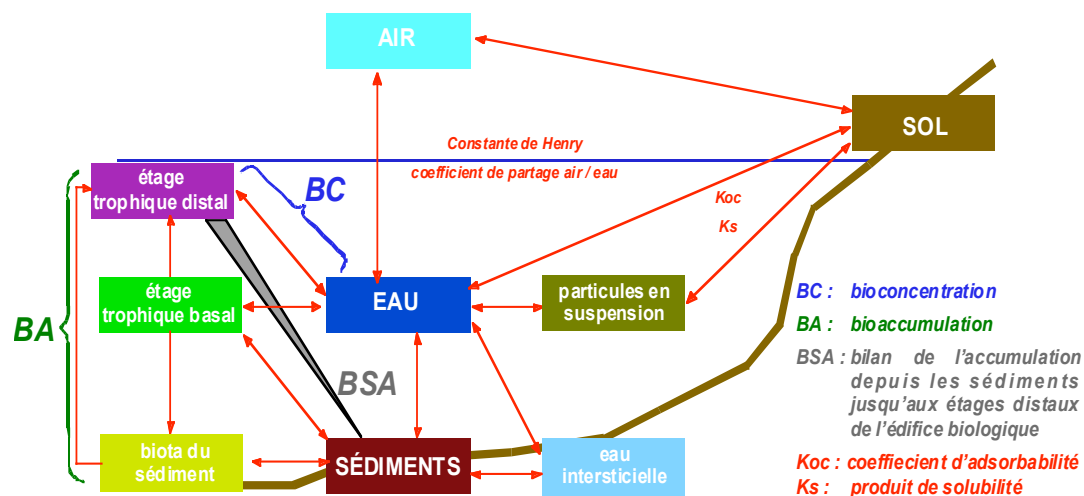
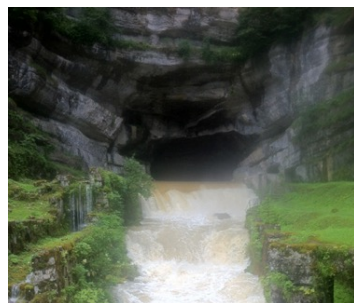


# Etat de santé des rivières karstiques en relation avec les pressions anthropiques exercées sur leurs bassins versants

EPTB Saône-Doubs, Journées d'échanges techniques Pôle karst  
Pollutions des hydrosystèmes karstiques : où, quand, comment ?  
9 juin 2022, Ibis Styles, 22 bis rue de Trey, 25000 Besançon

Pierre-Marie Badot & François Degiorgi



Depuis plusieurs décennies, **proliférations végétales** dans les rivières karstiques franc-comtoises :

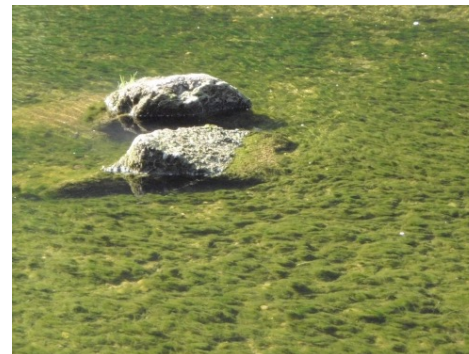
**algues filamenteuses, renoncules, cyanobactéries...**

malgré les efforts d'épuration et de réduction des intrants

*Fond de rivière calcaire  
non colmaté...*

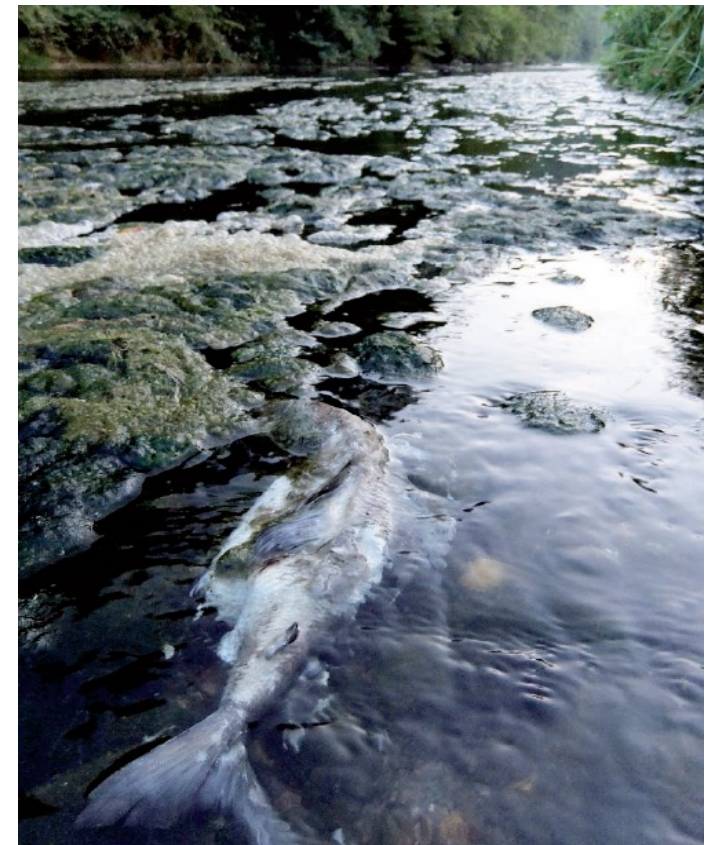


*Proliférations végétales  
eutrophisation*





A partir de 2009, **mortalités piscicoles** importantes dans la Loue et dans une moindre mesure et moins régulièrement dans l'Ain, la Bienne, le Doubs franco-suisse, le Dessoubre...



# RÉPONSE SCIENTIFIQUE : PROGRAMME DE RECHERCHES

---

## 1. Objectiver-caractériser l'état de santé des rivières karstiques du massif et ses tendances évolutives

*Caractériser les symptômes : quelle est leur ampleur ?*

*Hypothèses de travail : phénomènes «naturels» ? facteurs anthropiques locaux ? globaux ?*

*Phénomènes ponctuels ou dégradation progressive ? ...*

## 2. Elucider les mécanismes des dysfonctionnements biologiques des cours d'eau : identifier les facteurs susceptibles de rendre compte des constats

*Analyse de la physico-chimie et de la chimie des milieux (T°, O<sub>2</sub>, Lumière, contaminants...),*

*Recherche de pollutions d'origine physique, biologique, chimique ?*

*Identifier des mécanismes fonctionnels significativement modifiés ...*

## 3. Recherche des causes de dysfonctionnement dans tout le bassin versant

*Hiérarchiser les pressions et les processus dysfonctionnels ou et contaminants*

*Identifier les voies de transferts du bassin versant vers le cours d'eau*

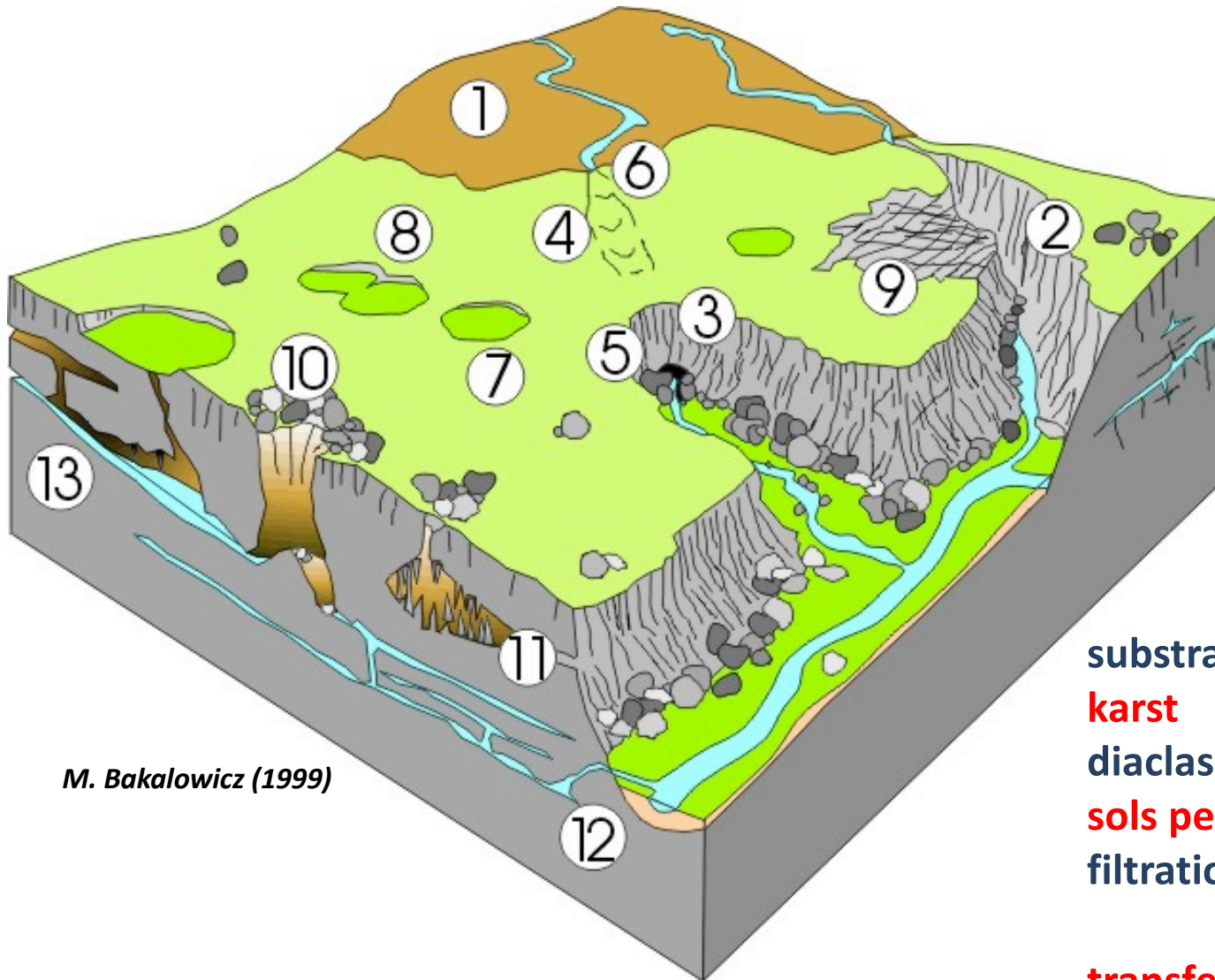
*Sérier et hiérarchiser les causes possibles*

## 4. Proposer des suggestions / recommandations aux autorités de gestion

*Mesures sans regret, définition de concentrations et de flux admissibles ...*



# UNE SPECIFICITE : LE KARST



M. Bakalowicz (1999)

substratum géologique calcaire =  
**karst**  
diaclasses, **roche perméable**  
**sols perméables**,  
filtration, épuration réduites

