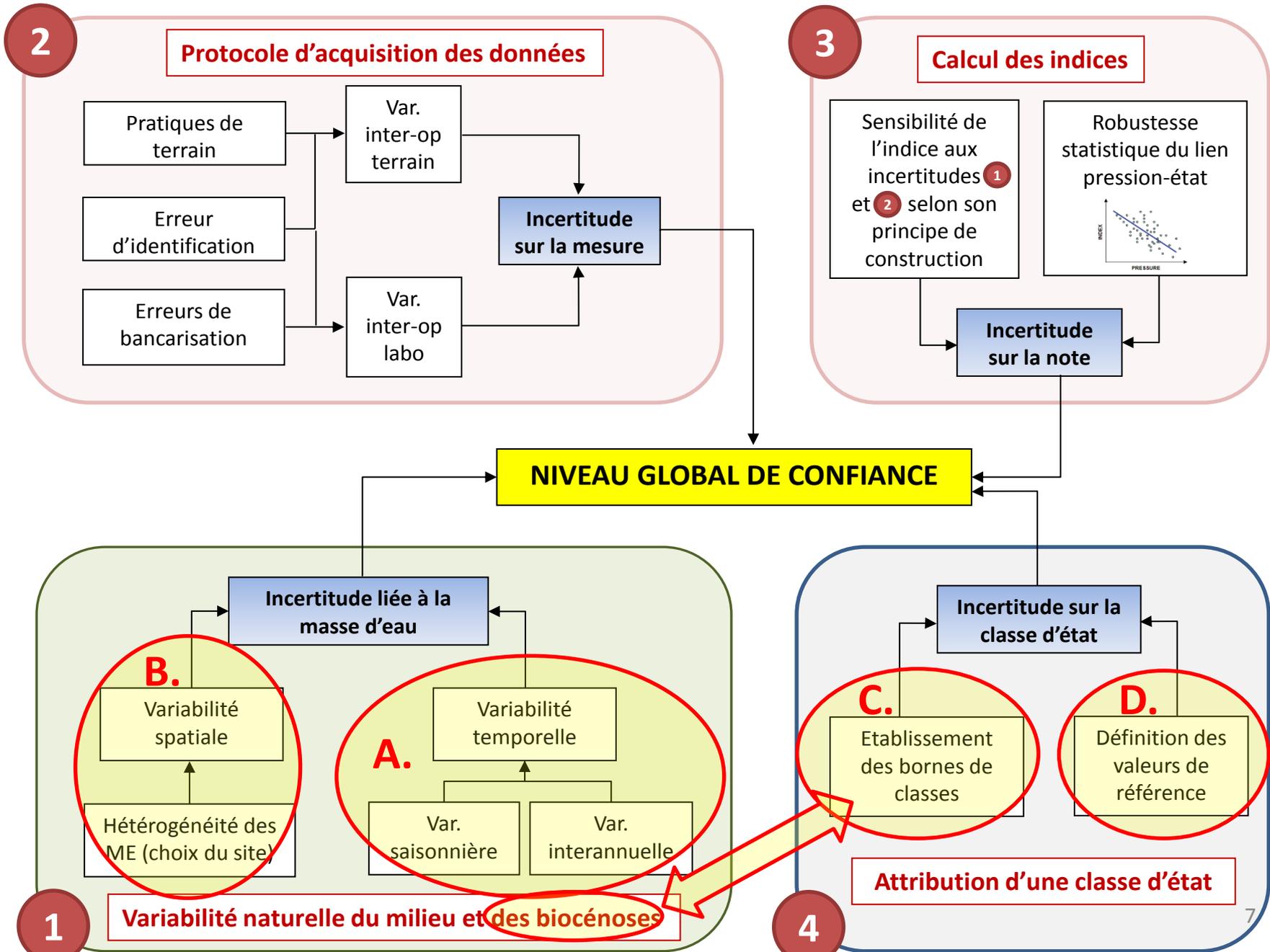
1

## Variabilité naturelle du milieu

4

## Attribution d'une classe d'état

# Sommaire



# Sommaire

A. Variabilité temporelle

B. Variabilité spatiale

C. Variabilité des réponses  
des biocénoses

D. Conditions de référence

➡ Perspectives

*« Propositions d'amélioration de  
l'évaluation par la prise en compte  
des incertitudes »*

# A. Variabilité temporelle

## Besoin de plan d'eau avec suivi temporel « très riches »

- + de 4 prélèvements/an, 2 années par plan de gestion
- Grands lacs périalpins, suivi scientifique, SI-OLA
- **Villerest (42)** et Naussac (48), EPTB Loire
- Plans d'eau DCE de l'AE AP

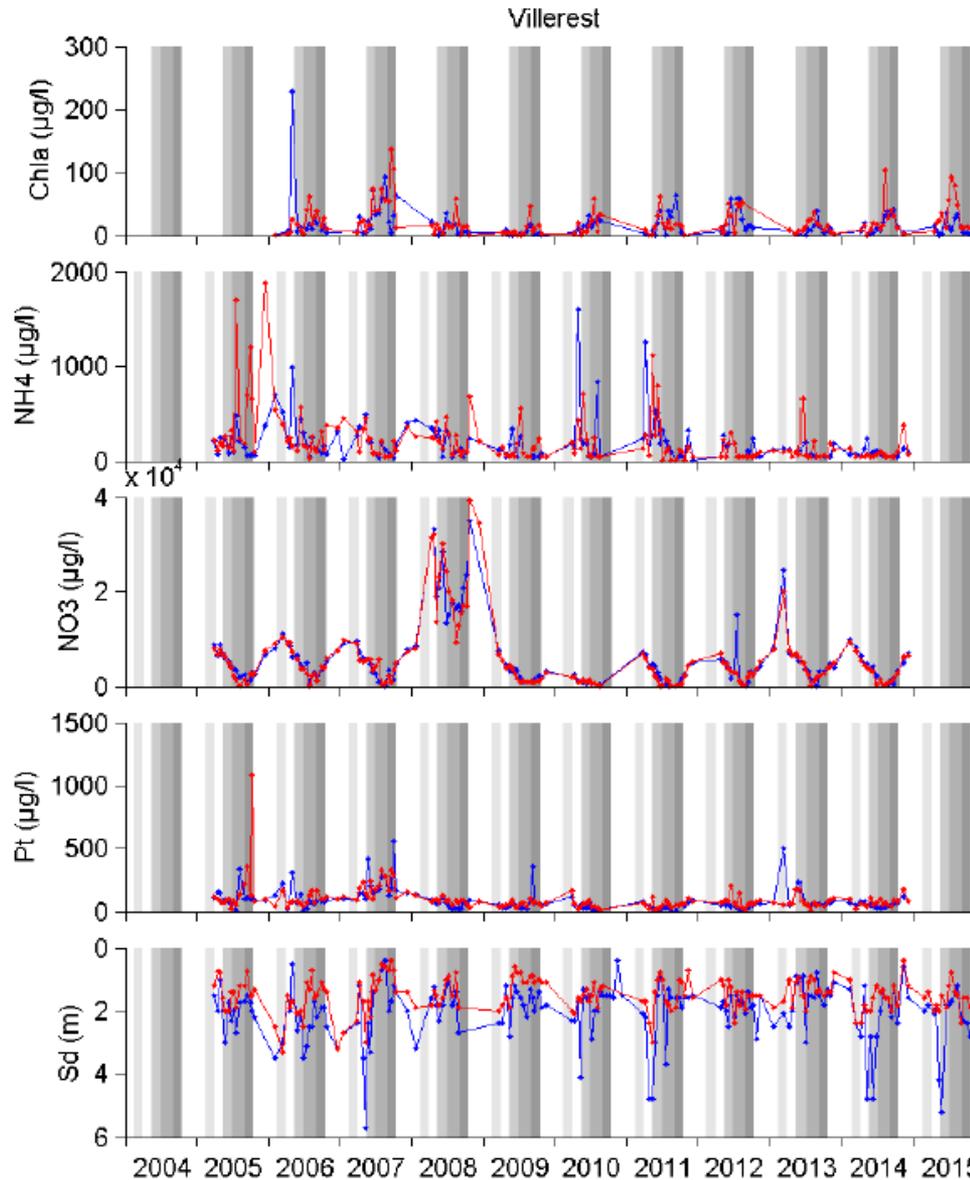
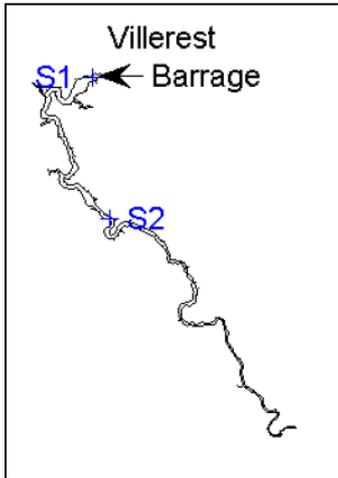
# B. Variabilité spatiale

## Besoin de PE avec plusieurs stations de suivi

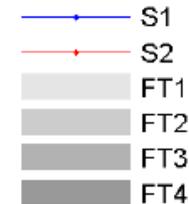
- + que UNE station à l'aplomb de la zone la plus profonde
- **Villerest (42)**, EPTB Loire

# Variabilités temporelle et spatiale

## Sites de l'EPTB Loire



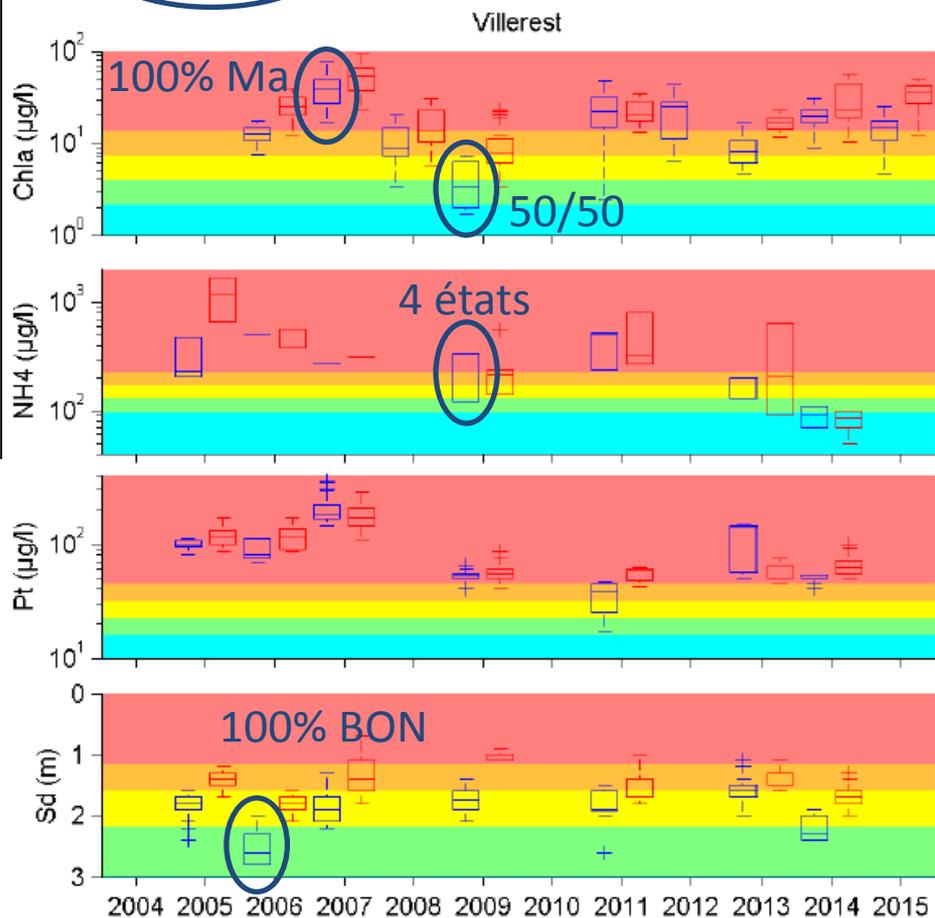
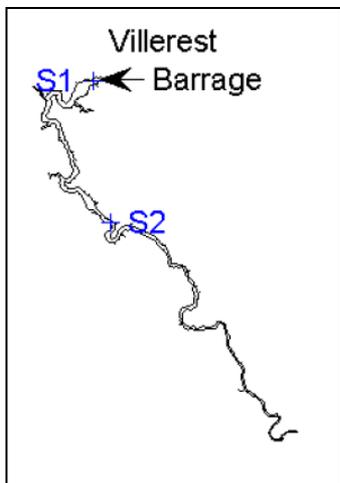
Maxi de 2 échant par fenetre donc estimation d'une variabilité minimale