**transferts très rapides** depuis le  
bassin versant vers le cours d'eau

**Grande sensibilité des milieux karstiques aux activités menées sur les bassins versants**

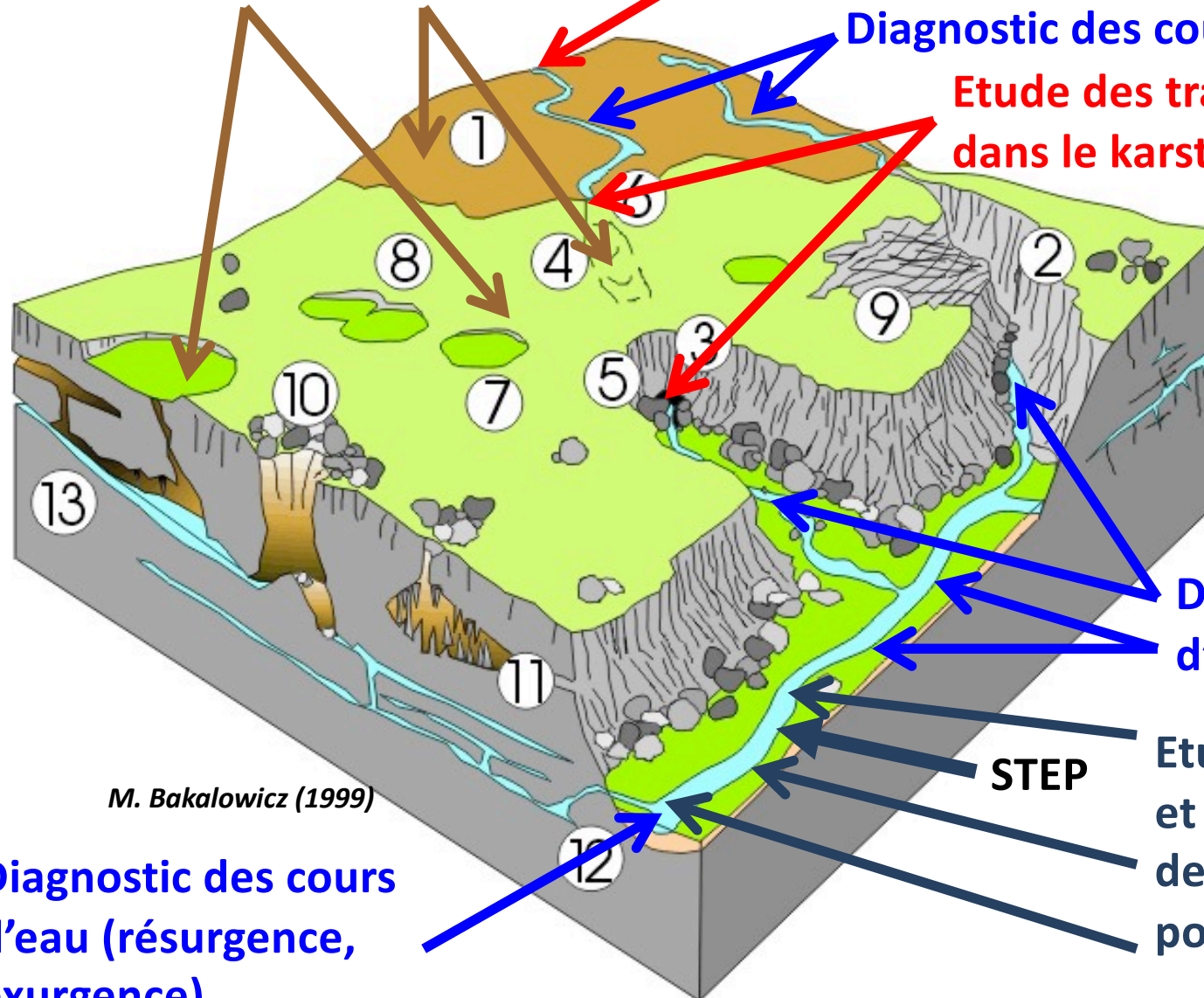
# UNE SPECIFICITE : LE KARST

Inventaire des pressions  
Analyse de la transférabilité  
et de la vulnérabilité des sols

Etude des transferts  
dans le karst (pertes)

Diagnostic des cours d'eau (plateaux)

Etude des transferts  
dans le karst



Diagnostic des cours  
d'eau (vallées)

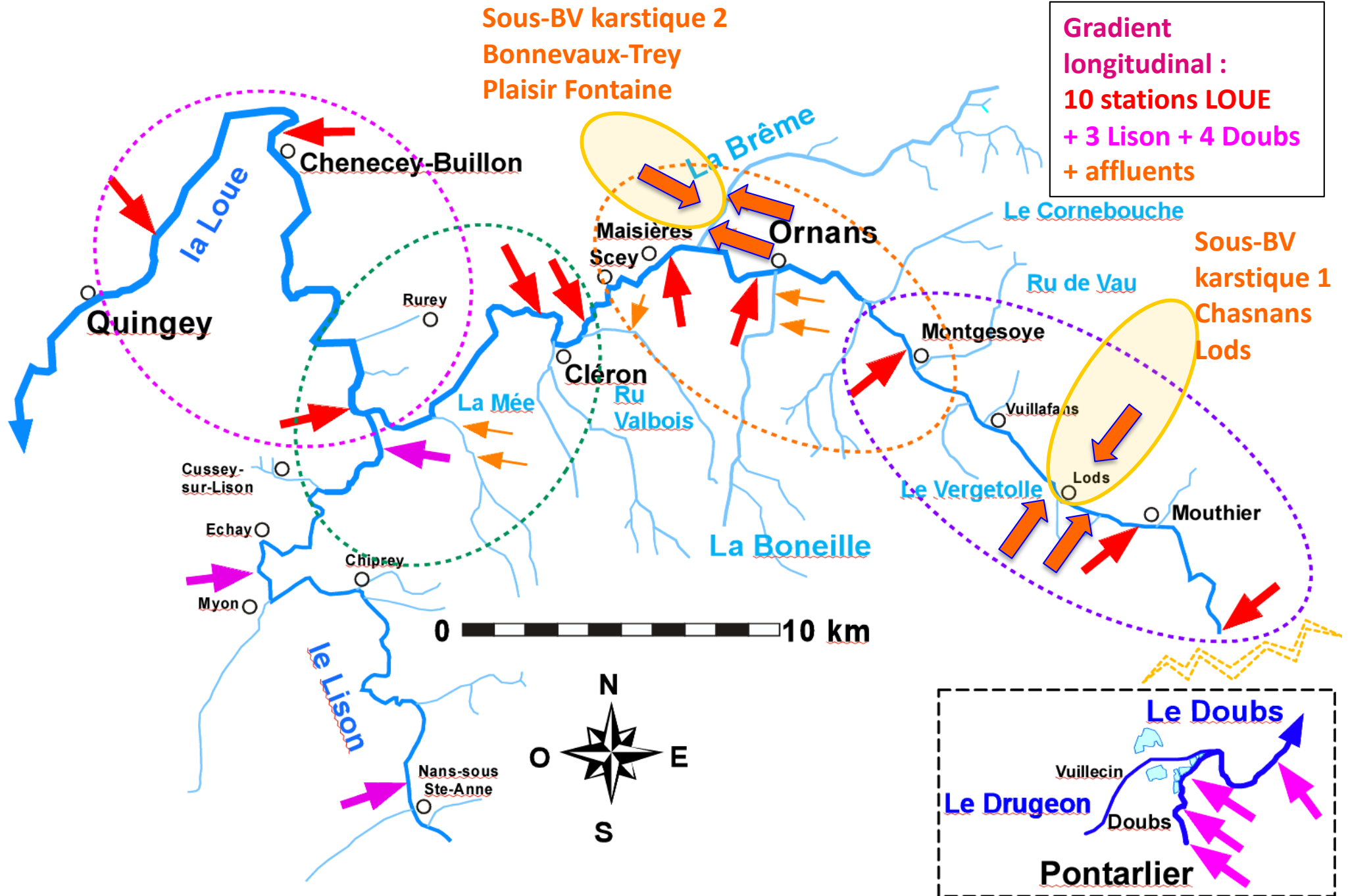
Etude de l'intensité  
et de la variabilité  
des impacts de rejets  
ponctuels

STEP

Diagnostic des cours  
d'eau (résurgence,  
exurgence)

*M. Bakalowicz (1999)*

# STRATÉGIE DE RECUEIL DES DONNÉES : PROGRAMME ATELIER LOUE



# VUE SYNOPTIQUE : ORGANISATION DU PROGRAMME

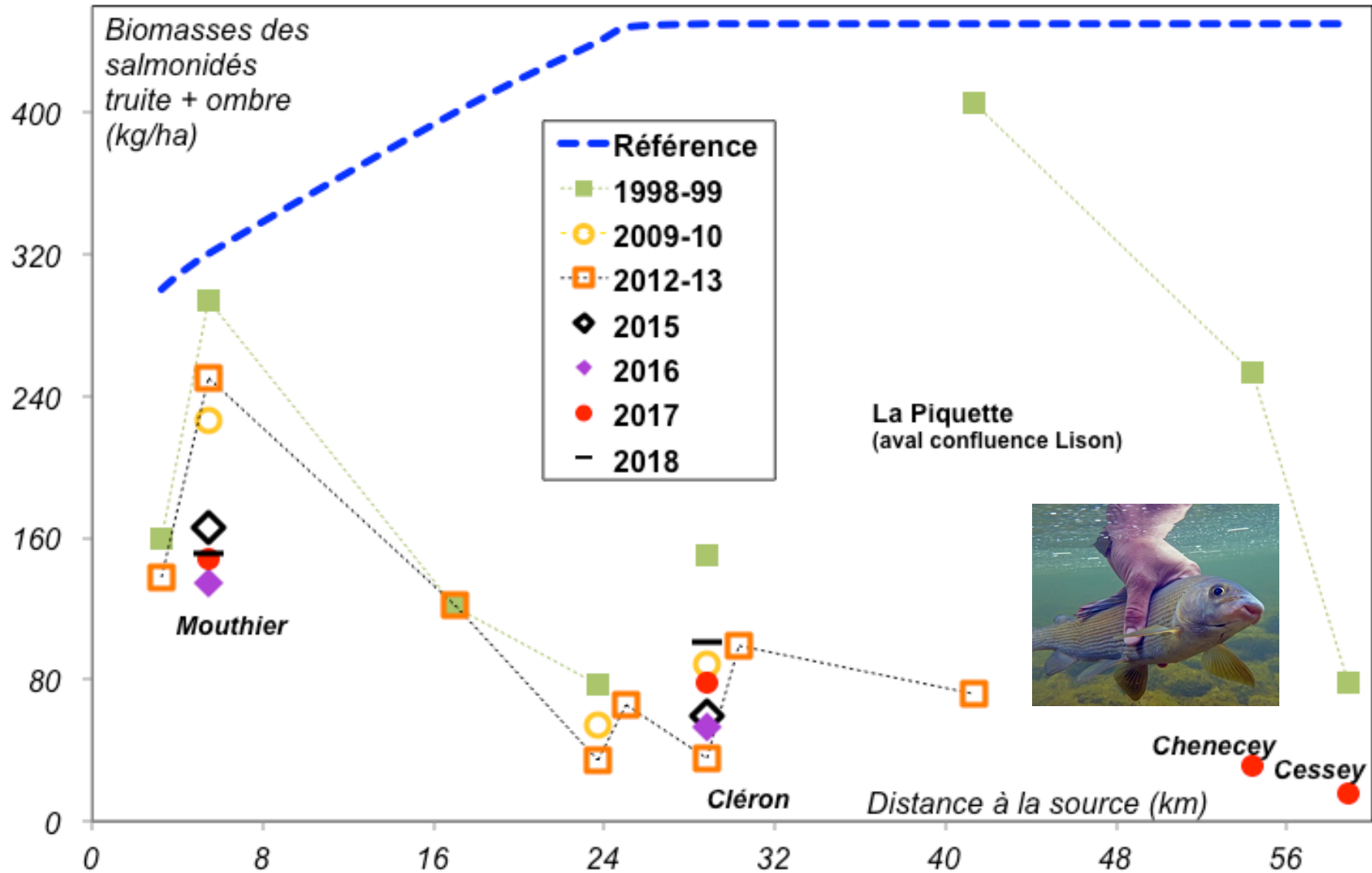
---

	Tranche 1		Tranche 2A	Tranche 2B		Tranche 3	
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2019
<b>Etat de santé de la Loue et affluents</b>	<b>Poissons, benthos, algues filamenteuses</b> [Phytobenthos, macrophytes]						
<b>Mécanismes d'altération et de contaminations</b>	<b>Chimie eau sédiments MES</b> Doubs Loue Lison Ecotoxicologie, Bioaccumulation Qualité physique...			<b>Chimie de 2 affluents karstiques et</b> <b>amont aval de leur confluence</b>			
<b>Pressions et transferts</b>	<b>Bilan des rejets N et P agricoles vs domestiques</b>			<b>Fonctionnement des sols agricoles</b> <b>Inventaires des pressions</b>			

2019 – 202... : synthèse, recommandations...