# Variabilités temporelle et spatiale

Intra-annuel

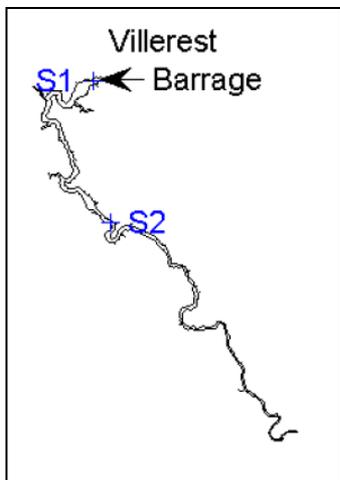
EPTB Loire



- S1
- S2
- Mauvais
- Médiocre
- Moyen
- Bon
- Très bon

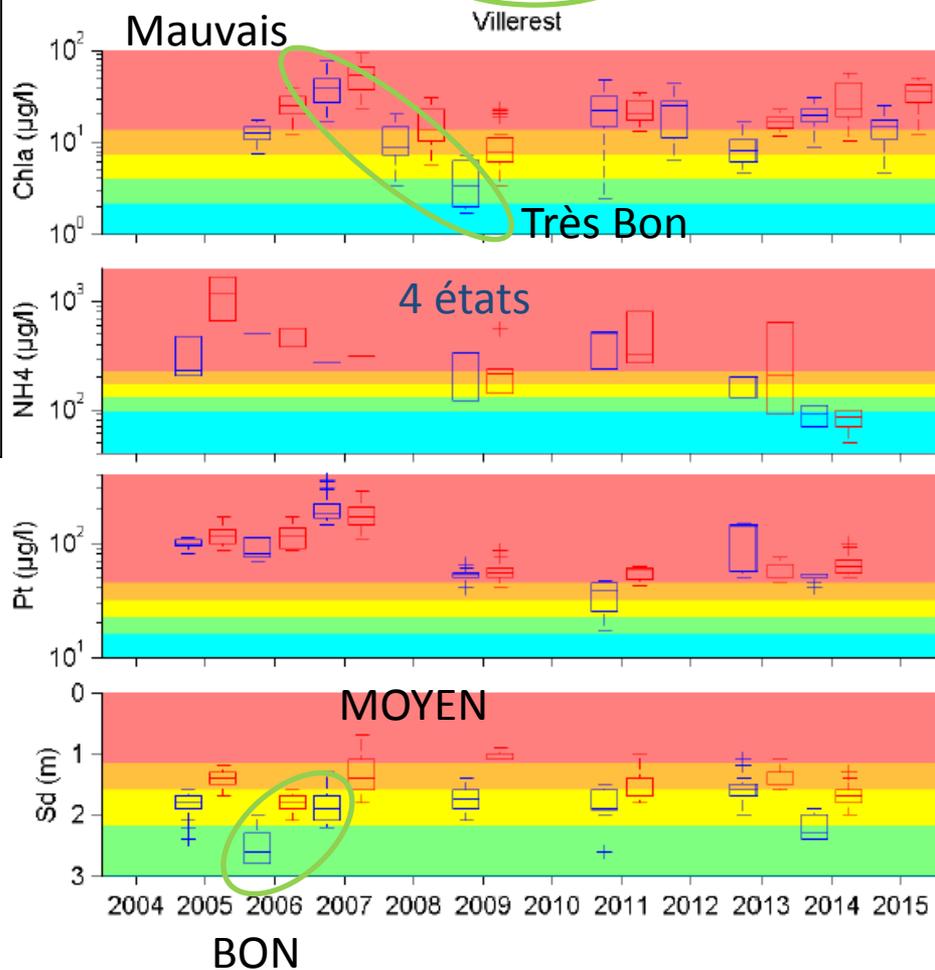
# Variabilités temporelle et spatiale

EPTB Loire



Inter-annuel

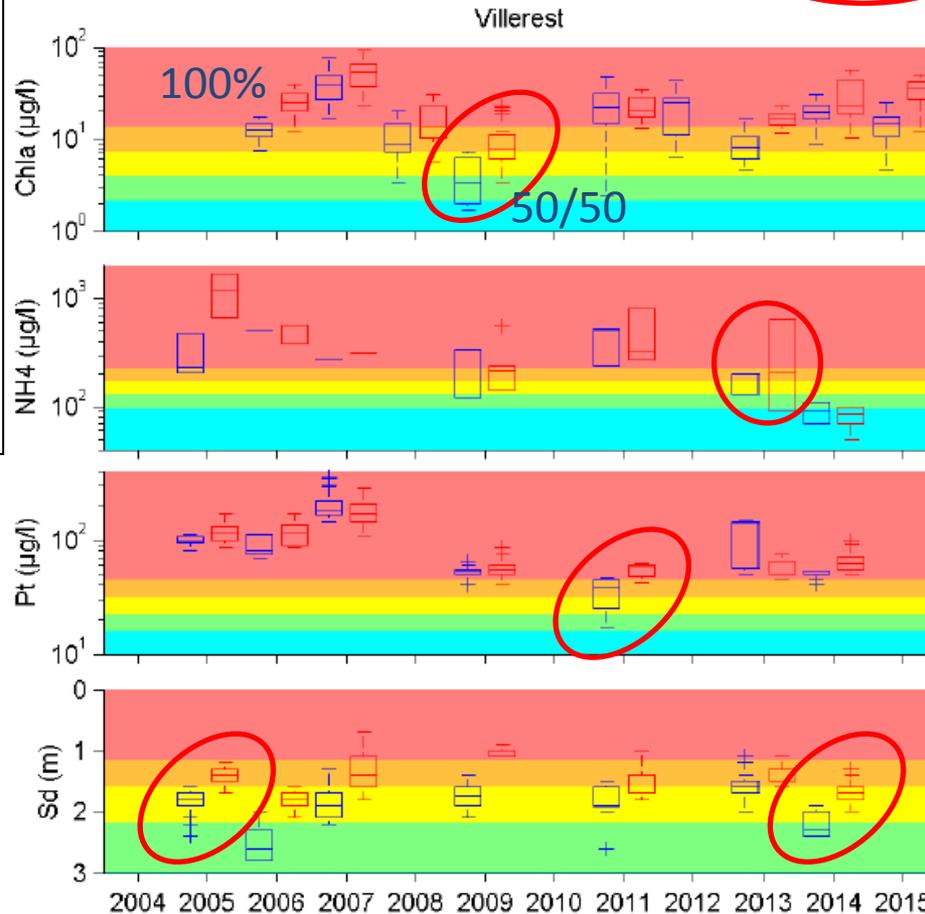
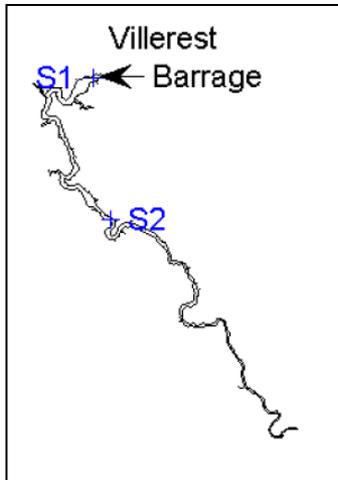
- S1
- S2
- Mauvais
- Médiocre
- Moyen
- Bon
- Très bon



# Variabilités temporelle et spatiale

EPTB Loire

Spatial



- Tous les paramètres sont concernés
- Variabilités minimales mais significatives
- Ordre de grandeur des variabilités pas généralisable
- Type d'étude impossible sur tous les PE → nécessité d'un suivi haute fréquence et spatialisé

→ Modélisation

# Perspectives

A. Variabilité temporelle → Modélisation PC 0D

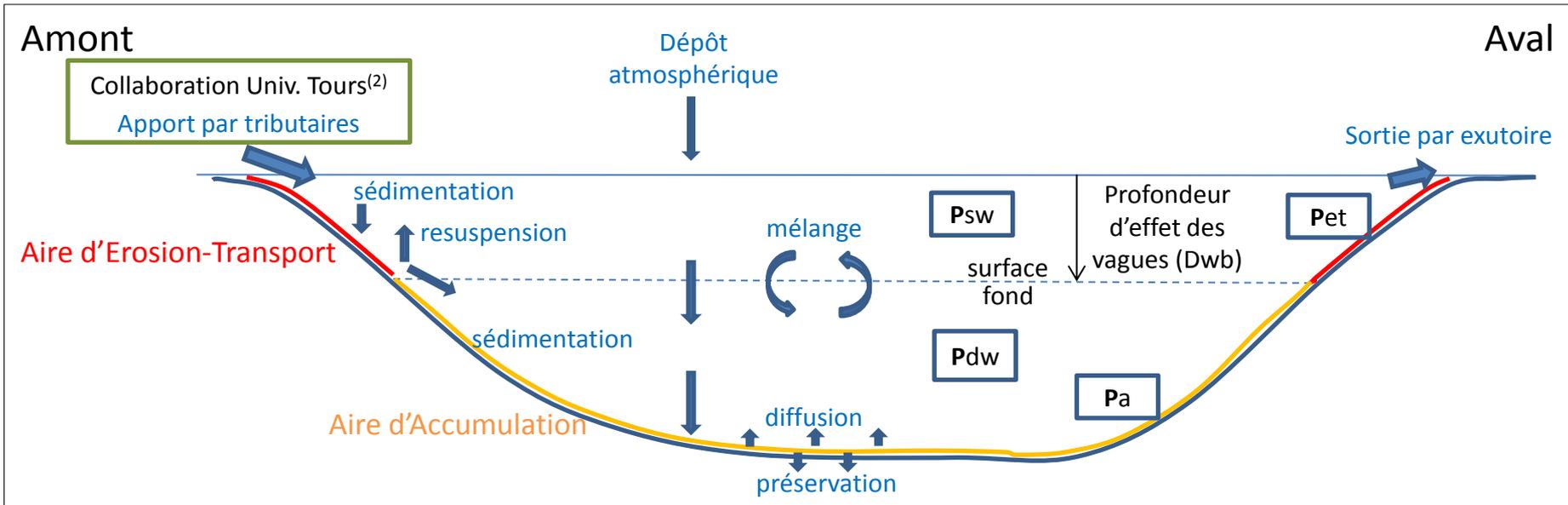
B. Variabilité spatiale

C. Variabilité des réponses  
des biocénoses

D. Conditions de référence

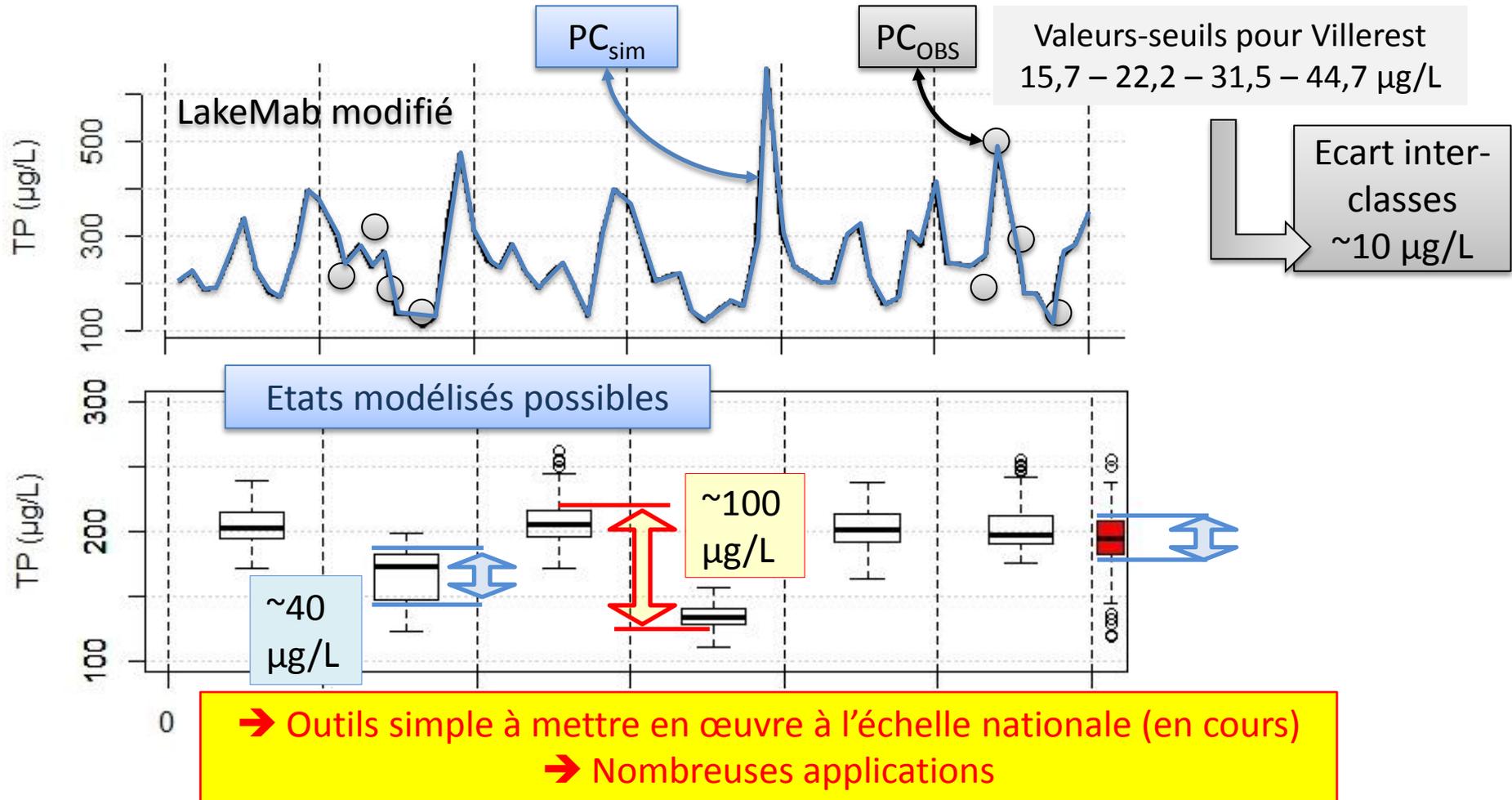
# A. Variabilité temporelle → Modélisation PC 0D

LakeMab<sup>(1)</sup> modifié = modèle de phosphore pour plan d'eau



<sup>(1)</sup> Hakanson et Bryhn 2008 ; <sup>(2)</sup> Prost, Moatar et Danis 2016 ; Moatar et al. 2017 ; <sup>(3)</sup> Prats et Danis 2015

# A. Variabilité temporelle → Modélisation PC 0D



- Ordre de grandeur des variabilités temporelles
- Représentativité des campagnes de suivi / année
- Représentativité des années de suivi / plan de gestion
- Synchronisation des conditions PC aux données biologiques

# Perspectives

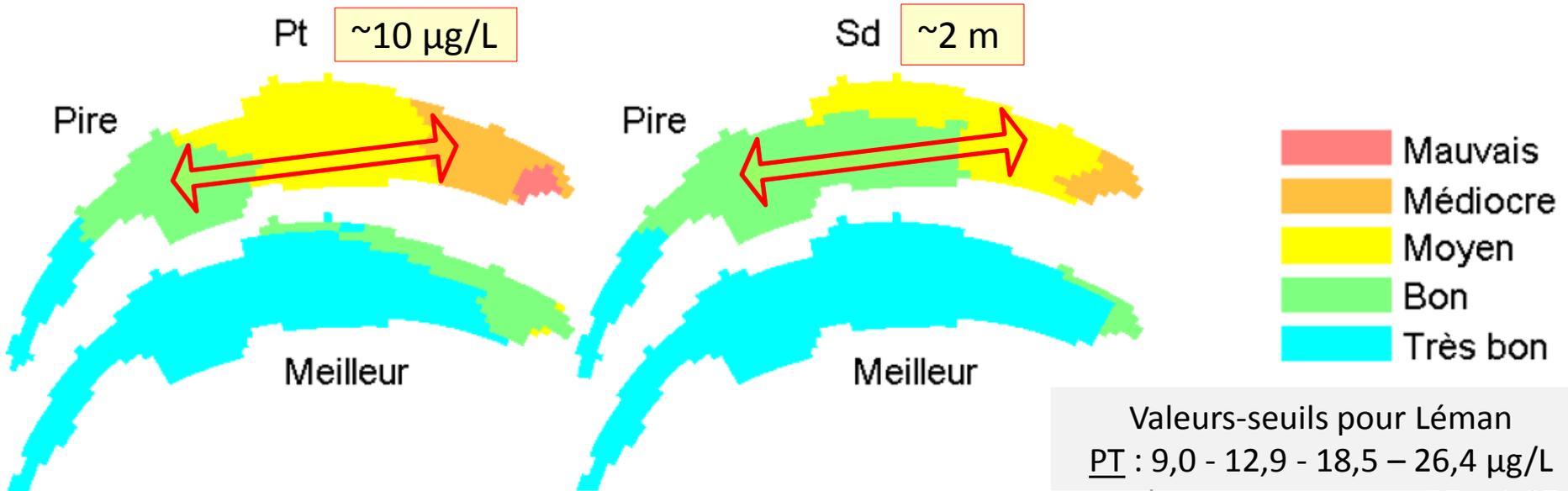
- A. Variabilité temporelle      ➡      Modélisation PC 0D/**3D**
- B. Variabilité spatiale      ➡      **Modélisation PC 3D**
- C. Variabilité des réponses  
des biocénoses

# B. Variabilité spatio-temporelle → Modélisation 3D

## Modèle Delf3D :

→ Phosphore, Nitrates, Ammonium, transparence, Chlorophylle-a

→ Pires et meilleurs états possibles (4000 tirages aléatoires de 4 dates entre 2009 et 2012)



Variabilités spatiales > à écart inter-classes

Applications :

- Appréhension des variabilités spatiales réalistes
- Nutriments, transparence, Chlorophylle-a, température, oxygène...