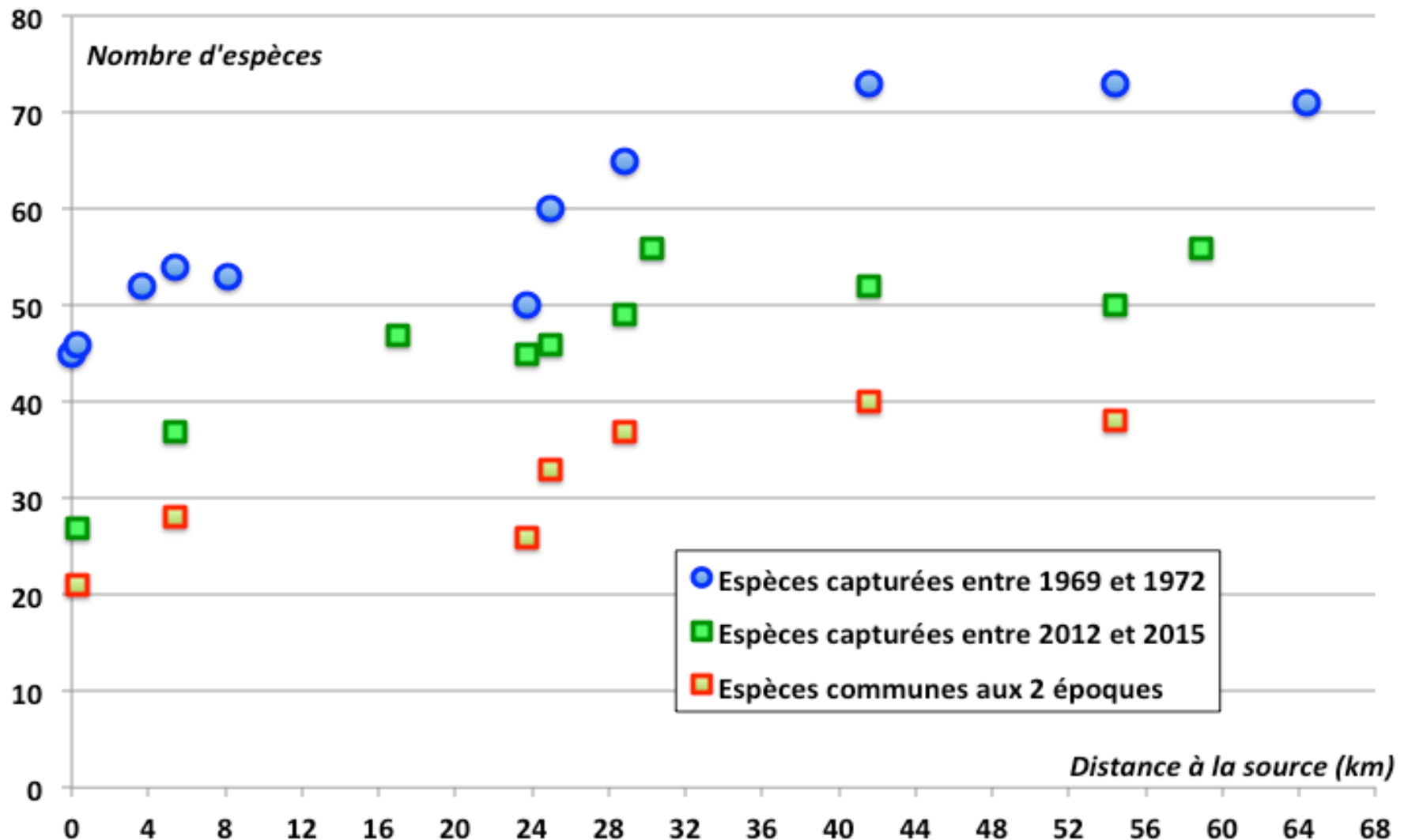


# POISSONS : Evolution spatio-temporelle des biomasses salmonicoles de la Loue



# BENTHOS\* : Evolution spatio-temporelle de la biodiversité entomologique

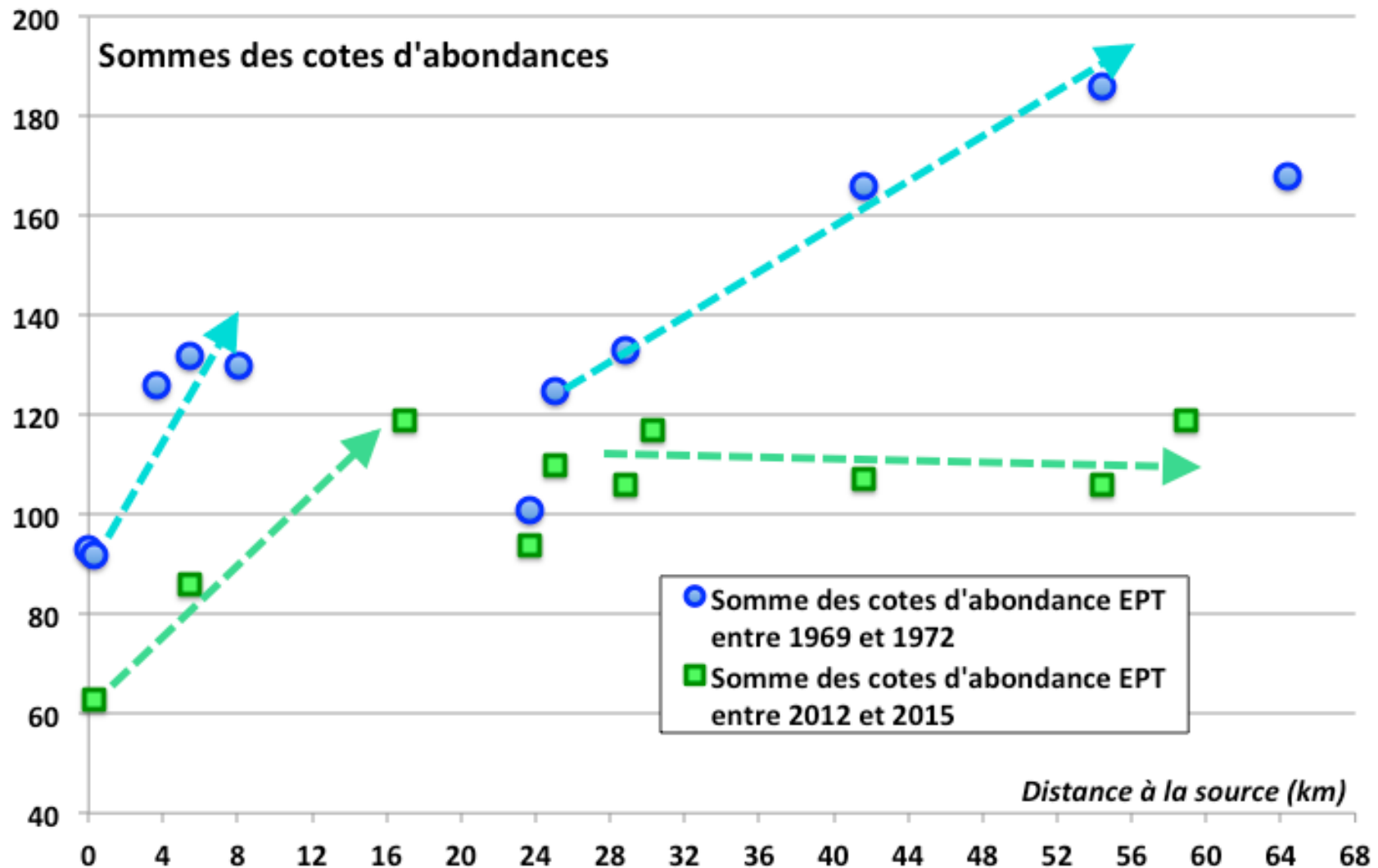
Comparaison des richesses spécifiques mesurées en **Ephéméroptères Plécoptères et Trichoptères** d'une part entre **1969 et 1972** et d'autre part entre **2012 et 2015**



\* ensemble des organismes vivant au fond du cours d'eau

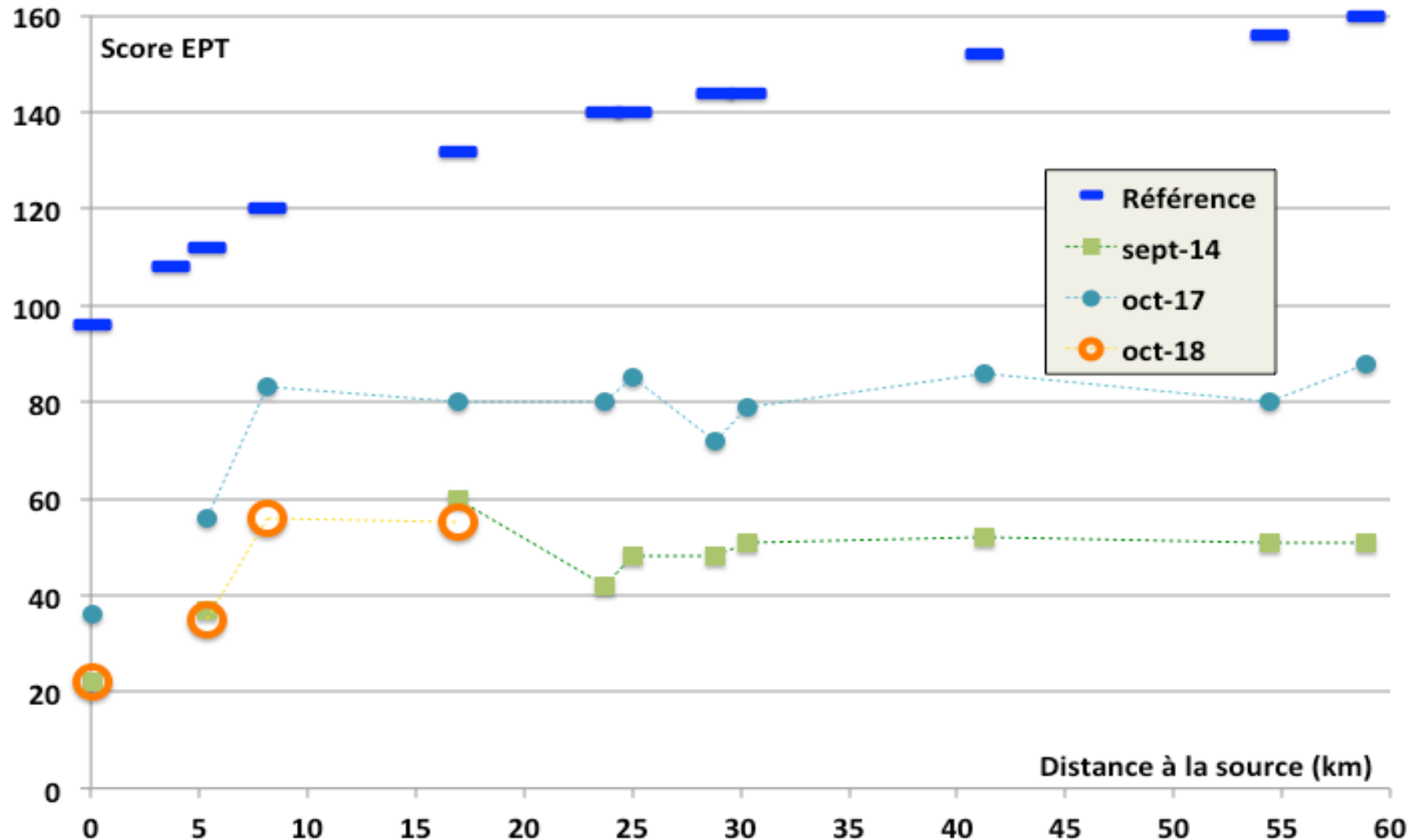
# BENTHOS : Evolution spatio-temporelle de la biodiversité entomologique

Comparaison des **abondances spécifiques** mesurées pour **Ephéméroptères Plécoptères et Trichoptères** d'une part entre **1969 et 1972** et d'autre part entre **2012 et 2015**





# INDICE DE BIODIVERSITÉ : capacités d'autoépuration du cours d'eau



Evaluation des structures quantitatives du benthos à l'aide du score d'abondance des EPT  
Ephéméroptères Plécoptères et Trichoptères

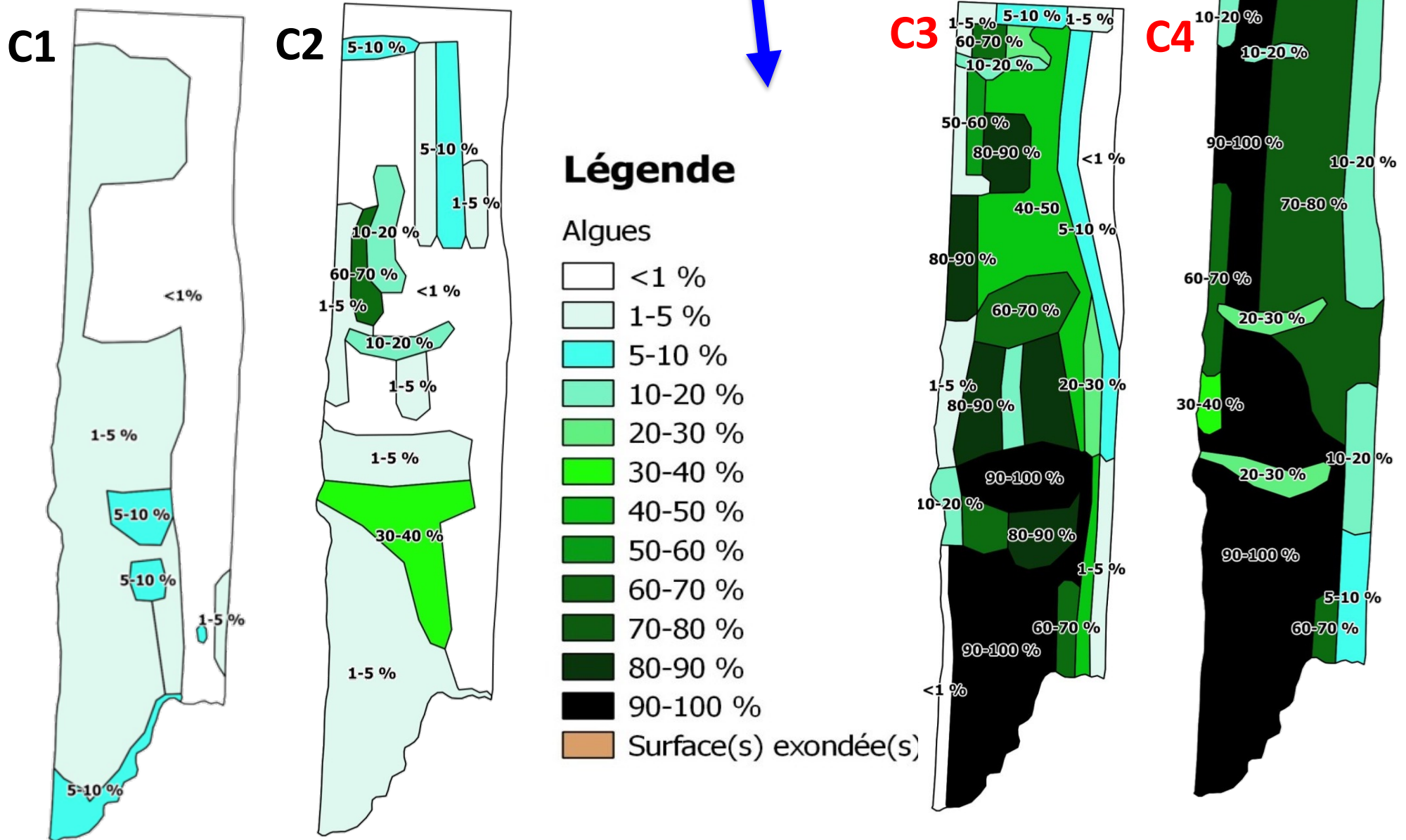


*Crédits photos : Johan Benoist, Etienne Chanez, F. Degiorgi ...*

Recouvrement **jusqu'à 100 %**,

Biomasse jusqu'à **3 kg de masse fraîche par m<sup>2</sup> soit 30 tonnes par hectare**





Evolution saisonnière du colmatage, exemple de la station de la Piquette en 2017



# DEGRADATION DE LA QUALITE DES RIVIERES KARSTIQUES

---

- Régression des populations de **poissons**, notamment des Salmonidés
- Forte régression des communautés **d'invertébrés benthiques**
- Prolifération **algale**

# DEGRADATION DE LA QUALITE DES RIVIERES KARSTIQUES

---

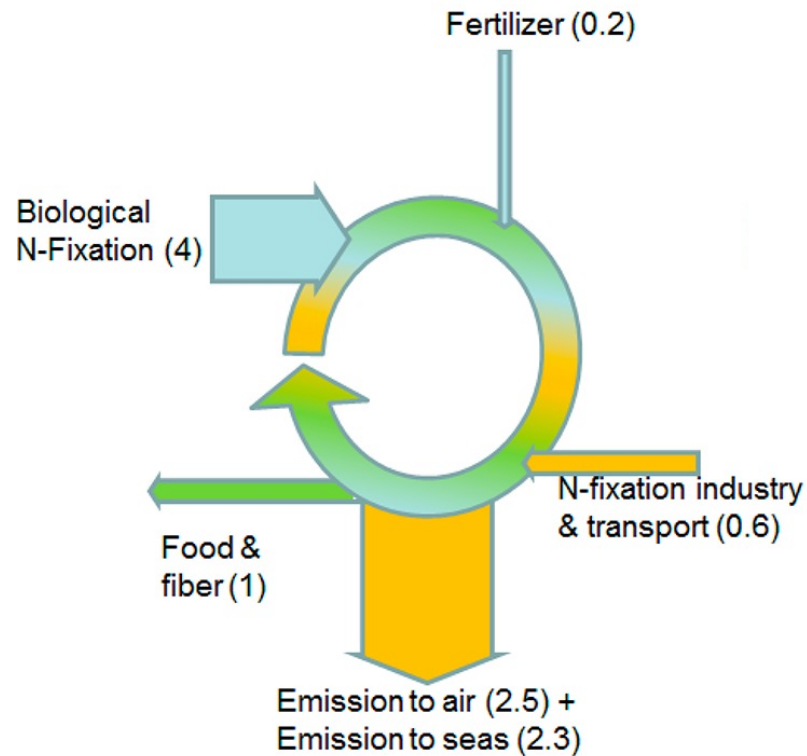
- Régression des populations de **poissons**, notamment des Salmonidés
- Forte régression des communautés **d'invertébrés benthiques**
- Prolifération **algale**

RECHERCHE DES **MECANISMES** ET DES **CAUSES POSSIBLES**

**PREMIERE PISTE : LES EXCES DE NUTRIMENTS AZOTES ET PHOSPHORES**

Europe around 1900.  
(N fluxes in TgN/yr)

# PHYSICO-CHEMIE : LE CYCLE DE L'AZOTE (N)



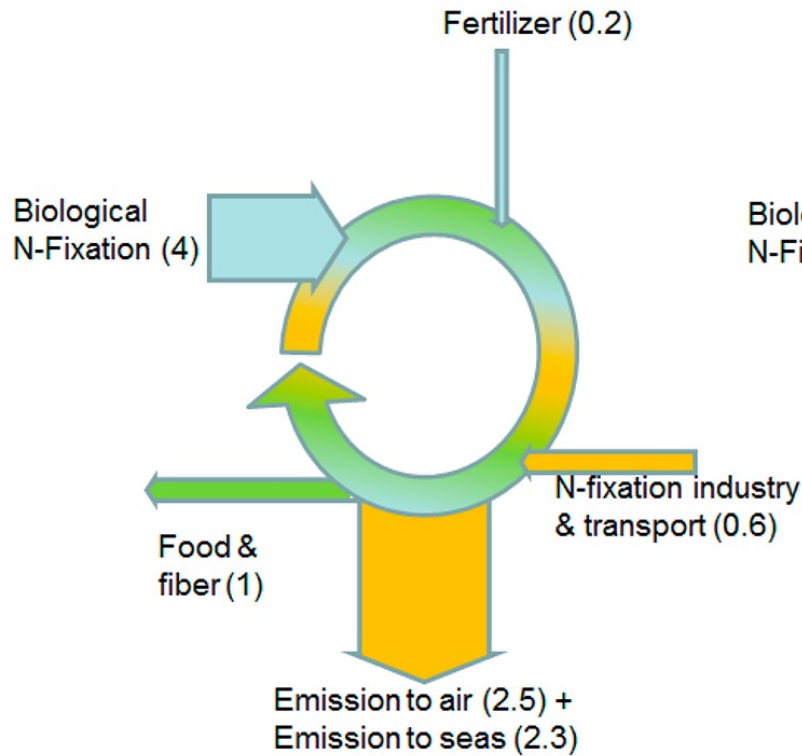
En bleu : flux anthropiques intentionnels

En orange : flux anthropiques non intentionnels

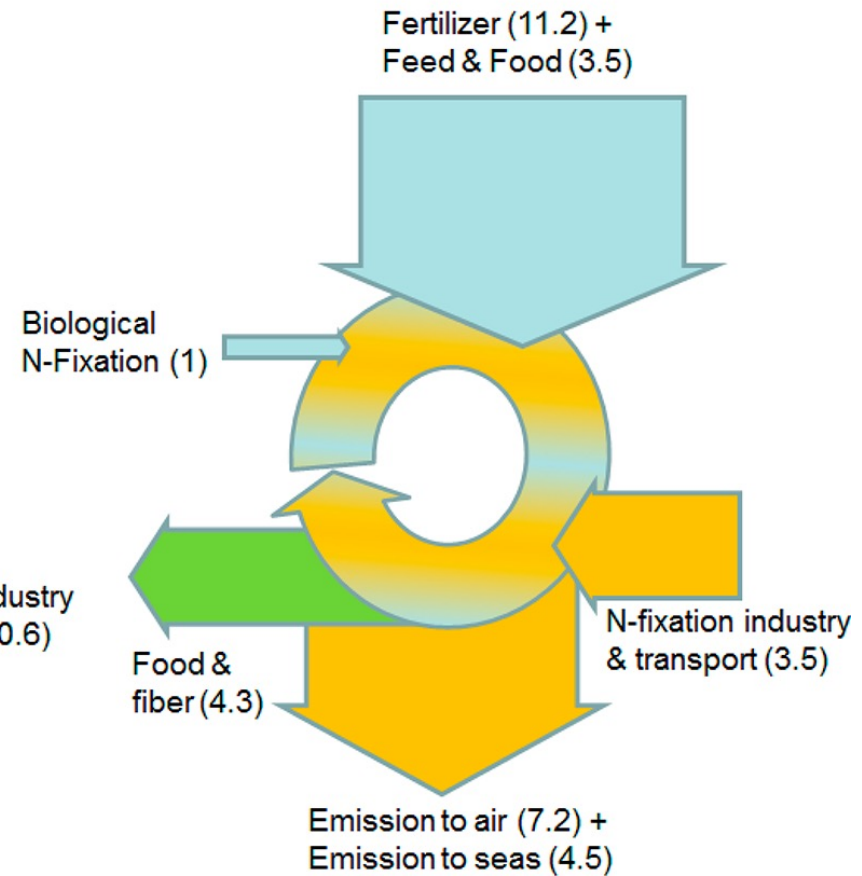
En vert : flux bénéfiques



**Europe around 1900.  
(N fluxes in TgN/yr)**



**Europe around 2000.  
(N fluxes in TgN/yr)**



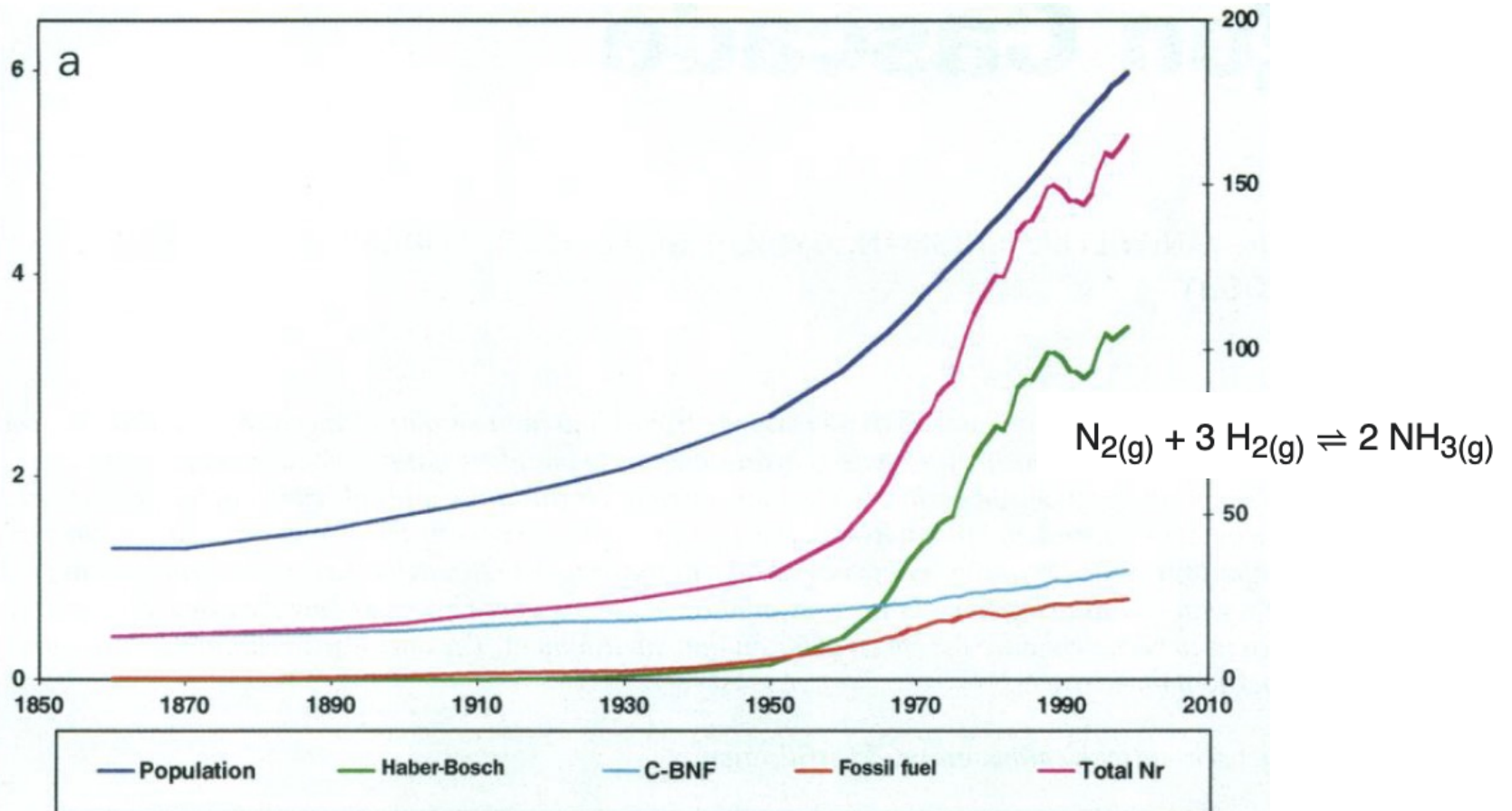
En bleu : flux anthropiques intentionnels