→ Outils complexes à mettre en œuvre à l'échelle nationale (à voir au cas / cas)

# Perspectives

A. Variabilité temporelle



Modélisation PC 0D/3D  
**Images satellites**

B. Variabilité spatiale



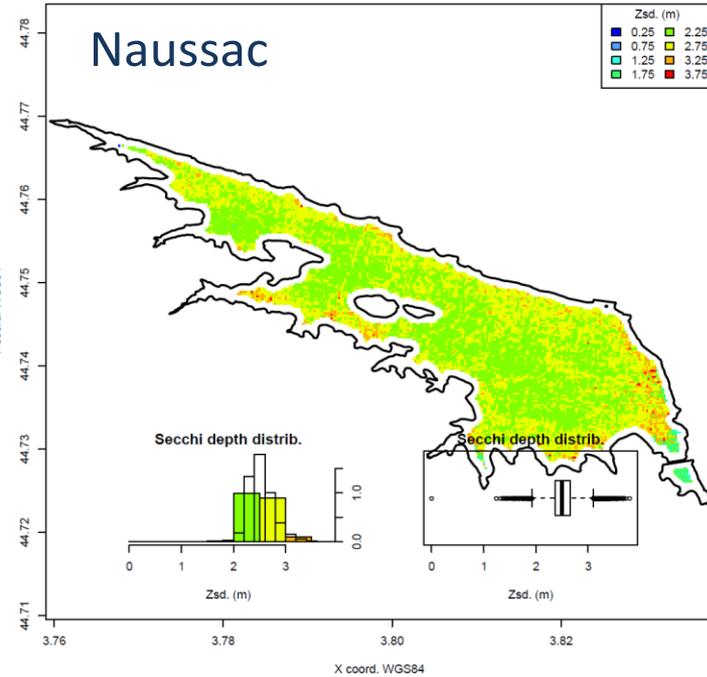
Modélisation PC 3D  
**Images satellites**

C. Variabilité de réponses  
des biocénoses

D. Conditions de référence

# B. Variabilité spatio-temporelle → images satellites

NAU48 : Secchi depth image Sentinel-2 S2A OPER PRD MSIL3 PDMC, slab n°R008  
20160826, 1040

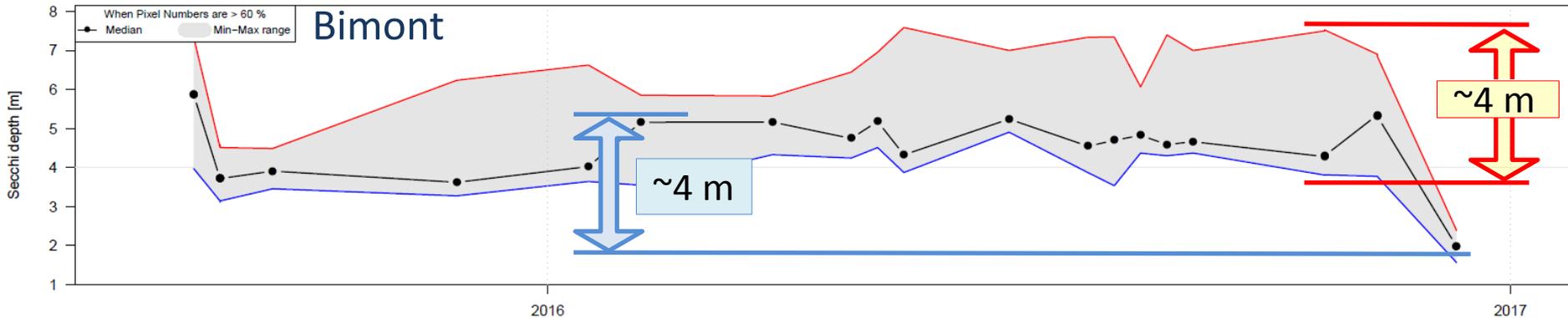


Valeurs-seuils pour Secchi :  
Naussac : 2.67 - 1.95 - 1.43 - 1.05  
Bimont : 2.37 - 1.73 - 1.27 - 0.93

Ecart inter-classes  
~0,5 m

## Applications :

- Données complémentaires pour relativiser RCS
- Représentativité spatiale du suivi/masse d'eau
- Représentativité temporelle du suivi/année ou /PG



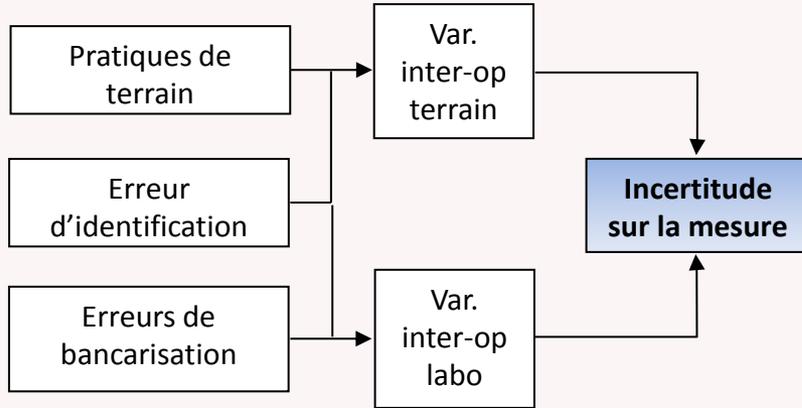
→ Outils en cours de développement

→ Secchi, Chlorophylle-a (et potentiellement cyanobactéries)

Simon, Tormos et Danis, 2014 ; Harmel et al., 2018 ; Tormos et al. en prep.

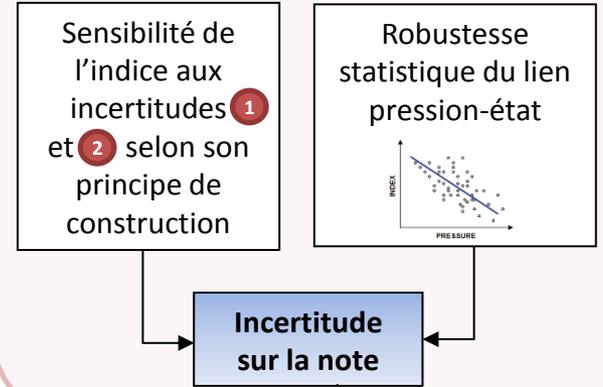
2

### Protocole d'acquisition des données

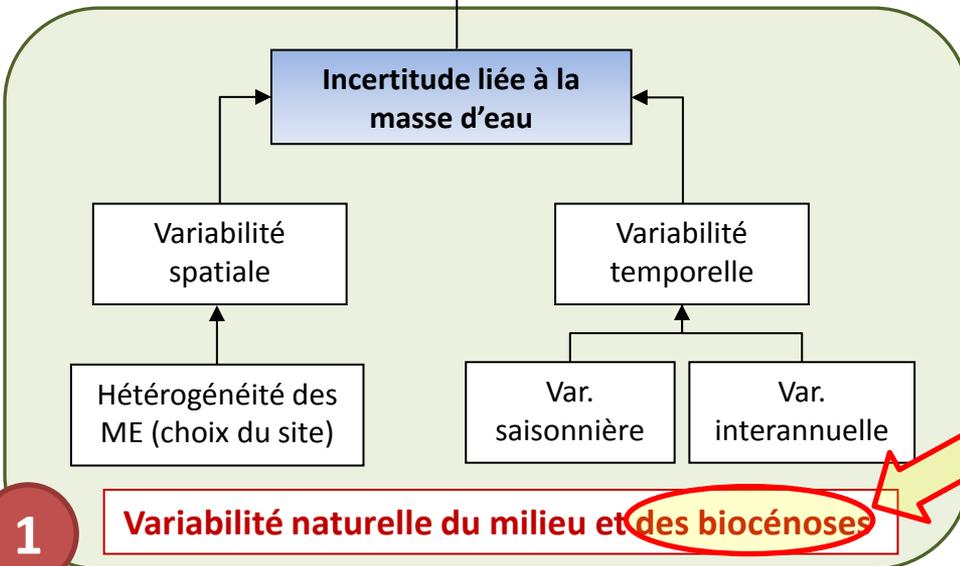


3

### Calcul des indices



## NIVEAU GLOBAL DE CONFIANCE



1

### Variabilité naturelle du milieu et des biocénoses

C.

Etablissement des bornes de classes

Définition des valeurs de référence

### Attribution d'une classe d'état

4

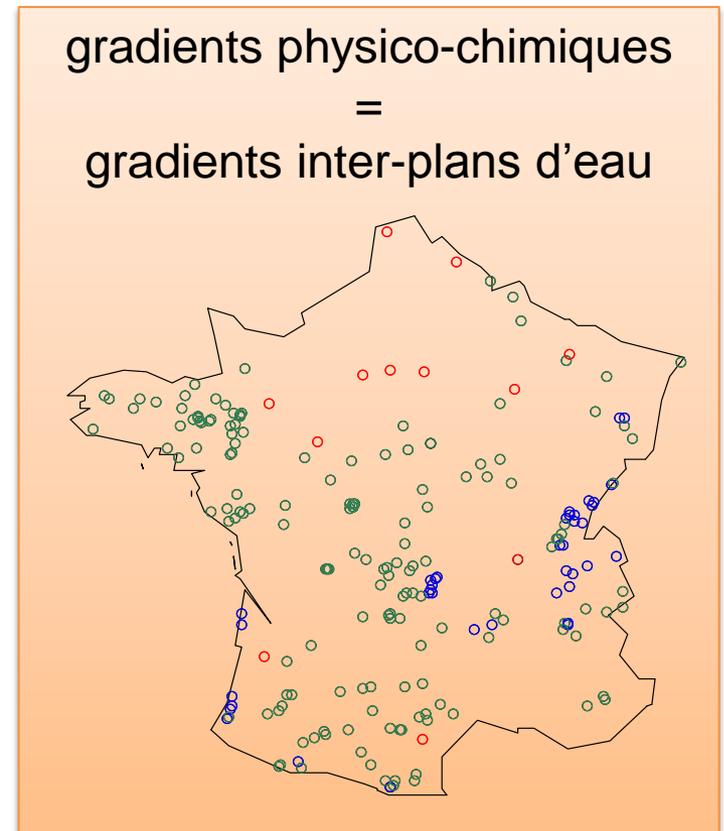
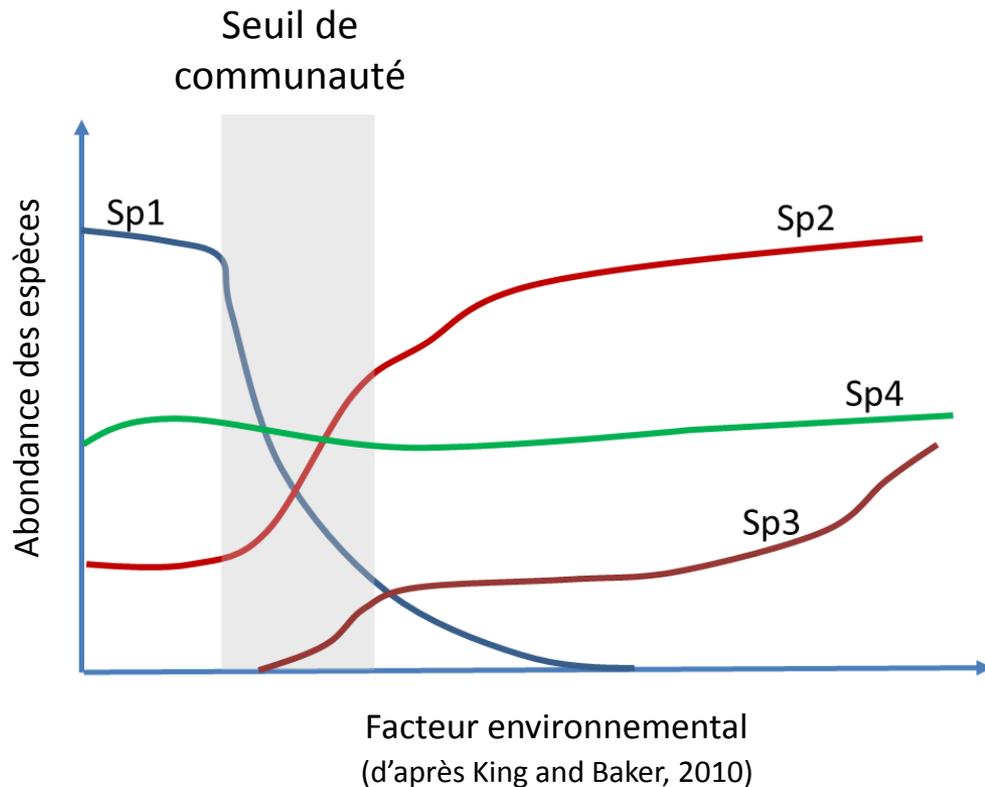
# Perspectives

- A. Variabilité temporelle  Modélisation PC 0D  
Images satellites
- B. Variabilité spatiale  Modélisation PC 3D  
Images satellites
- C. Variabilité des réponses  
des biocénoses  Seuils de communauté
- D. Conditions de référence

# C. Variabilité biologique → Méthode du "Gradient Forest"

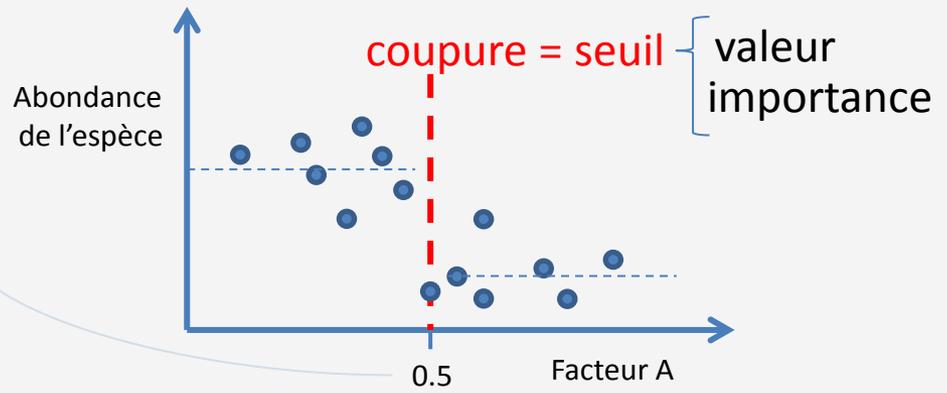
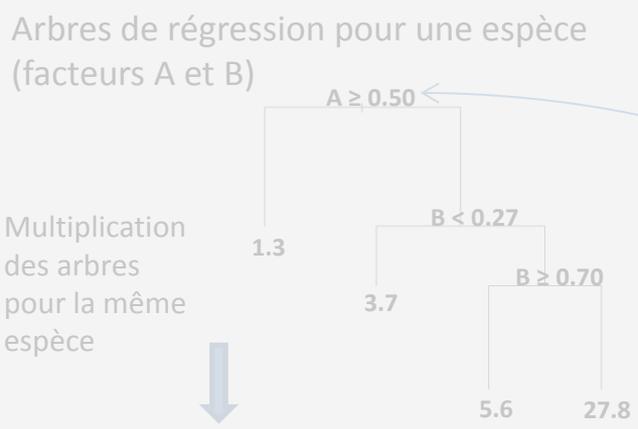
Recherche de seuils écologiques de communauté

Définition : une zone dans un gradient environnemental où le **taux de variation d'une communauté est accéléré** par rapport au reste du gradient, à cause d'augmentations ou de baisses accentuées des abondances ou présences de plusieurs taxons.