En orange : flux anthropiques non intentionnels

En vert : flux bénéfiques

***En Europe, les flux d'azote excédentaires ont des coûts sociaux et environnementaux estimés entre 75 et 485 milliards d'€ par an***

# PHYSICO-CHEMIE : ORIGINE DES EXCES D'AZOTE



J.N. Galloway, J.D. Aber, J.W. Erisman, S.P. Seitzinger, R.W. Howarth, E.B. Cowling, B.J. Cosby, 2003 *The Nitrogen Cascade*, *BioScience*, Vol. 53, No. 4, pp. 341-356

En bleu ciel : production d'azote réactif par fixation biologique par les cultures

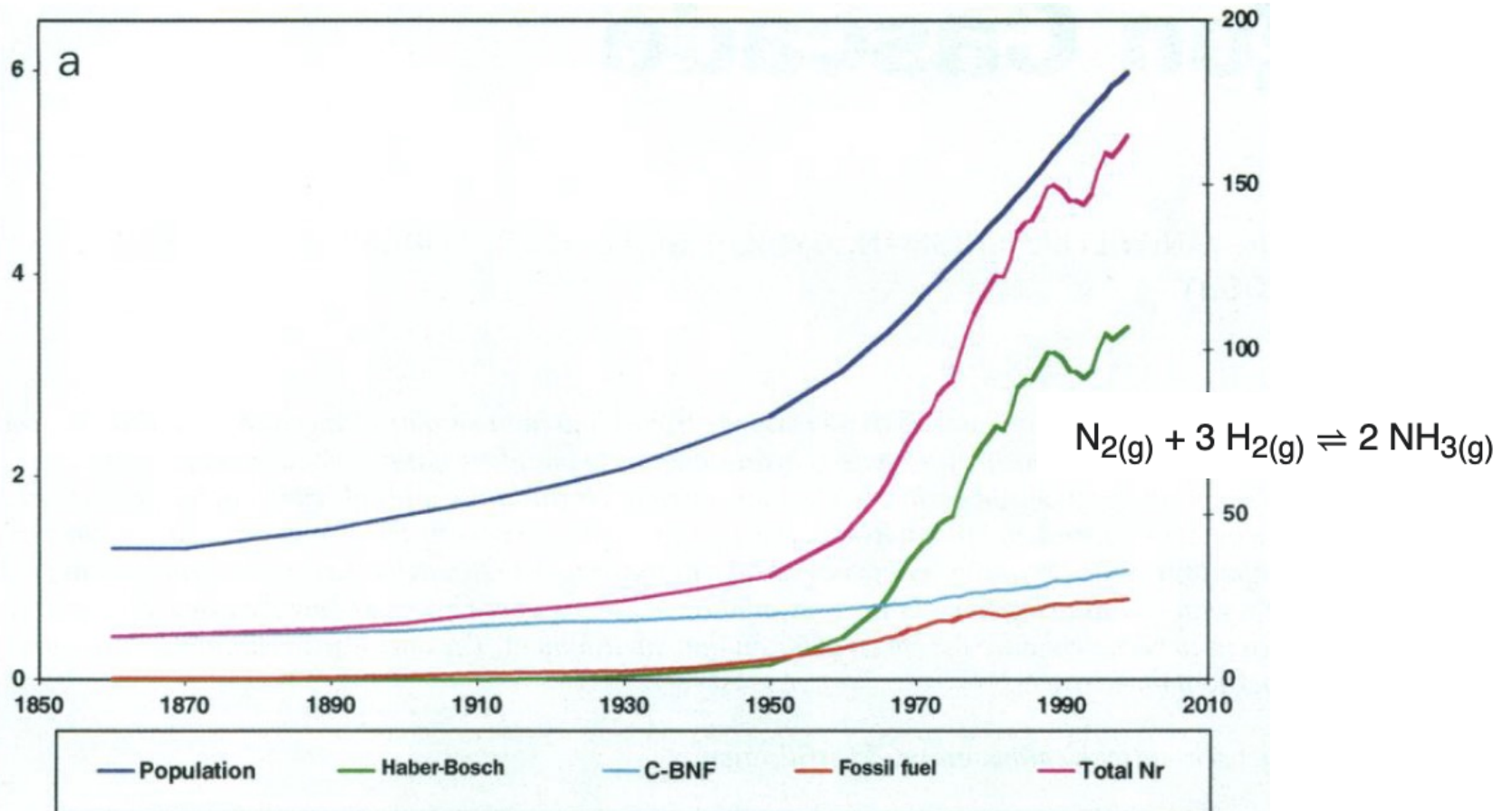
En marron : production d'azote réactif (oxydes d'azote) par la combustion d'énergie fossile

En vert : production d'azote réactif ( $NH_3$ ,  $NO_3$ ...) par le procédé Haber-Bosch Prix Nobel, 1919, 1931

En fuschia : production d'azote réactif en Tg par an

En bleu foncé : population mondiale de 1860 à 2000 (milliards d'hommes), axe gauche

# PHYSICO-CHEMIE : ORIGINE DES EXCES D'AZOTE

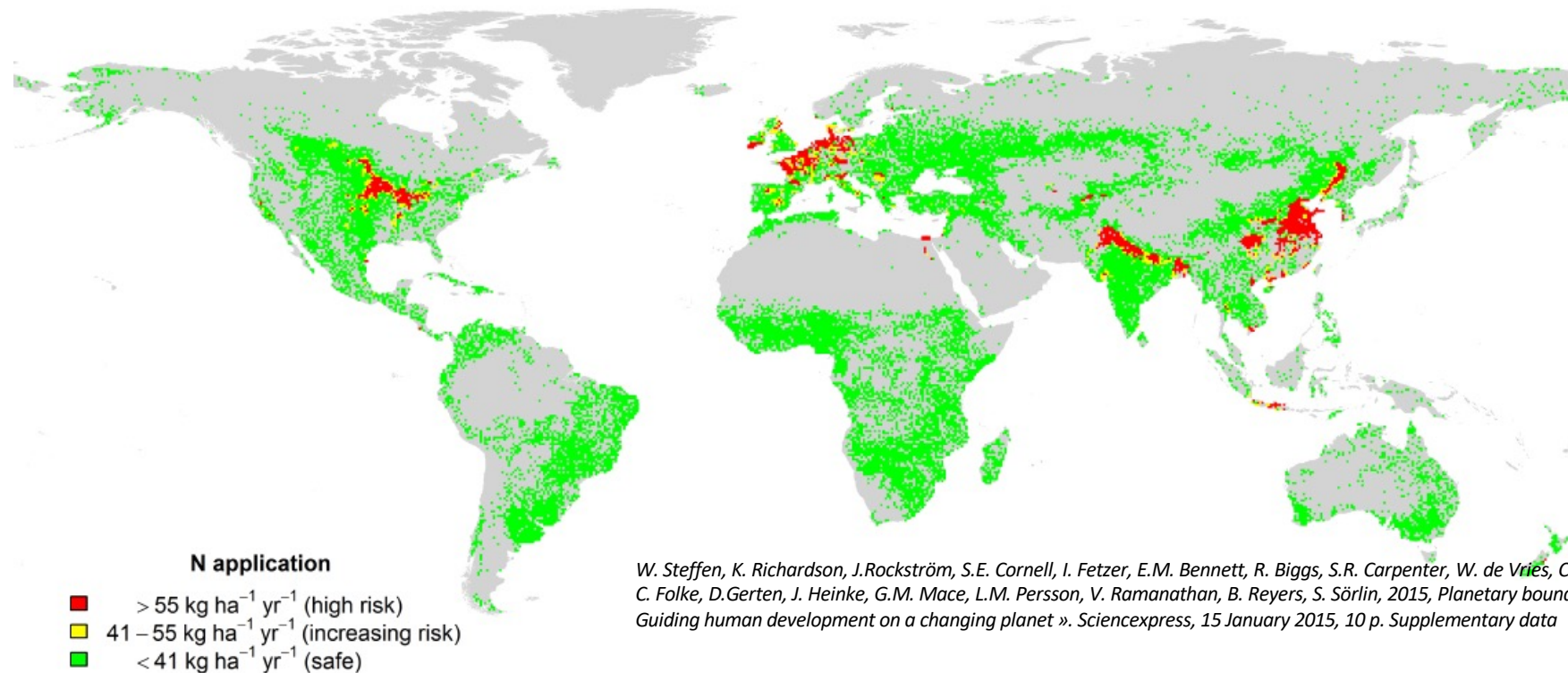


J.N. Galloway, J.D. Aber, J.W. Erisman, S.P. Seitzinger, R.W. Howarth, E.B. Cowling, B.J. Cosby, 2003 *The Nitrogen Cascade*, *BioScience*, Vol. 53, No. 4, pp. 341-356

***La production d'engrais azotés est concomitante de l'augmentation de la population mondiale : sans engrais azotés, la sécurité alimentaire ne serait plus assurée.***

# IMPACT GLOBAL : AZOTE (N)

*Excès d'azote = risque d'eutrophisation généralisée des écosystèmes aquatiques terrestres et marins, incluant l'apparition de situations hypoxiques provoquant des mortalités piscicoles*



**Seuil de risque avéré : surplus > 41 kg N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>**

**Seuil de risque élevé : surplus > 55 kg N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>**

**Surplus agricole moyen en Franche-Comté :  
entre 20 et 40 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>**

## Sources

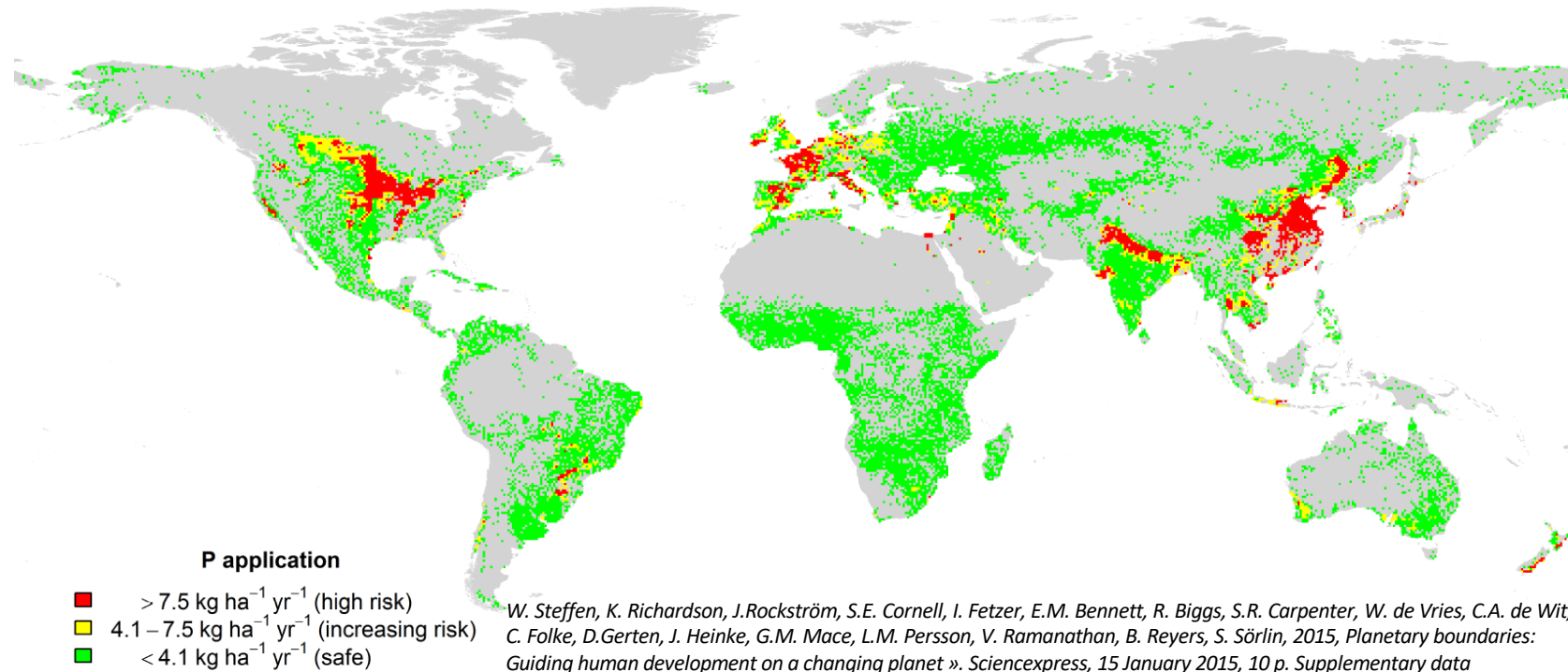
- **flux intentionnels liés à l'agriculture** (fertilisants, effluents d'élevage...)
- **dans une moindre mesure, flux non intentionnels liés à la combustion des énergies fossiles**

(Steffen et al., 2015)