# C. Variabilité biologique → Méthode du "Gradient Forest"

Analyse simultanée des réponses de nombreuses espèces aux effets de nombreux facteurs  
 Pour chaque espèce → **Arbres de régression** : Abondance = f (var. environnementales)



Multiplication des arbres pour la même espèce

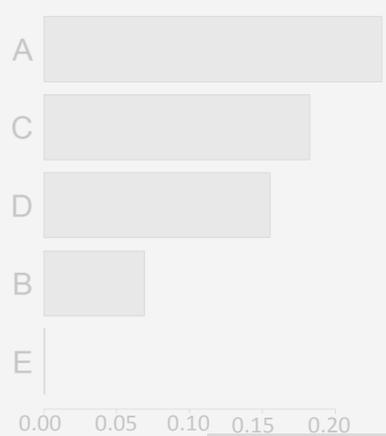


Random forest

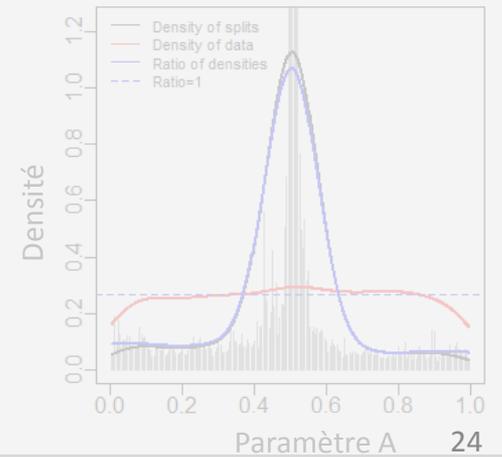


➤ Performance = R<sup>2</sup> de l'espèce

1) Importance des variables

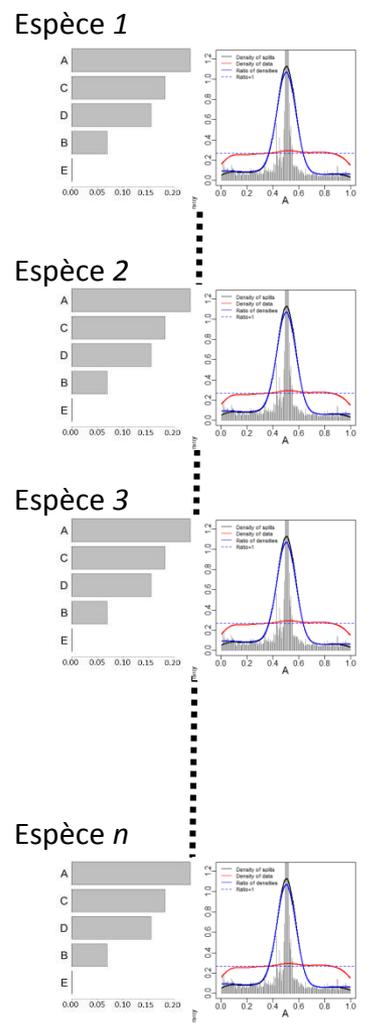


2) Densité des coupures



# C. Variabilité biologique → Méthode du "Gradient Forest"

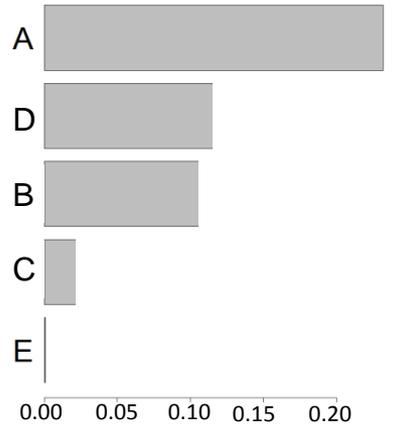
Combinaison des résultats de toutes les espèces



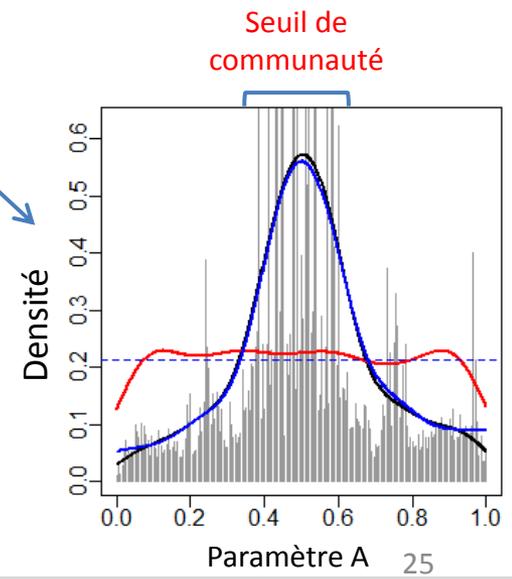
Contributions pondérées par le R<sup>2</sup>

Intégration des résultats

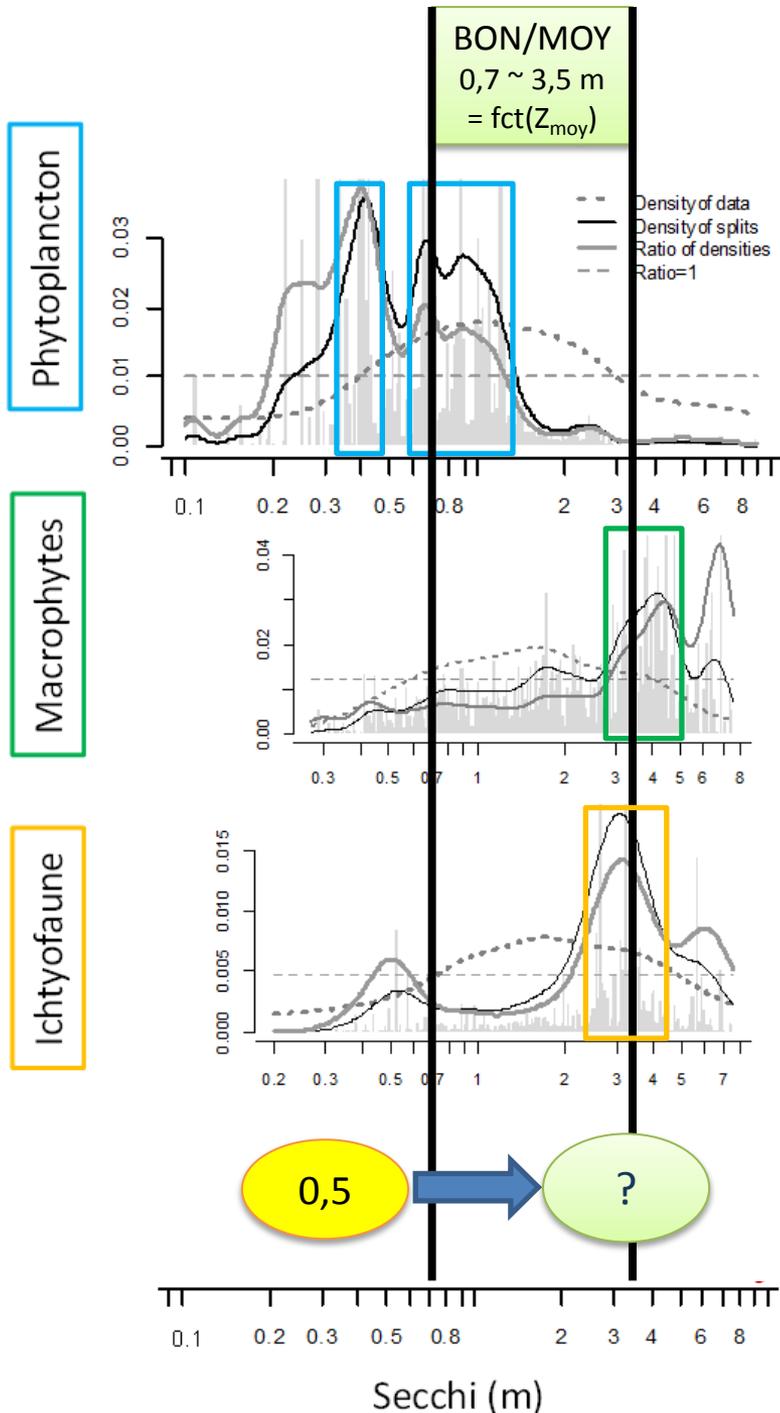
Importance globale des variables (à l'échelle des communautés)



Taux de renouvellement des communautés



## Exemple : seuils des communautés pour la transparence



### Applications :

- Zones étendues de seuils
- Réponses différentes des 3 compartiments !
- Attribution de limite de classe complexe !!

→ Quid des autres compartiments biologiques (e.g. macro invertébrés, diatomées...)?

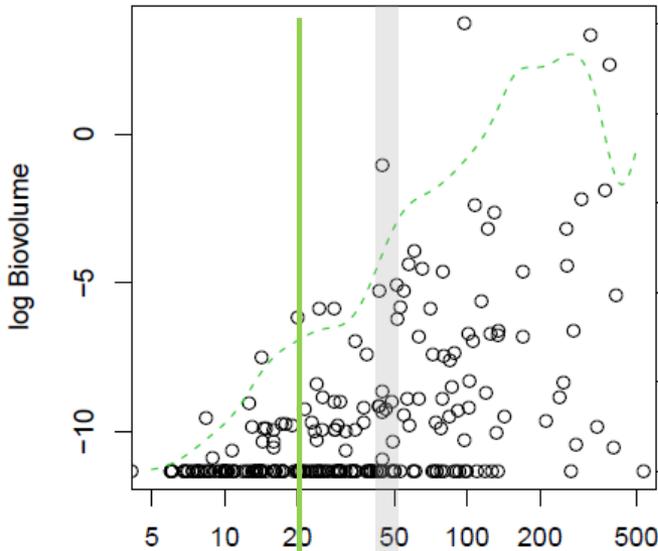
- Pas très simple à utiliser pour des enjeux locaux (conservation, régulation)

→ Seuils spécifiques à des espèces cibles

# C. Variabilité biologique



# Seuils spécifiques

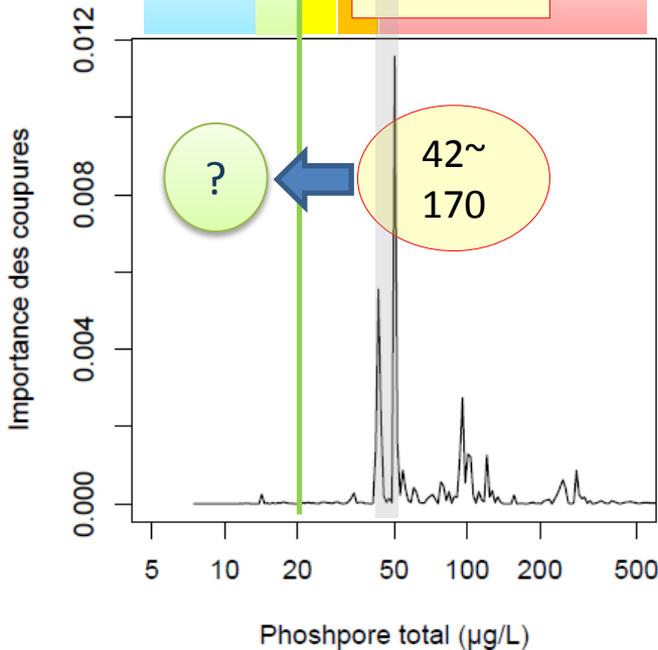


Exemple de valeurs-seuils  
15,7 – 22,2 – 31,5 – 44,7 µg/L

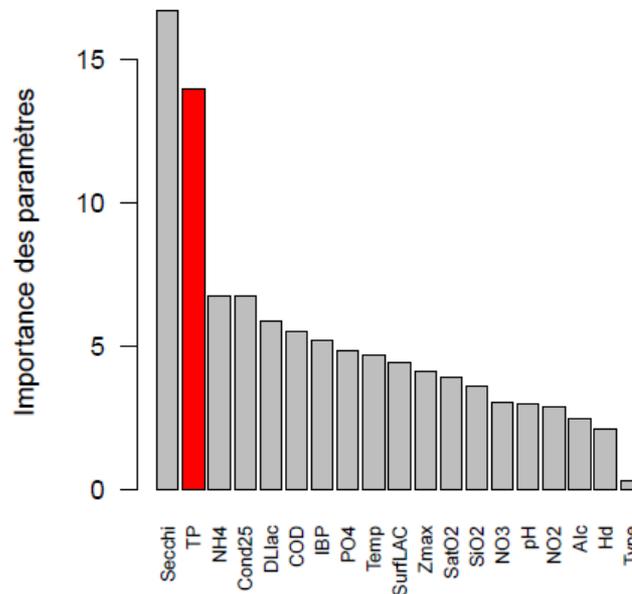
## Applications :

- Adaptation au contexte biologique local
- hiérarchisation des paramètres explicatifs

→ Aide à la décision



R<sup>2</sup>= 0.31

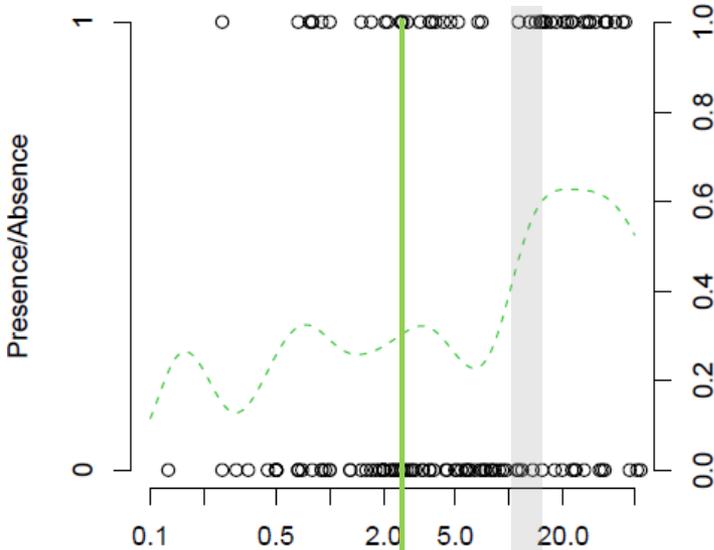


# C. Variabilité biologique

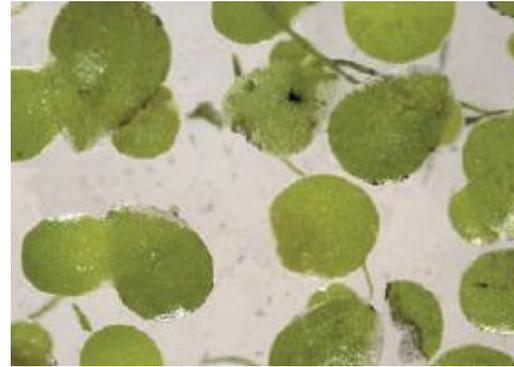


# Seuils spécifiques

Lemna minor



Lemna minor



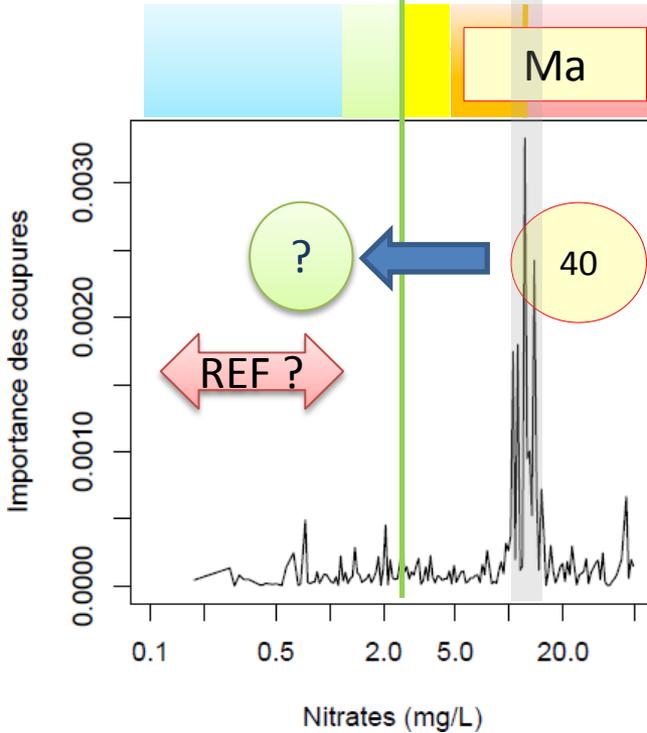
(source : Dutartre et Rebillard, 2015)