# IMPACT GLOBAL : PHOSPHORE (P)

**Excès de phosphore = événement anoxique majeur dans les océans**  
**eutrophisation généralisée dans les eaux douces** (Steffen et al., 2015)



**Seuil de risque avéré : surplus  $> 4,1 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$**

**Seuil de risque élevé : surplus  $> 7,5 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$**

**Surplus agricole en Franche-Comté  
entre 0 et  $4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$**

## Sources

- **pratiques agricoles** (fertilisants, effluents d'élevage) et
- **eaux usées urbaines** (déjections et détergents) dans une moindre mesure

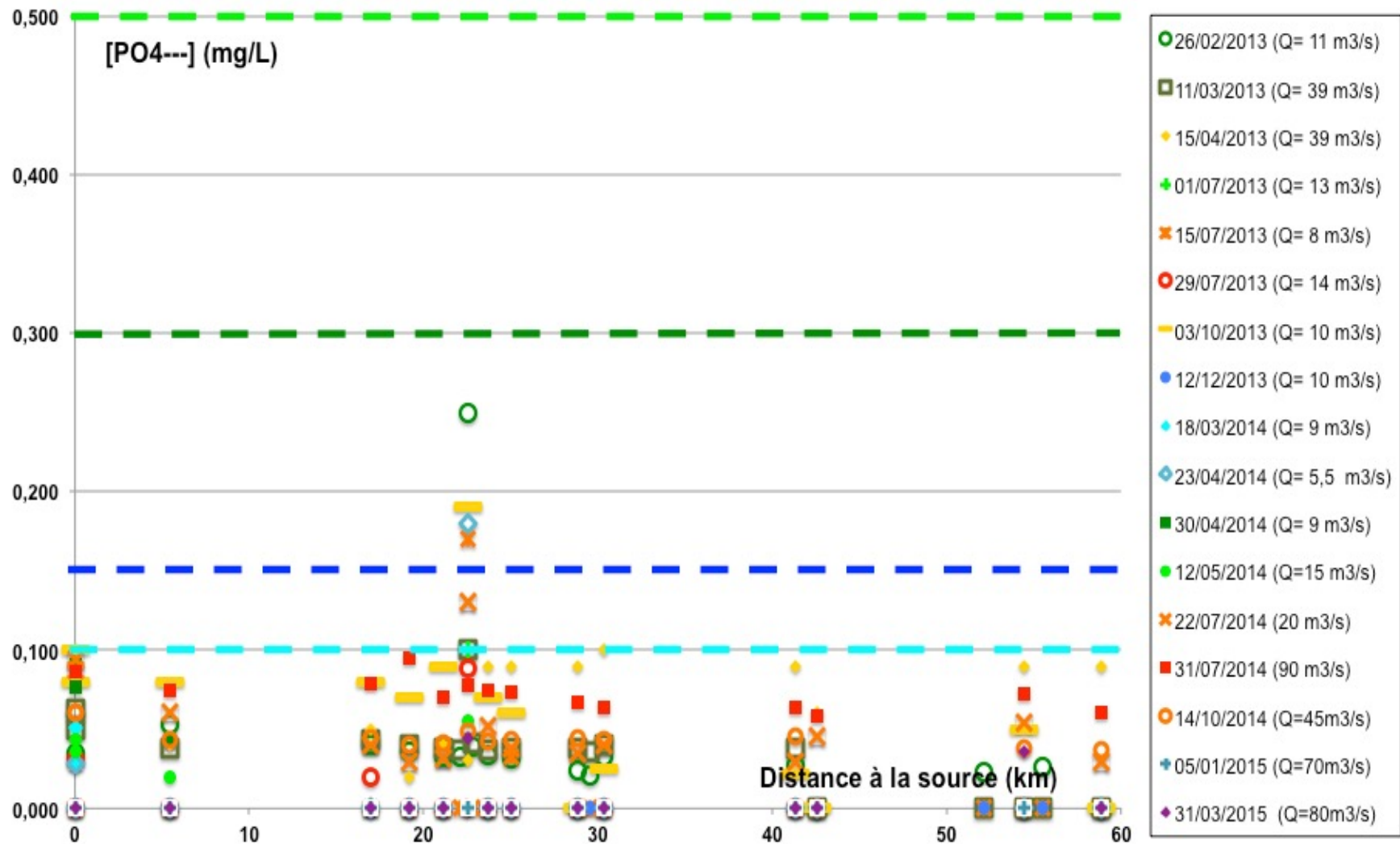
# CONCENTRATIONS NATURELLES CONCENTRATIONS MAXIMALES ADMISSIBLES EN N ET P

dans des cours d'eaux similaires à ceux du bassin Haut-Doubs Haute Loue

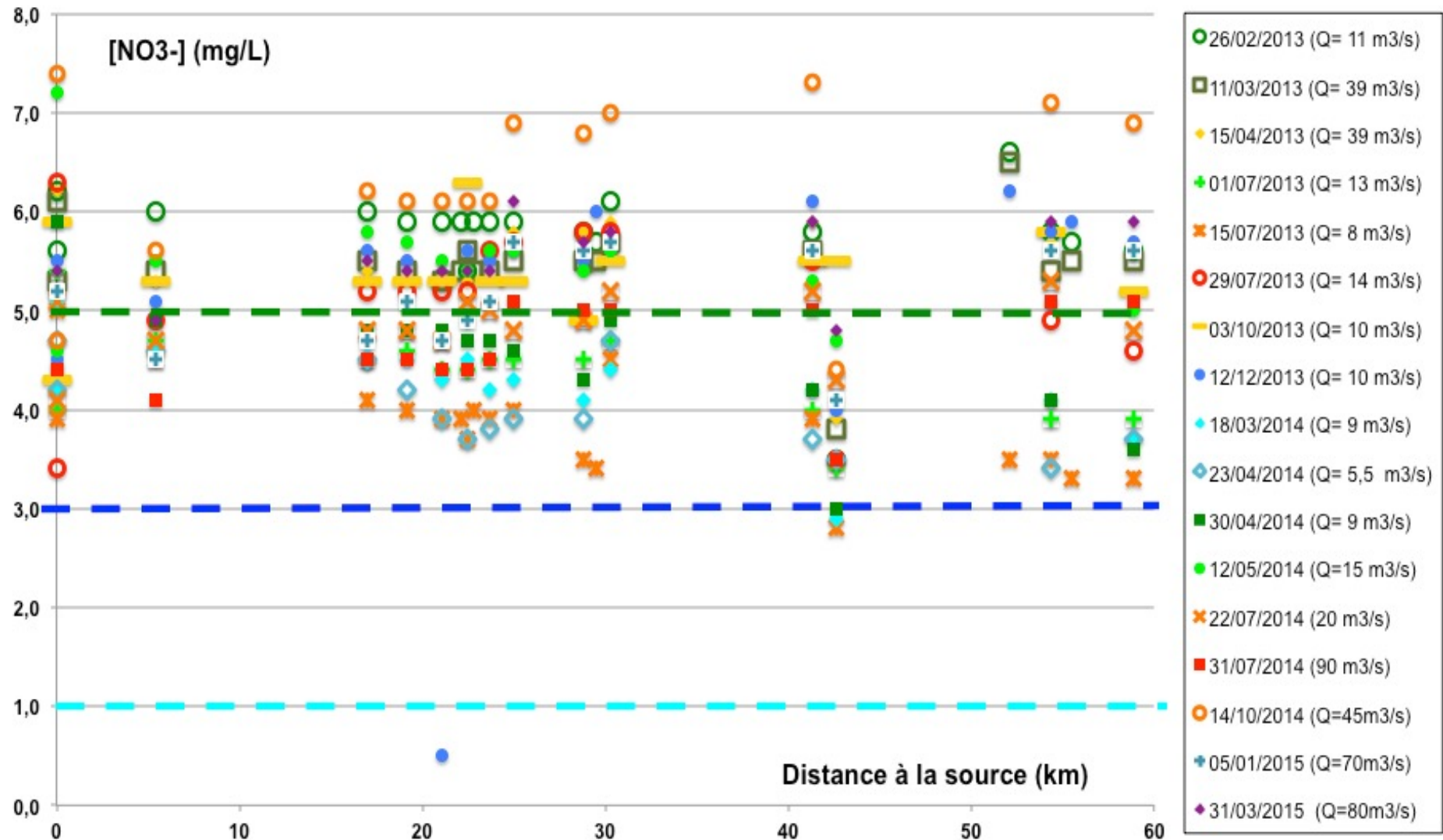
<i>AZOTE</i>	Concentrations naturelles	Concentrations max. admissibles
Nitrates	0,3 à 3 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	1,3 à 3,5 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>
Azote total	0,15 à 0,68 mg N L <sup>-1</sup>	0,21 à 0,70 mg N L <sup>-1</sup>
<i>PHOSPHORE</i>	Concentrations naturelles	Concentrations max. admissibles
Phosphates	0,010 à 0,100 mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> L <sup>-1</sup>	0,021 à 0,184 mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> L <sup>-1</sup>
Phosphore total	0,015 à 0,034 mg P L <sup>-1</sup>	0,020 à 0,106 mg P L <sup>-1</sup>

*À partir de l'analyse de la littérature scientifique (publications internationales > 100)*

# PHYSICO-CHEMIE PHOSPHORE



**PHOSPHORE** : Evolution spatio-temporelle des concentrations d'orthophosphates dans l'eau de la Loue mesurées à 17 reprises de 2013 à 2015



**AZOTE : Evolution spatio-temporelle des concentrations de nitrates dans l'eau de la Loue mesurées à 17 reprises entre 2013 et 2015**



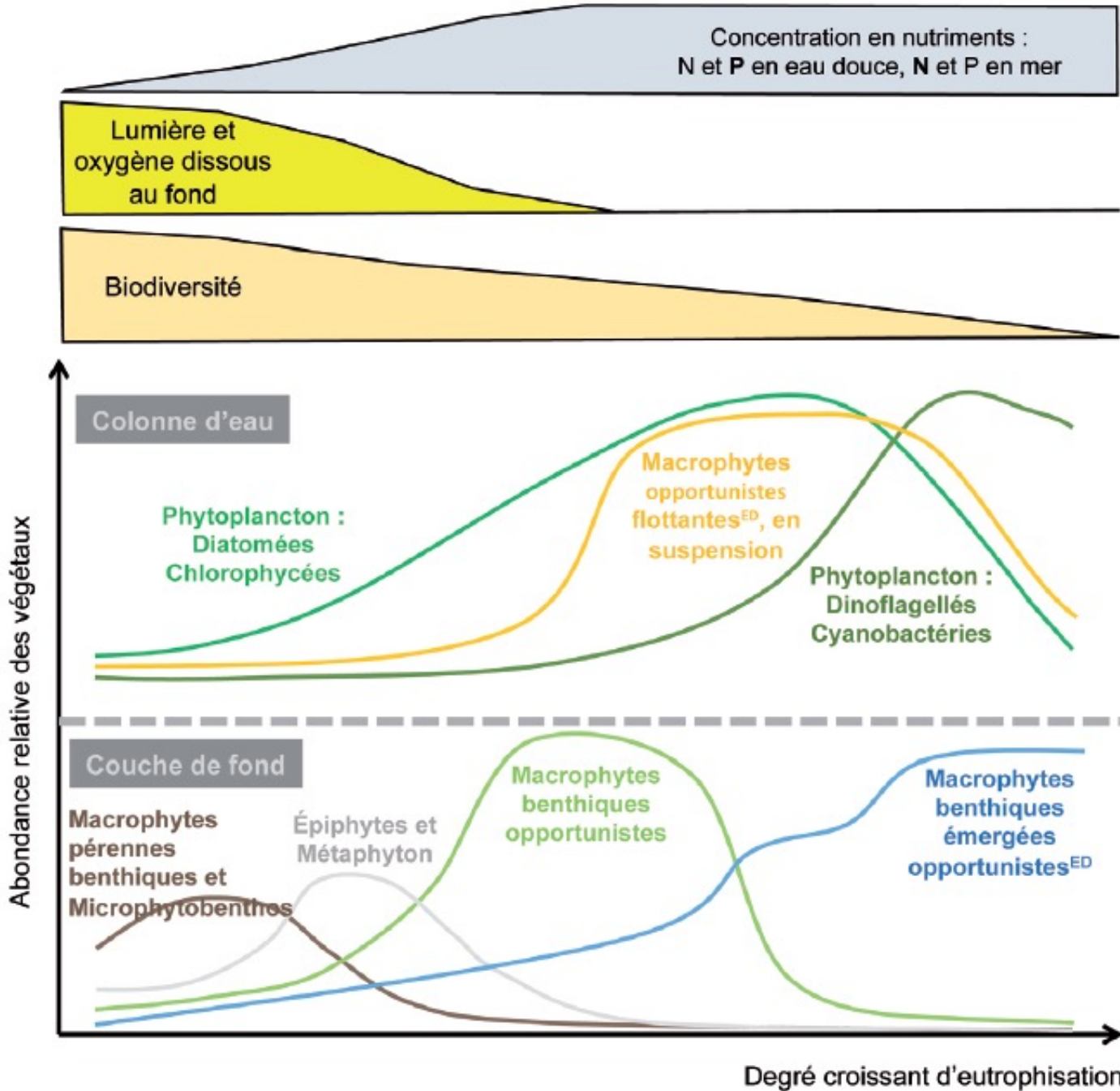
# DEGRADATION DE LA QUALITE DES RIVIERES KARSTIQUES

---

- Régression des populations de **poissons**, notamment des Salmonidés
- Forte régression des communautés **d'invertébrés benthiques**
- Prolifération **algale**

**LES CONCENTRATIONS EN NUTRIMENTS AZOTES ET PHOSPHORES  
SONT NETTEMENT SUPERIEURES AUX SEUILS AU DELA DESQUELS  
APPARAISSENT LES PHENOMENES D'EUTROPHISATION**

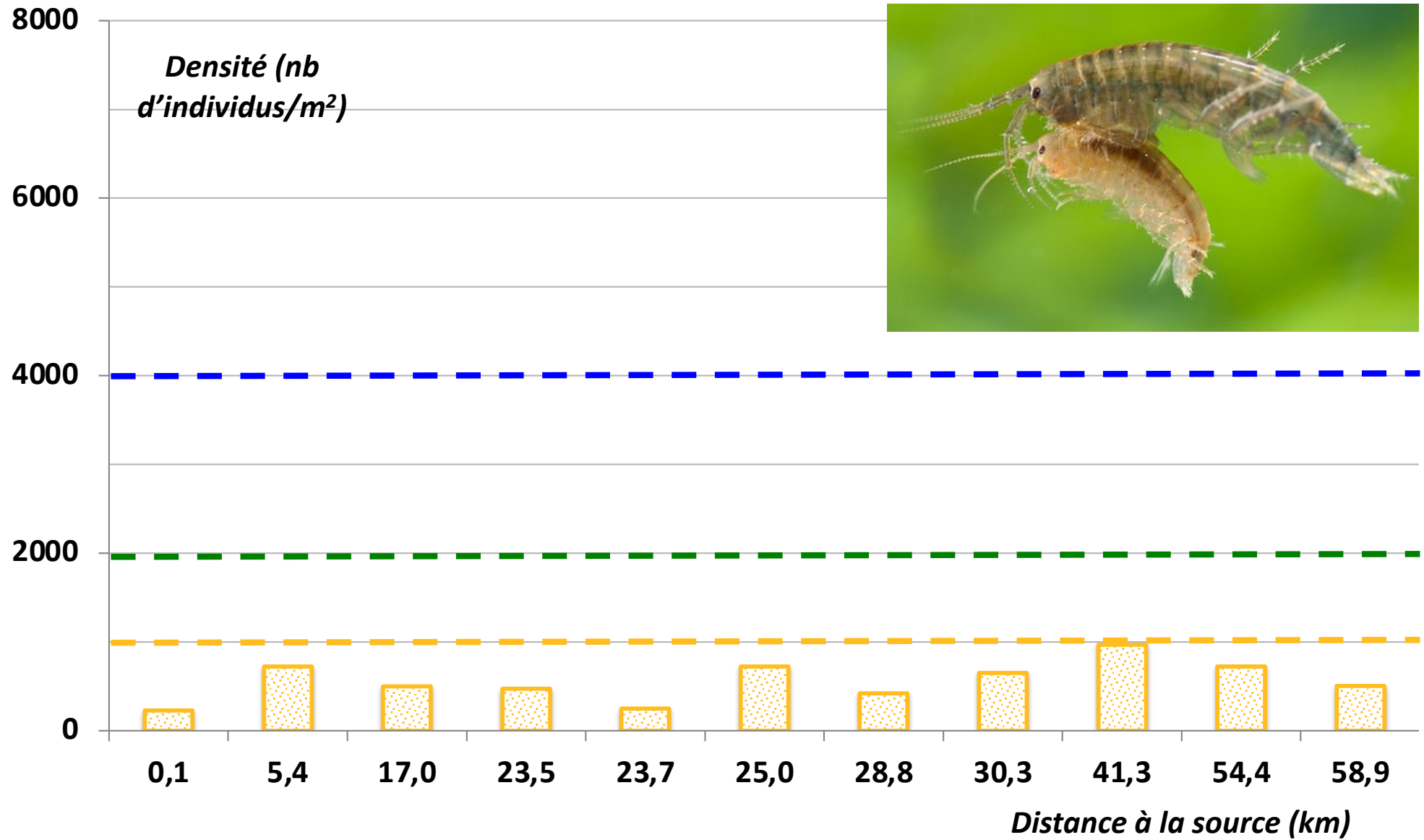
# EUTROPHISATION ANTHROPIQUE



*échelles de temps courtes (jours, mois, années)*

**Syndrome présenté par un écosystème aquatique en lien avec la surproduction de matières organiques, induite par des apports anthropiques excessifs de phosphore et d'azote sous l'effet des activités humaines**

G. Pinay, C. Gascuel, A. Menesguen, Y. Souchon, M. Le Moal, A. Levain, F. Moatar, A. Pannard, P. Souchu, 2017 L'eutrophisation : manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Synthèse de l'Expertise scientifique collective CNRS - Ifremer - INRA - Irstea, [http://www.cnrs.fr/inee/communication/brevs/docs/Eutrophisation\\_synthese.pdf](http://www.cnrs.fr/inee/communication/brevs/docs/Eutrophisation_synthese.pdf)



***Densité des gammares en 2012***

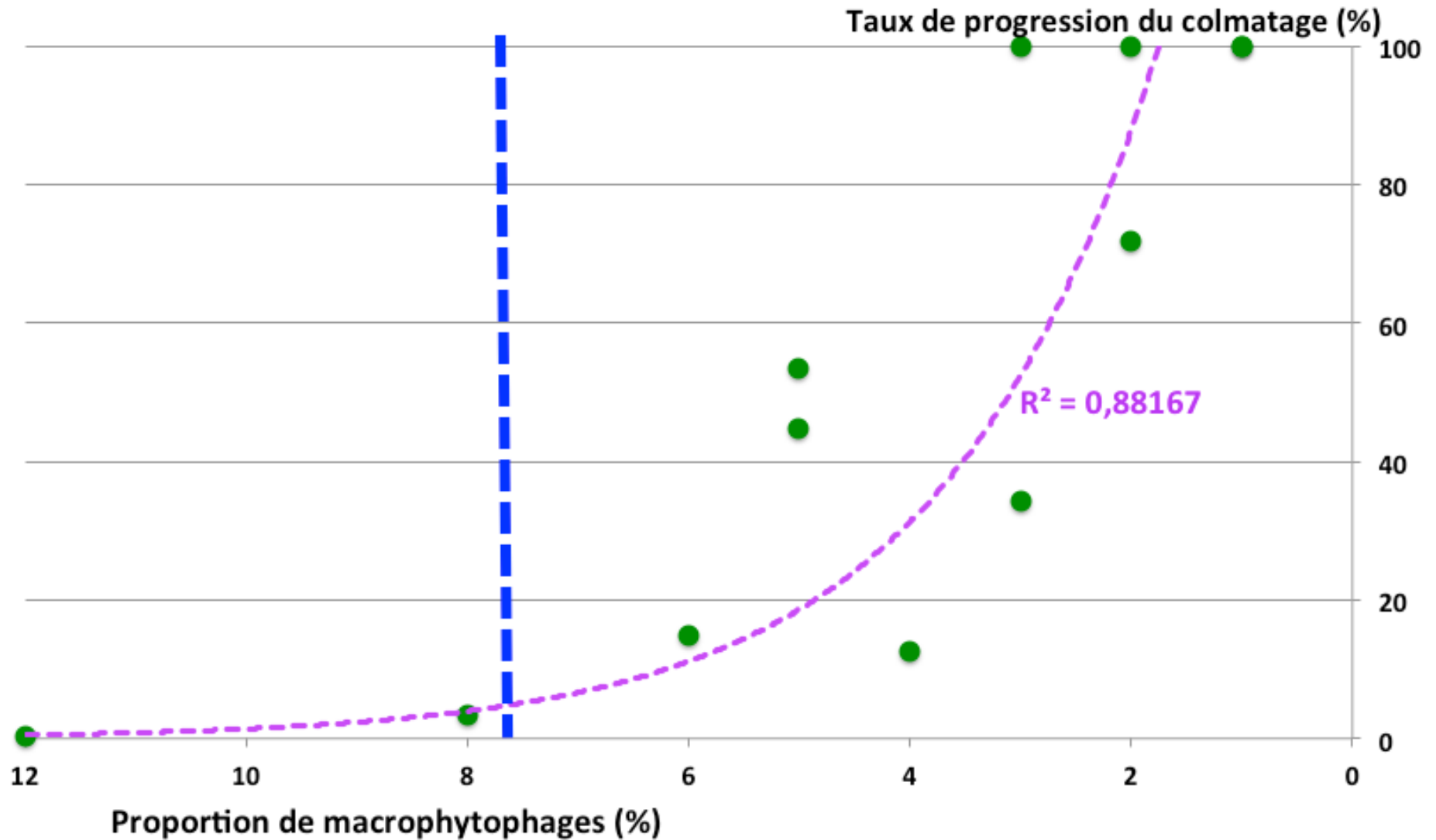
## CONTAMINATION PAR DES POLLUANTS CHIMIQUES ?

Taxon	Evolution spatiale	Evolution temporelle	Moyenne	Bibliographie : Clauge, Drugeon (Mouthon, 2012)
<i>Ancylus fluviatilis</i>	Absent à Cléron	→	10/m <sup>2</sup>	2 500/m <sup>2</sup> 100/m <sup>2</sup>
<i>Radix</i>	→	↘	22 /m <sup>2</sup>	360/m <sup>2</sup> 795 /m <sup>2</sup>
<i>Potamopyrgus</i>	Présent à Vuillafans	→	5/m <sup>2</sup>	2 450/m <sup>2</sup> -
<i>Bithynia</i>	Présent à Chenecey-Buillon	Disparition en juillet	2/m <sup>2</sup>	413/m <sup>2</sup> 160/ m <sup>2</sup>
<i>Gyraulus</i>			1/m <sup>2</sup>	22/m <sup>2</sup> 88/m <sup>2</sup>

**INDICES DE CONTAMINATION** par des phytosanitaires et/ou biocides : **très faibles densités** de macrophytophages malgré **de fortes accumulations de biomasse primaire (algues...)**