Exemple de valeurs-seuils  
1,2 – 2,6 – 5,6 – 12,1 mg/L

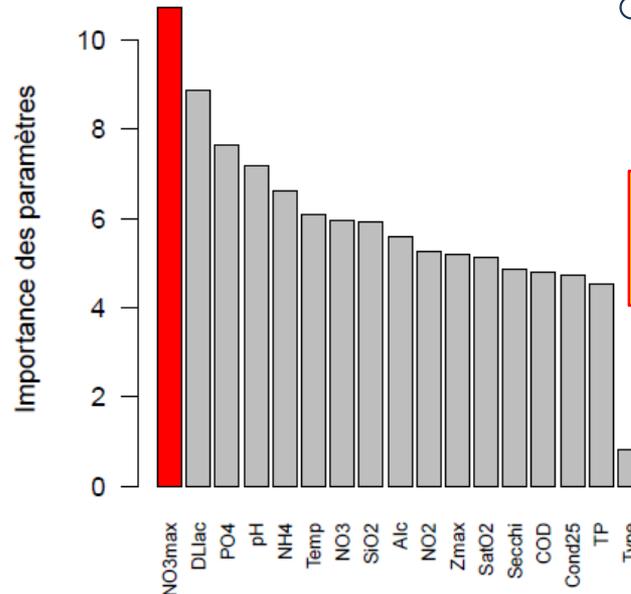
## Applications :

- Adaptation au contexte biologique local
- hiérarchisation des paramètres explicatifs

→ Aide à la décision



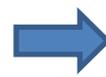
$R^2 = 0.27$



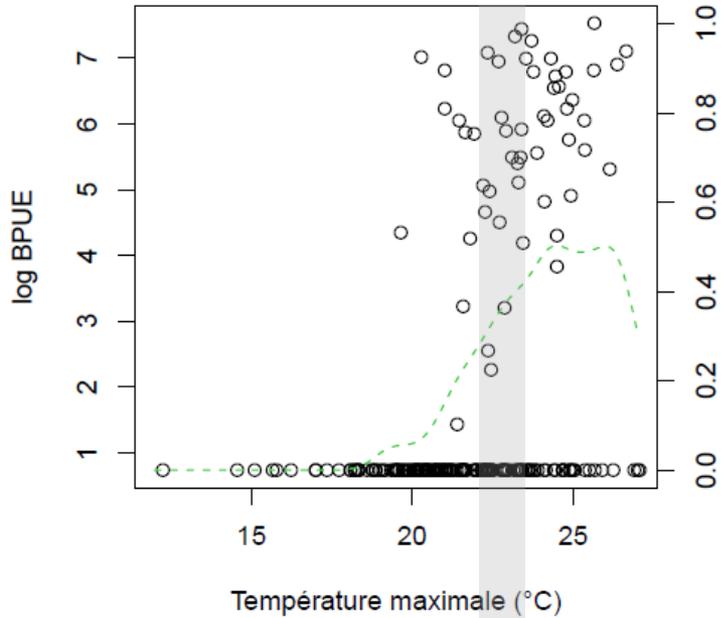
- Mais nécessité aussi d'adaptation au contexte physico-chimique local

→ Conditions de référence pour objectif réaliste

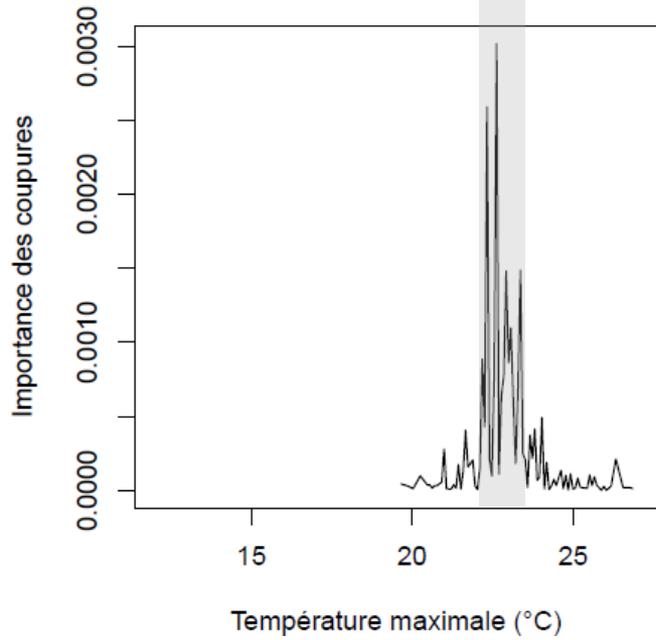
# C. Variabilité biologique



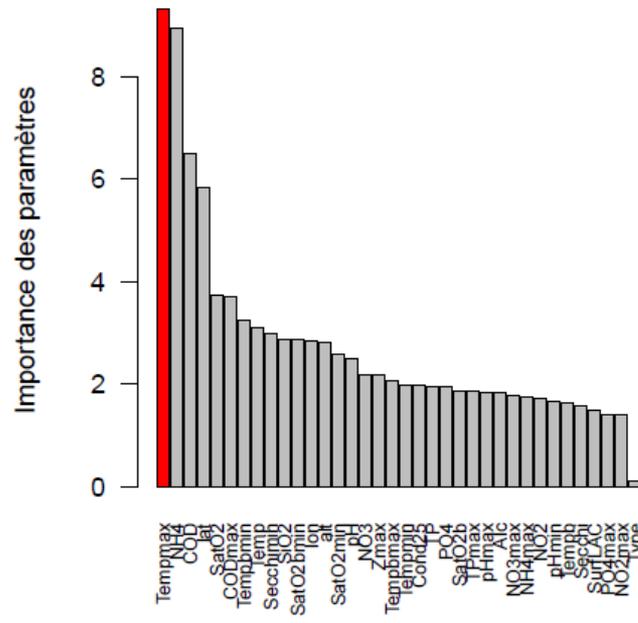
# Seuils spécifiques



## Ameiurus melas

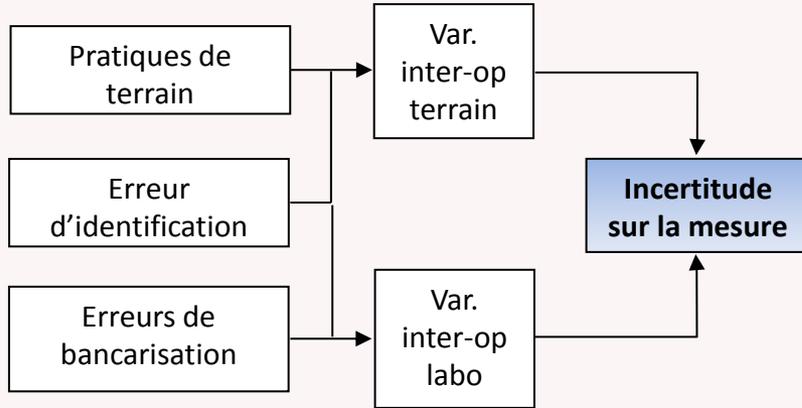


$R^2 = 0.23$



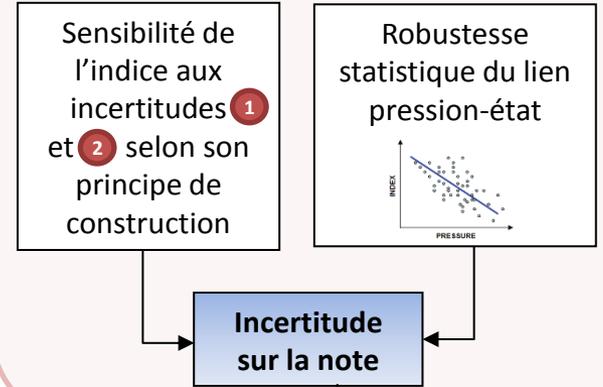
2

### Protocole d'acquisition des données

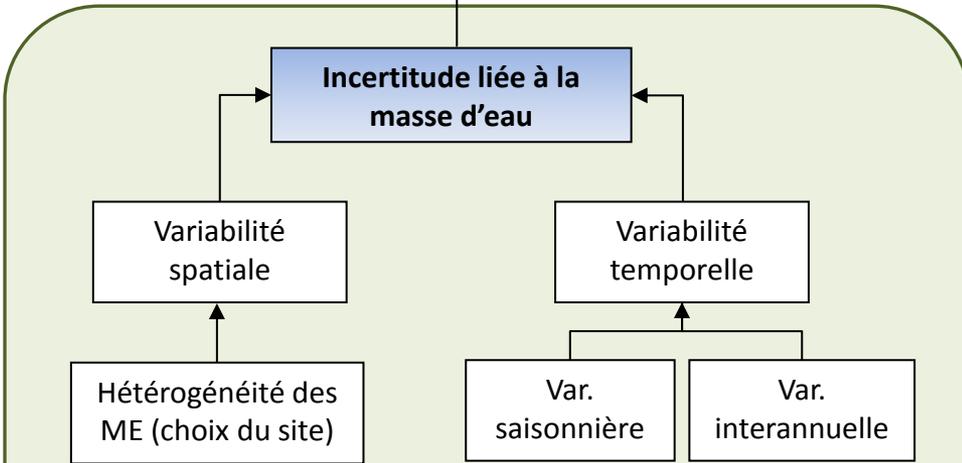


3

### Calcul des indices

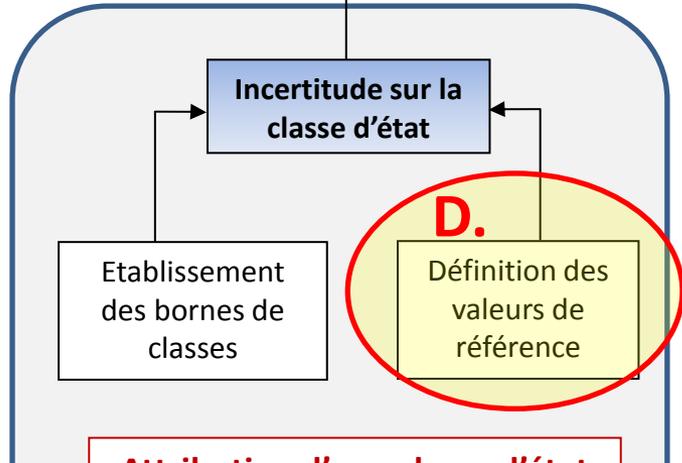


## NIVEAU GLOBAL DE CONFIANCE



1

### Variabilité naturelle du milieu et des biocénoses



4

### Attribution d'une classe d'état

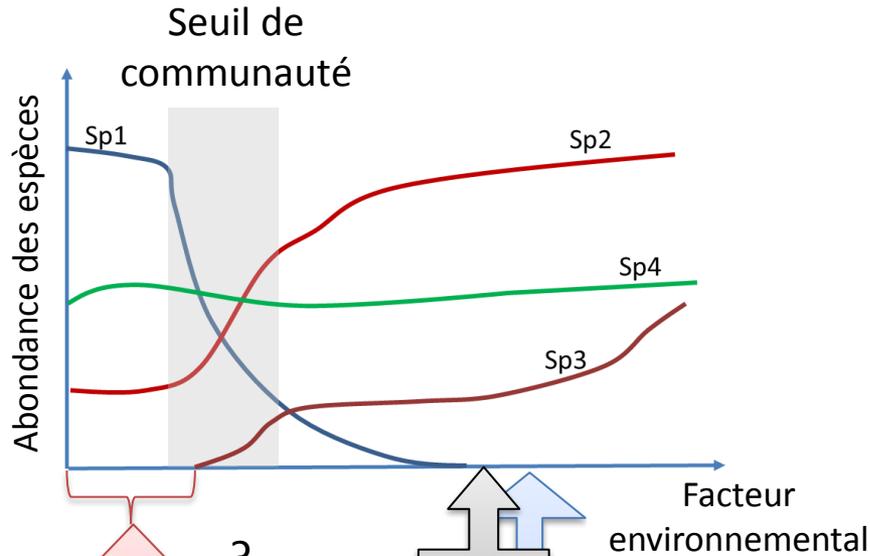
# Perspectives

- A. Variabilité temporelle  Modélisation PC 0D  
Images satellites
- B. Variabilité spatiale  Modélisation PC 3D  
Images satellites
- C. Variabilité des réponses  
des biocénoses  Seuils de communauté  
Seuils spécifiques
- D. Conditions de référence  **Modélisation PC**  
(empirique ou 0D)

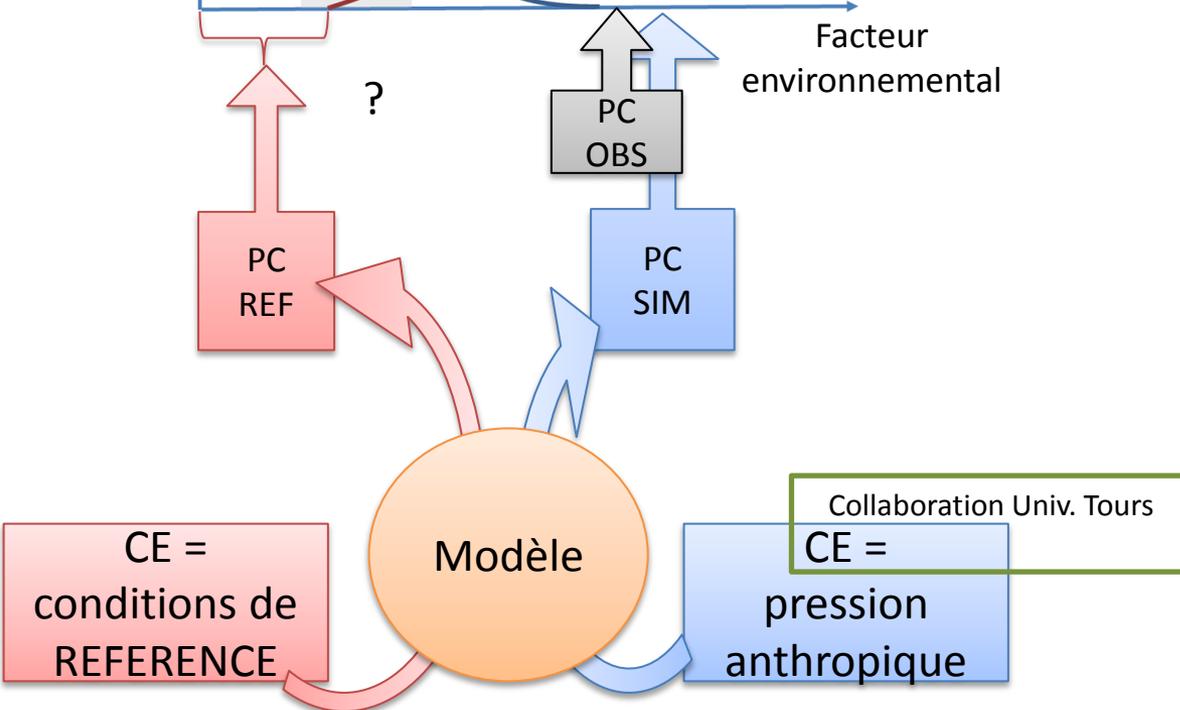
# D. Conditions de référence



# Modélisation

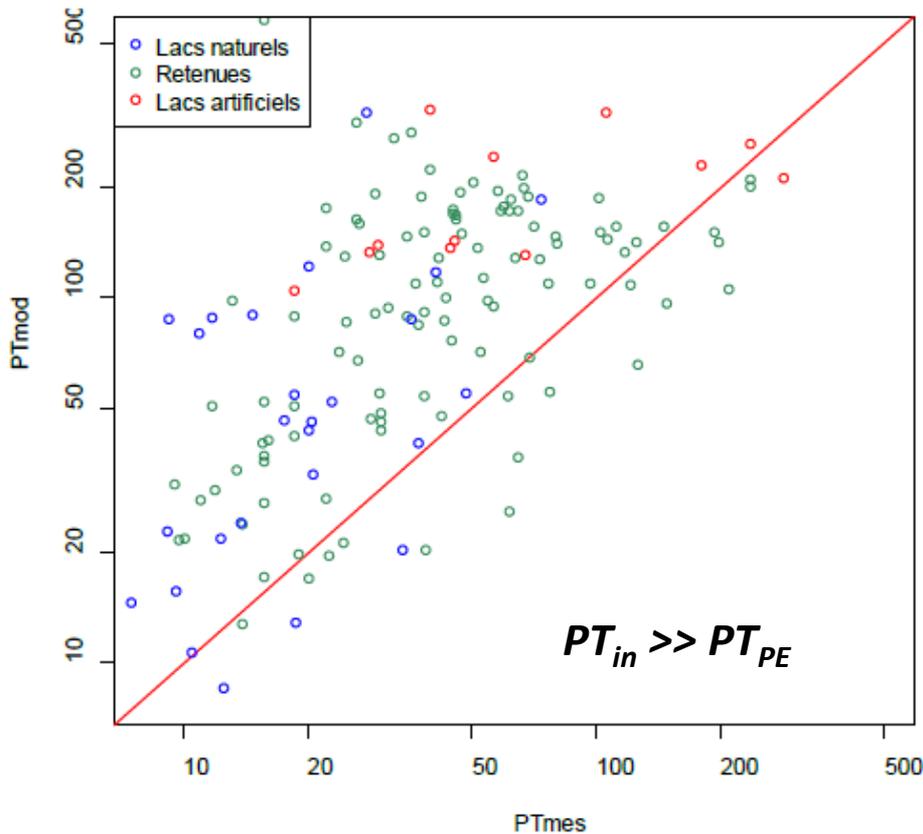


- Modèles
- Vollenweider<sup>1</sup>
  - Empiriques<sup>1</sup>
  - Bilan de masse (LakeMab modifié)<sup>2</sup>

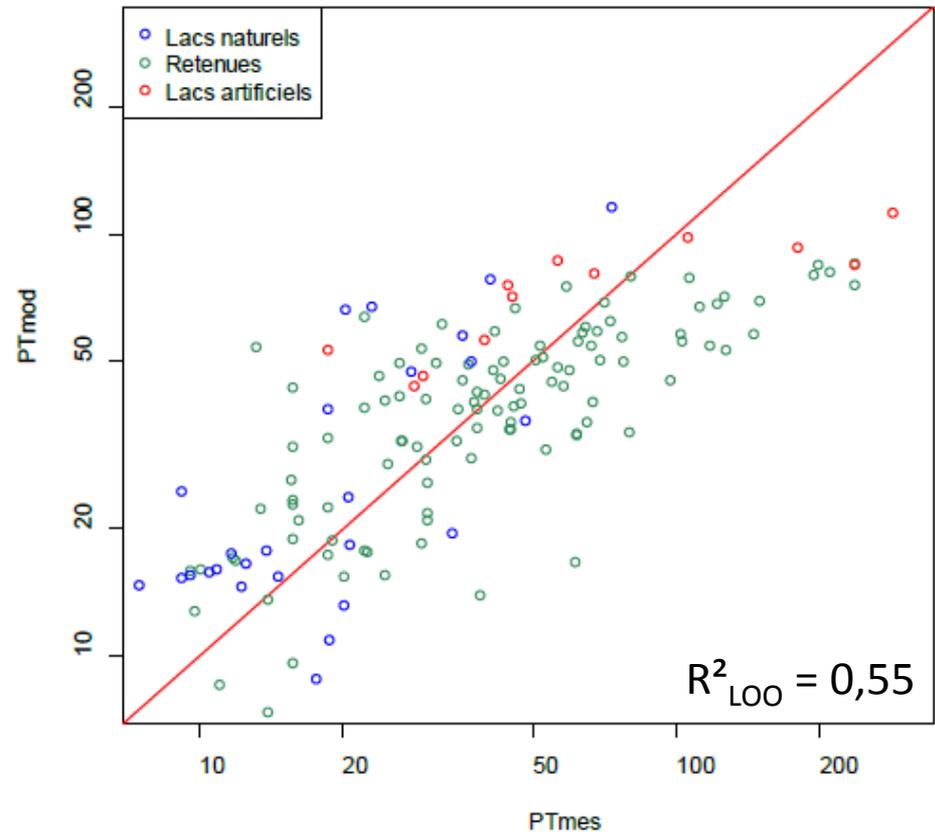


# Phosphore total

$$PT_{PE} \sim PT_{in}$$



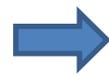
$$PT_{PE} \sim fct(PT_{in} + Z_{moy})$$



$$\log_{10}(PT_{mod}) = 1,31 + 0,24 \times \log_{10}(P_{in}) - 0,41 \times \log_{10}(Z)$$

→ Toujours incertain  
 → Amélioration avec LakeMab<sup>(1,3)</sup> + Flux entrants journaliers<sup>(2)</sup>

# Conclusions

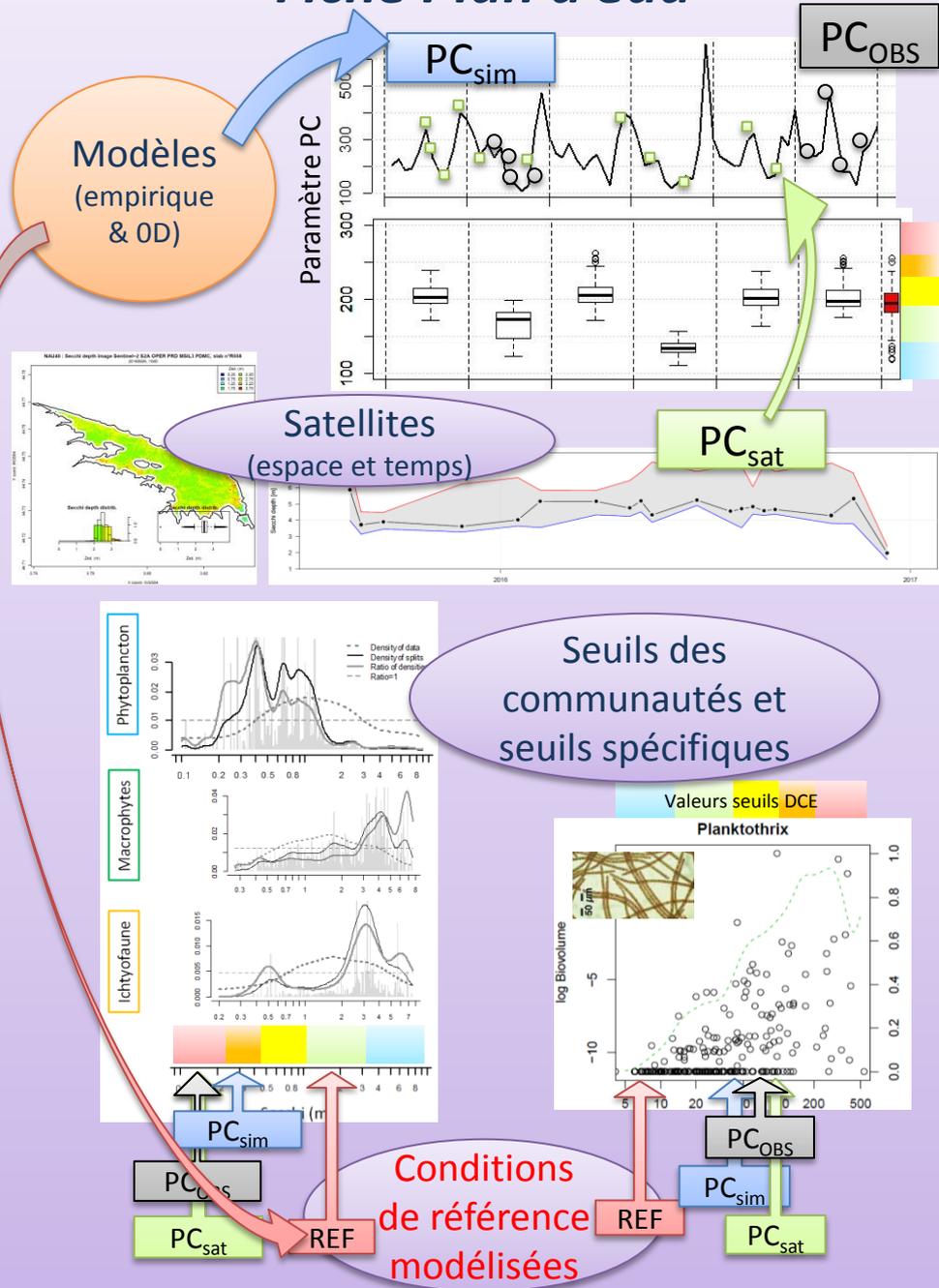


- A. Variabilité temporelle
- B. Variabilité spatiale
- C. Variabilité des réponses des biocénoses
- D. Conditions de référence

## Aide à la décision :

- partie physico-chimie : données, modèles, satellites
- partie sur l'écologie des espèces et multi-compartiments : seuils

## Fiche Plan d'eau



# Bibliographie

- Botta, F., J. Blanquet, R. Champion, C. Ferret, N. Guigues, J. Lazzarotto, et al. 2010. Impact des opérations de prélèvements sur la variabilité des résultats d'analyses - Essai inter-comparaison sur le prélèvement en plan d'eau. Rapport AQUAREF p. 122.
- Danis, P.-A. et V. Roubeix. 2014a. Physico-chimie soutenant la biologie des plans d'eau nationaux : Principes et méthodes de définition des valeurs-seuils & Amélioration des connaissances par la télédétection. Pôle Onema-Irstea "Hydroécologie des Plans d'eau", Aix-en-Provence. p. 81.
- Danis, P.-A. et V. Roubeix. 2014b. Sources d'incertitudes associées aux indicateurs physico-chimiques en plans d'eau. Aquaref - Pôle Onema-Irstea "Hydroécologie des Plans d'eau", Aix-en-Provence. p. 19.
- Ellis, N., S.J. Smith et C.R. Pitcher. 2012. Gradient forests: calculating importance gradients on physical predictors. Ecology 93: 156-168.
- Harmel, T., M. Chami, T. Tormos, N. Reynaud et P.-A. Danis. 2018. Sunglint correction of the Multi-Spectral Instrument (MSI)-SENTINEL-2 imagery over inland and sea waters from SWIR bands. Remote Sensing of Environment 204: 308-321.
- Håkanson, L. et A.C. Bryhn. 2008. A dynamic mass-balance model for phosphorus in lakes with a focus on criteria for applicability and boundary conditions. Water, Air, and Soil Pollution 187: 119-147.
- King, R.S. et M.E. Baker. 2010. Considerations for analyzing ecological community thresholds in response to anthropogenic environmental gradients. Journal of the North American Benthological Society 29: 998-1008.
- Lepot, B. 2010. Opérations de prélèvements : Organisation d'un essai national d'intercomparaison sur le prélèvement en lac. INERIS.
- Moatar, F., B.W. Abbott, C. Minaudo, F. Curie et G. Pinay. 2017. Elemental properties, hydrology, and biology interact to shape concentration-discharge curves for carbon, nutrients, sediment, and major ions. Water Resources Research 53: 1270-1287.
- Prats, J. et P.-A. Danis. 2015. Optimisation du réseau national de suivi pérenne in situ de la température des plans d'eau : apport de la modélisation et des données satellitaires. Pôle Onema-Irstea "Hydroécologie des plans d'eau". p. 93.
- Prats, J. et P.-A. Danis. 2016. Estimation des évolutions hebdomadaires des températures de l'épilimnion et de l'hypolimnion par type de plan d'eau Potentialités et limites des données spatialisées (Loieau et SAFRAN) et des outils de modélisation. Pôle Onema-Irstea "Hydroécologie des plans d'eau". p. 68.
- Prost, O., F. Moatar et P.-A. Danis. 2016. Caractérisation physico-chimique (observations et modélisations) des apports externes (bassins-versants) dans les plans d'eau nationaux DCE pour l'évaluation de l'état écologique et la priorisation des programmes de mesures - Rapport d'avancement. Convention Onema/Université de Tours: 82.
- Roubeix, V., P.-A. Danis, T. Feret et J.-M. Baudoin. 2016. Identification of ecological thresholds from variations in phytoplankton communities among lakes: contribution to the definition of environmental standards. Environmental Monitoring and Assessment 188.
- Roubeix, V., M. Daufresne, C. Argillier, J. Dublon, A. Maire, D. Nicolas, J.-C. Raymond et P.-A. Danis. 2017. Physico-chemical thresholds in the distribution of fish species among French lakes. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems 2017-January.
- Simon, R.N., T. Tormos et P.-A. Danis. 2014. Potentialités de la télédétection pour le suivi dans le temps et dans l'espace des paramètres biophysicochimiques et physiques (marnage) des plans d'eau français. Rapport convention Onema/Irstea 2014. Irstea, UR MALY, Pôle Onema/Irstea, Lyon. p. 49.
- Soullignac, F., O. Anneville et P.-A. Danis. 2016. Variabilité dans l'évaluation de l'état écologique des plans d'eau en France : mesure et modélisation. Partenariat INRA-Onema. p. 98.

# Incertitudes et physico-chimie en soutien à la biologie dans les plans d'eau

*Pierre-Alain.Danis@afbiodiversite.fr*

*Vincent.Roubeix@irstea.fr*

*- Pôle AFB-Irstea d'Aix-en-Provence -*

## Remerciements :

Jordi Prats et Nathalie Reynaud (Irstea)

Thierry Tormos (AFB)

Tristan Harmel (Irstea/LOV) et Malik Chami (LOV)

Frédérique Soullignac et Orlanne Anneville (INRA)

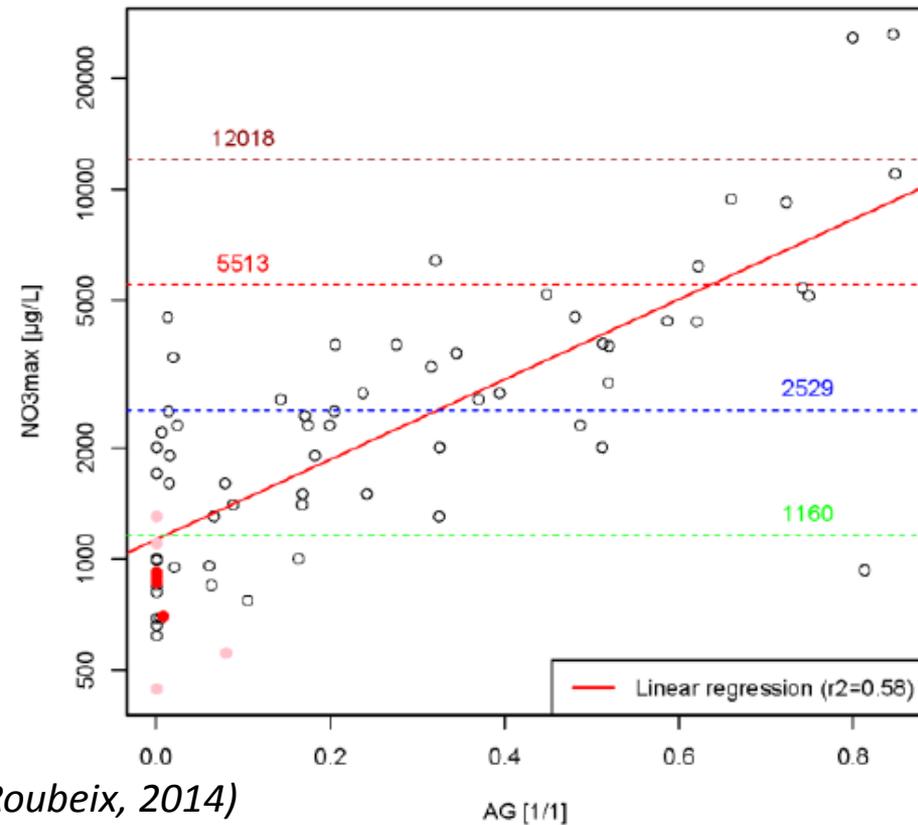
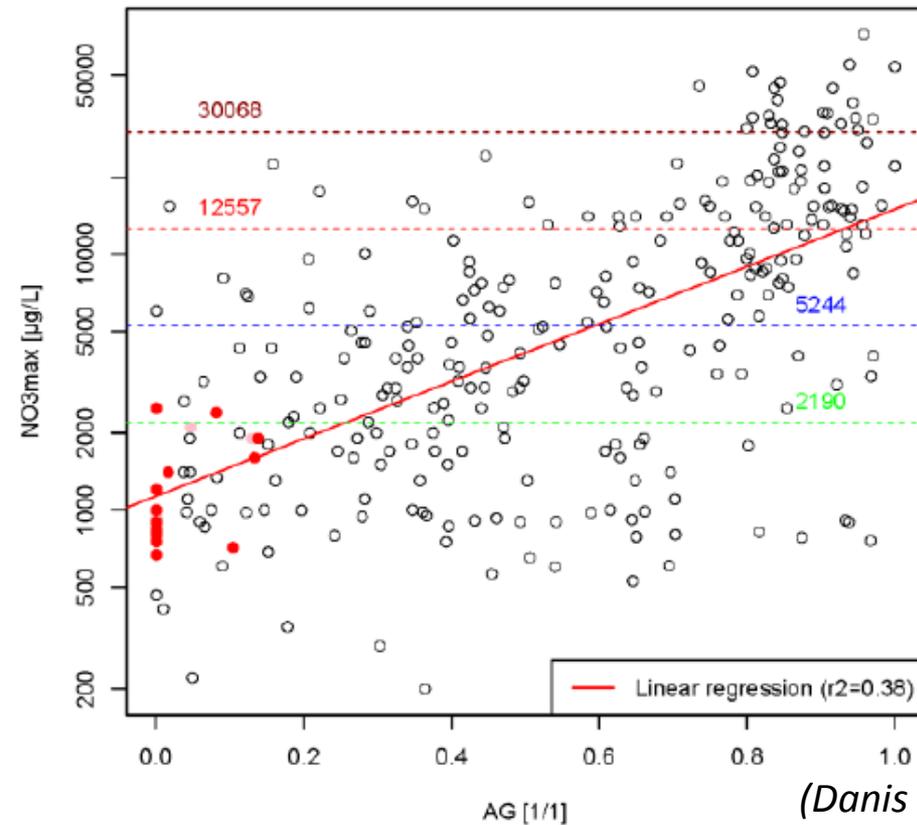
Florentina Moatar et Camille Minaudo (Univ. Tours)

# Cas des valeurs-seuils Nitrates

## Réponse des nitrates à l'agriculture

Si  $Z_{moy} \leq 15$  m

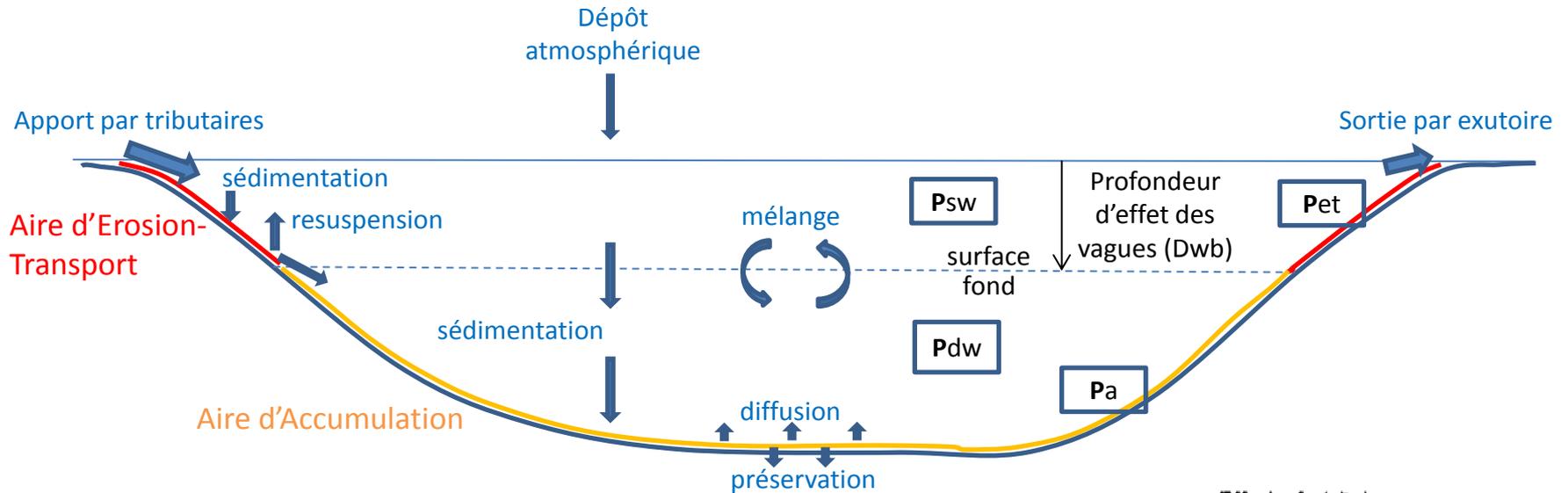
Si  $Z_{moy} > 15$  m



(Danis & Roubeix, 2014)

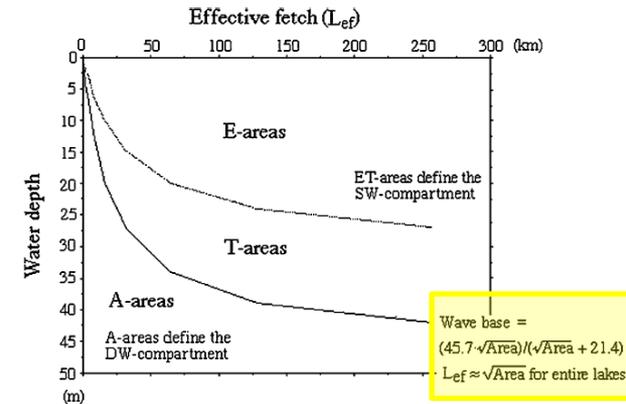
Pas de lien avec les compartiments biologiques

# LakeMab : Modèle de phosphore pour plan d'eau (Hakanson et Bryhn, 2008)



- Subdivision verticale sur critère sédimentologique (Dwb='wave base') : effet de vent et vagues sur sédiments (cf Hakanson et Jansson 1983)

$$AreaA = \left( Area \cdot \left( \frac{D_{max} - D_{wb}}{D_{max} + D_{wb} \cdot EXP(3 - Vd^{1.5})} \right) \right)^{(0.5/Vd)}$$



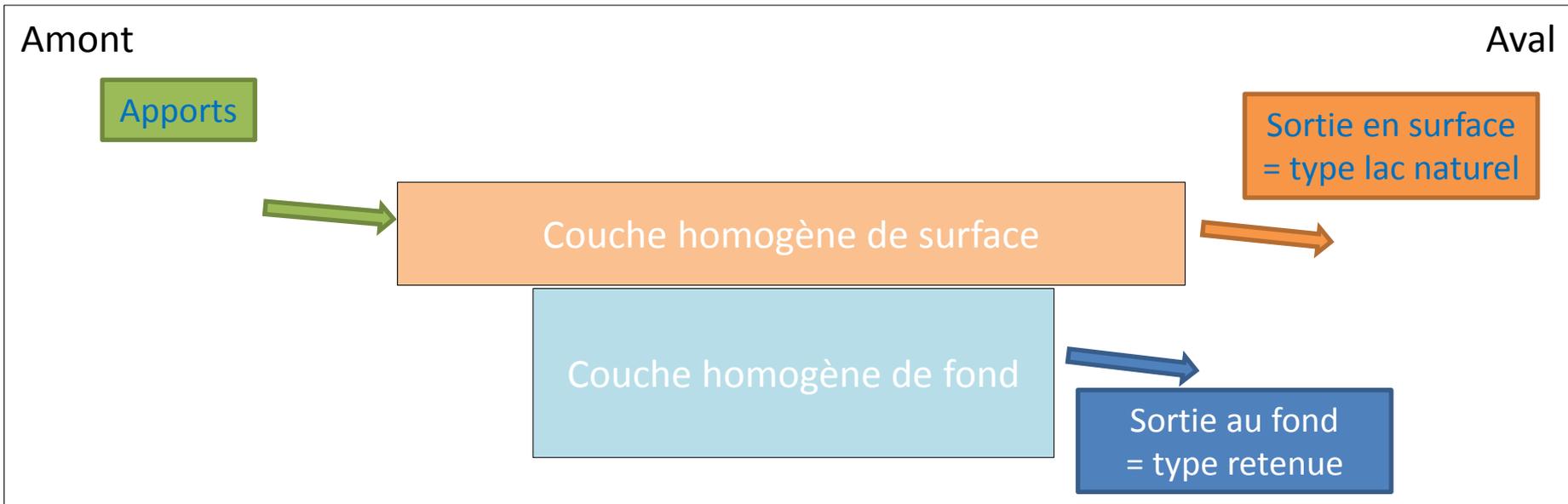
Simulations à échelle mensuelle :

- Sous-modèle hydrologique : Apports en eau par les tributaires (Abrahamson et Hakanson, 1998)
- Sous-modèle de température : Température en surface et en profondeur (Ottoson et Abrahamson, 1998)
- Variables d'entrée nécessaires : SurfLAC, SurfBV, Zmoy, Zmax, Lat, Alt, Cont, Prec, **[TP]<sub>in</sub>**

-> Compilation sous R, package de simulation 'deSolve'

# A. Variabilité temporelle → Modélisation PC 0D

LakeMab<sup>(1)</sup> modifié = modèle de phosphore pour plan d'eau



## Améliorations en cours :

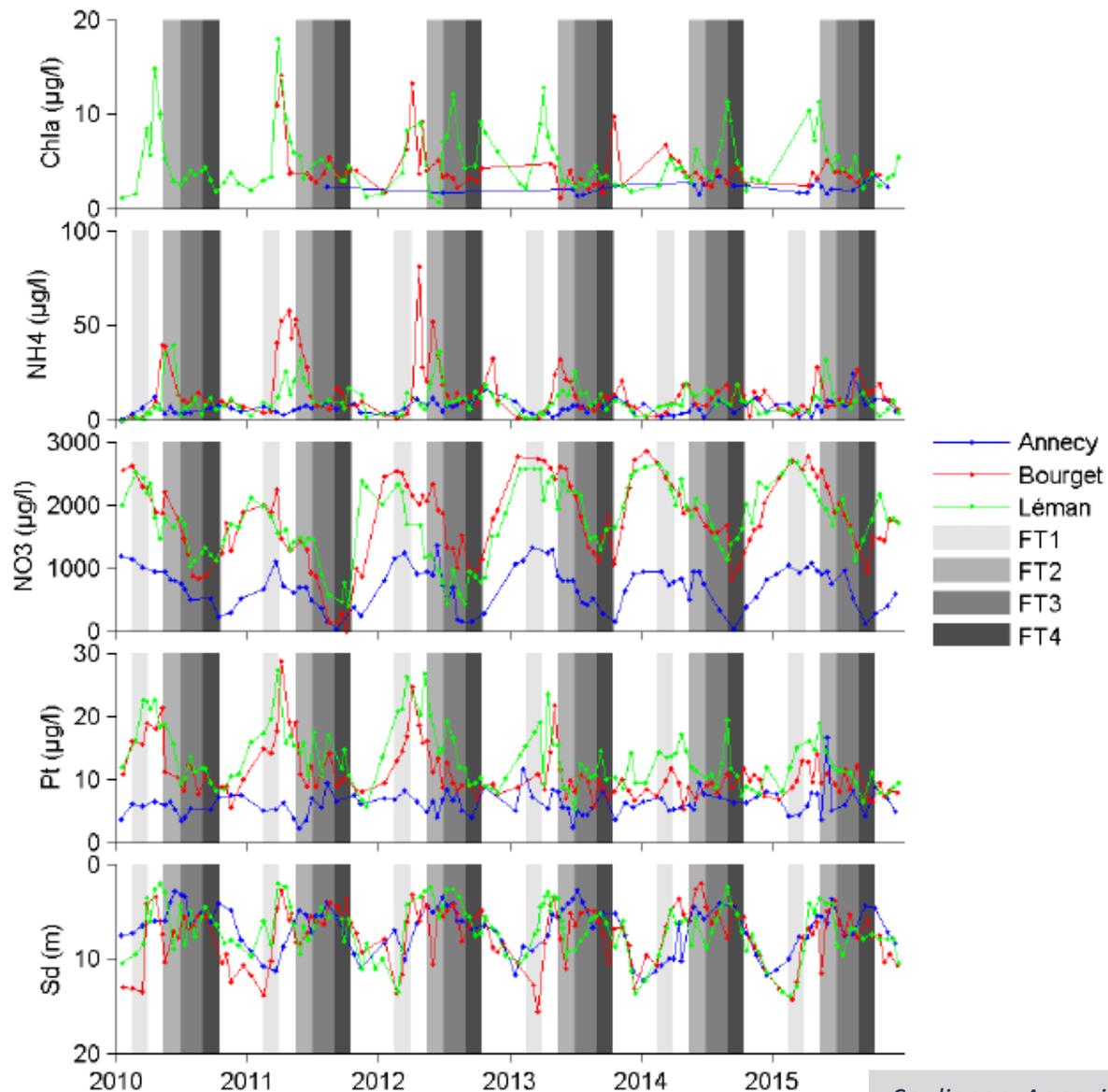
- Flux entrant journalier en phosphore issu du bassin-versant (Coll. Univ. Tours<sup>(2)</sup>)
- Sous-modèle de température journalière pour les 2 couches<sup>(3)</sup>
- Choix de la profondeur de sortie d'eau pour les retenues
- Prise en compte du marnage
- Recodage en R, package de simulation 'deSolve'

<sup>(1)</sup> Hakanson et Bryhn 2008 ; <sup>(2)</sup> Prost, Moatar et Danis 2016 ; Moatar et al. 2017 ; <sup>(3)</sup> Prats et Danis 2015



# Variabilités temporelle

Figure 23 – Chla, NH4, NO3 et Pt intégrés dans la zone euphotique et Sd pour les 3 lacs de 2010 à 2015

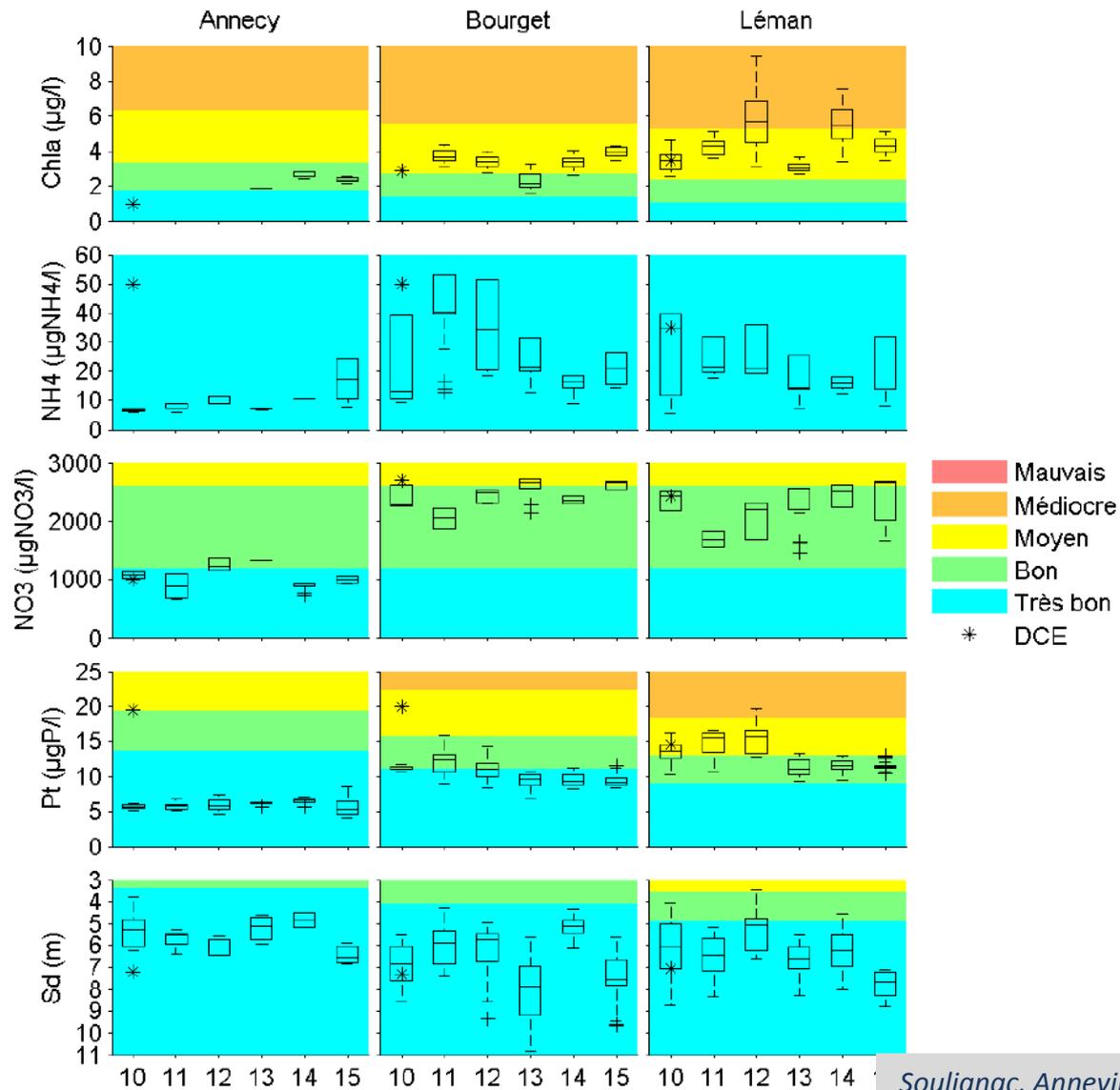


Grands lacs périalpins  
suivi scientifique  
SI-OLA

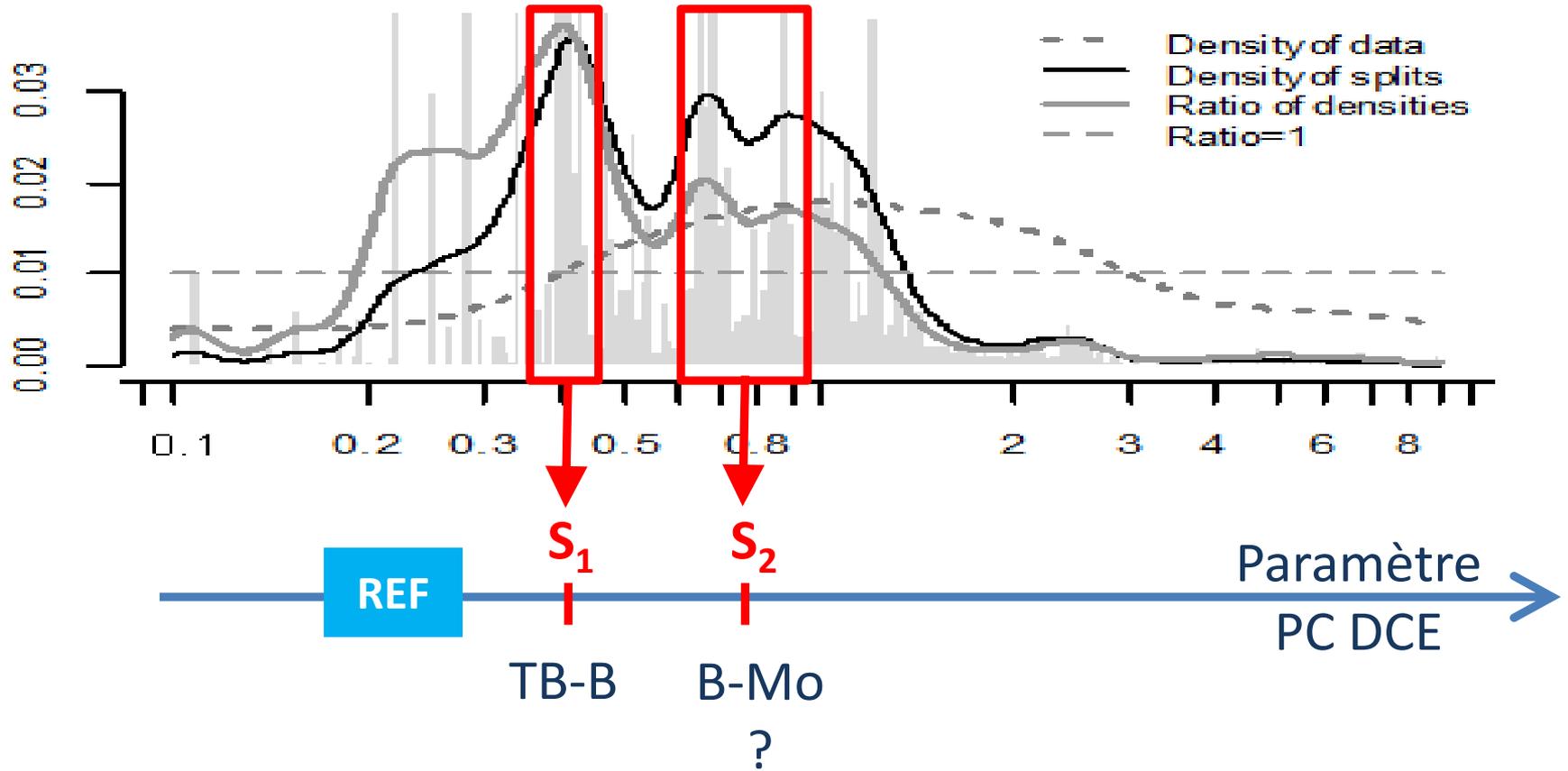
# Variabilités temporelle

Figure 24 – Variabilité des indicateurs de qualité physico-chimique basés sur les paramètres NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Pt et Sd pour toutes les combinaisons de dates possibles pour le lac d'Annecy, le lac du Bourget et le Léman de 2010 à 2015

Grands lacs périalpins  
suivi scientifique  
SI-OLA

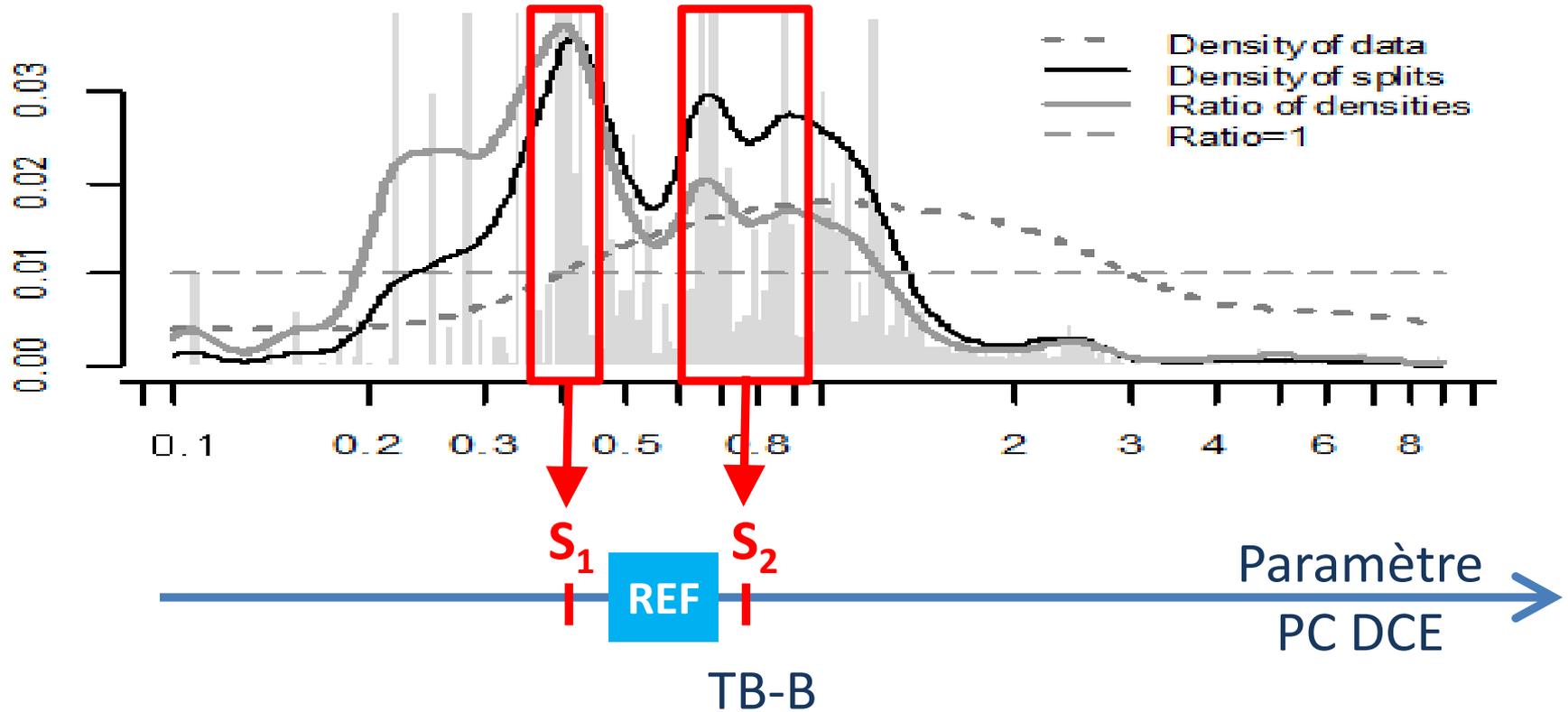


# Méthodologie "Gradient Forest"



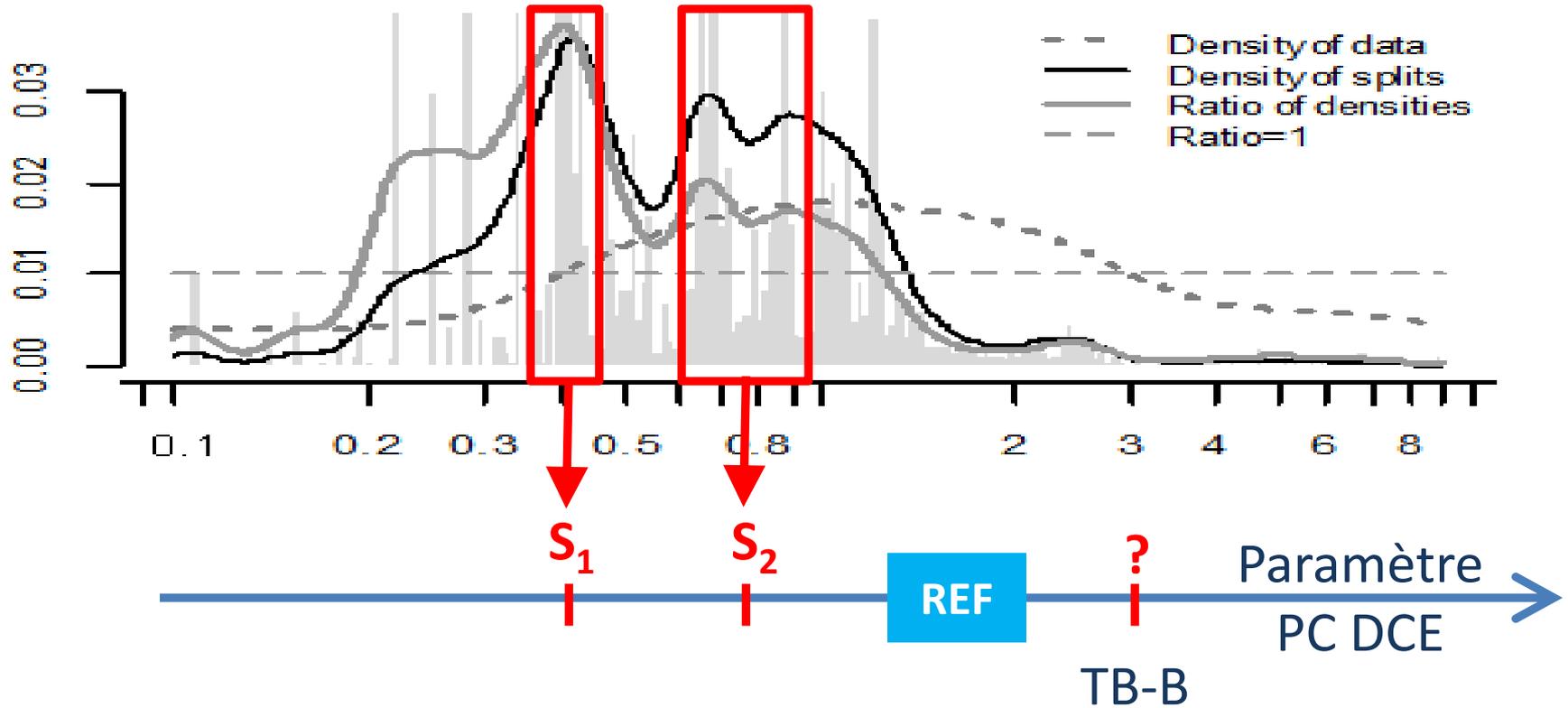
○ Cas 1 : Seuils  $>$  REF

# Méthodologie "Gradient Forest"



- Cas 2 : Seuil 1 < REF < Seuil 2

# Méthodologie "Gradient Forest"



○ Cas 3 : Seuils < REF

→ Quid des conditions de référence ? Modélisation.