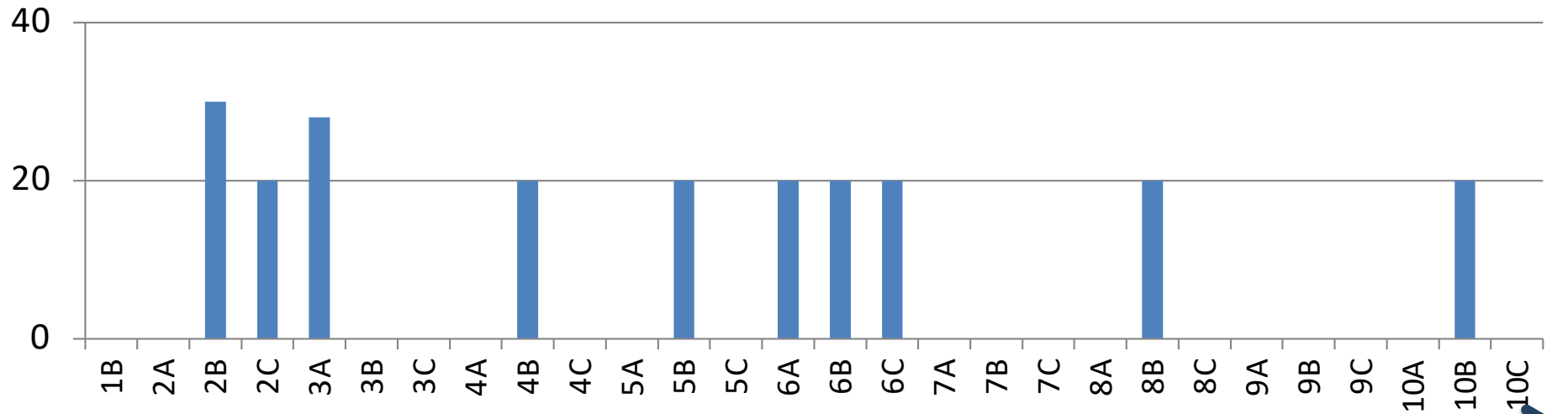
# RÔLE DES CONSOMMATEURS



*Suivi de la progression du colmatage sur 4 stations*

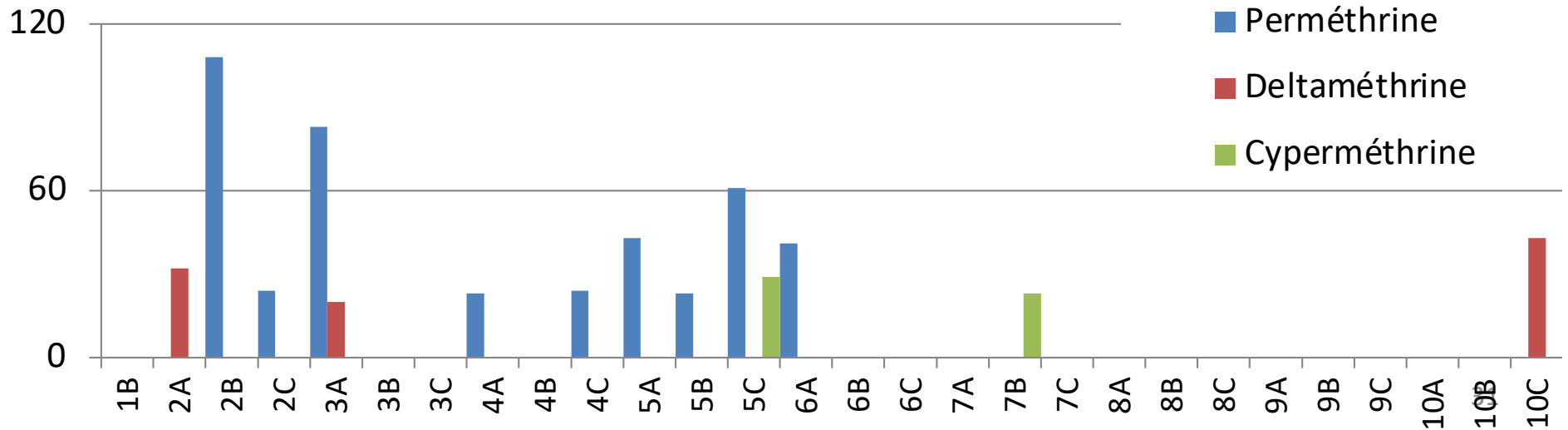
# CHIMIE DES SÉDIMENTS

## Chlorpyrifos ( $\mu\text{g}/\text{kg MS}$ )

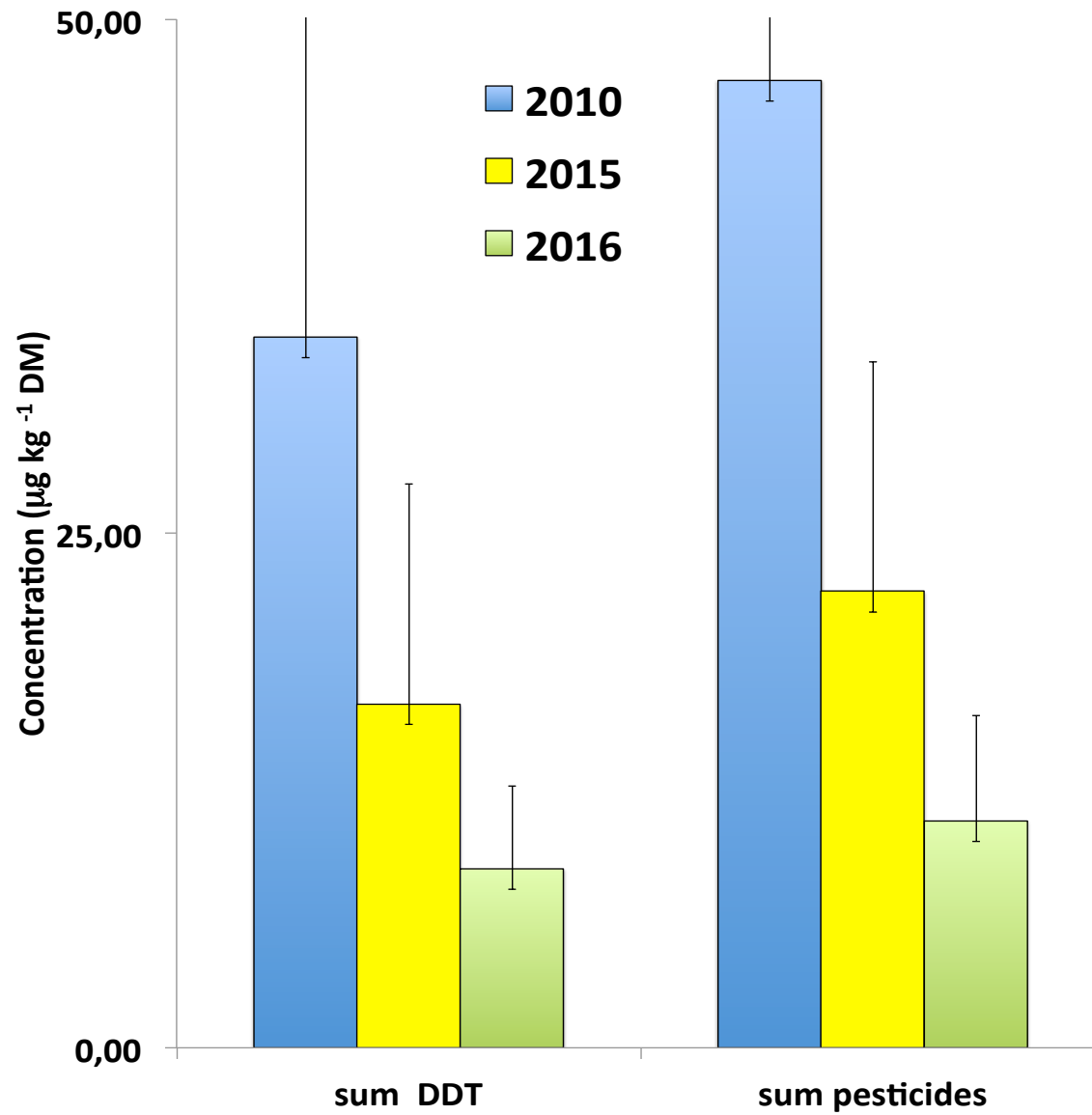


*De la station N°1 (Source) à N° 10 (Cessey à 60 km ) avec 3 réplicats par station*

## Pyréthriinoïdes ( $\mu\text{g}/\text{kg MS}$ )



# CONTAMINATION CHIMIQUE



**Les poissons sont contaminés par des pesticides.**

## Polluants « anciens », actuellement interdits, mais toujours présents

**DDT**  
**lindane**

dieldrine, heptachlore, hexachlorobenzène, perméthrine, chlorpyrifos, atrazine, propiconazole...

## Phytoprotecteurs et biocides autorisés

pyréthrinoides, pendiméthaline, imidaclopride...

## Autres contaminants : hydrocarbures, résidus médicamenteux...

**HAP** dans les MES et sédiments (voies routières, retombées atmosphériques...)

**Métaux** ponctuellement dans les rejets de STEP + rejets non identifiés (Ornans)

**Résidus médicamenteux humains et vétérinaires** (rejets de STEP, effluents d'élevage ?)

Solvants, Personal Care Products, Plastifiants, Perturbateurs endocriniens...



# CONTAMINATION CHIMIQUE

Chez des vaches laitières traitées à la **cyperméthrine, antiparasitaire insecticide**, les concentrations dans les fèces sèches peuvent atteindre des niveaux de **5 mg kg<sup>-1</sup>** entre le premier et le quatrième jour après le traitement et étaient présentes jusqu'à 3 mois après une dose unique d'administration à une concentration d'environ **10 µg kg<sup>-1</sup>**.

Virlouvét et Bichon, *Toxicological & Environmental Chemistry* Volume 88, 2006 - Issue 3)



*La Loue à Quingey ...*



*Le Drugeon à Bouverans*

***Transfert d'antiparasitaires***

# ORIGINE DES EXCES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE

---

## Etude du fonctionnement des sols agricoles : design expérimental

- **2 bassins versants représentatifs** Grand Bief (Chasnans), Plaisir-Fontaine (Trépôt, Bonnevaux)
- **4 modalités** représentatives et susceptibles de renseigner sur l'influence des pratiques agronomiques et de la profondeur des sols, **3 réplicats** par modalité :
  - **prairie permanente** sur sol moyennement profond (PP)
  - culture après retournement de prairie sur sol moyennement profond (CP)
  - prairie permanente sur sol très superficiel (PS) culture après retournement de prairie sur sol très superficiel (CS)
  - culture après retournement de prairie sur sol très superficiel (CS)



Installation de 24  
plaques lysimétriques

Durée 3 années

Clichés E. Lucot

# ORIGINE DES EXCES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE

## Comparaison des flux de nitrates traversant les sols agricoles

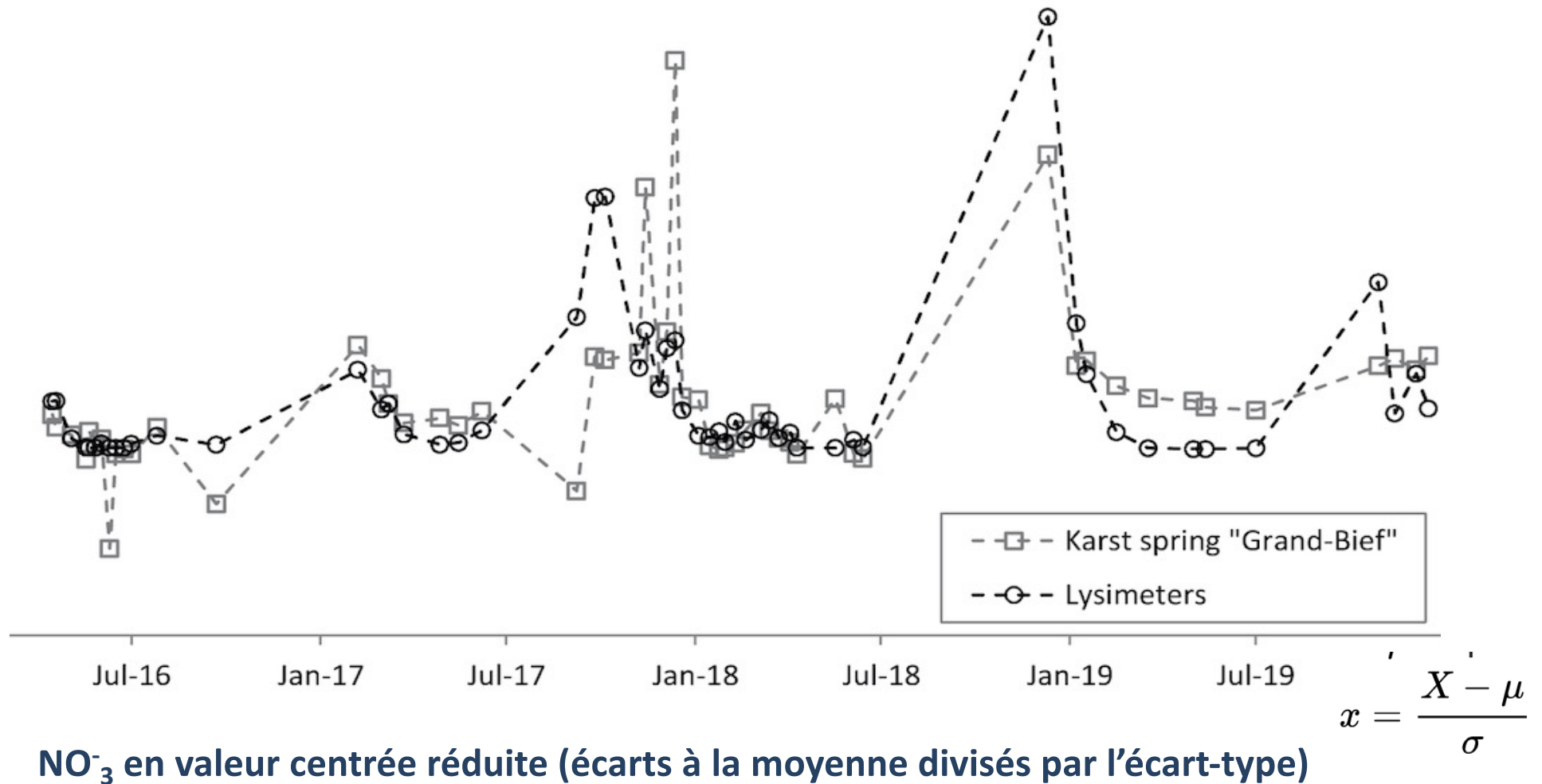
NO3-N (kg.ha-1)





# ORIGINE DES EXCES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE

**Concomitance** des variations temporelles des nitrates dans les eaux lysimétriques (issus des sols) à Chasnans et des nitrates dans le ruisseau du Grand Bief



# ORIGINE DES DYSFONCTIONNEMENTS

## Modification graduelle des pratiques sur les bassins versants karstiques

**INTENSIFICATION**

Changement de mise en valeur agricole



Labours, surface ↑, fréquence ↑



← oxygénation, porosité

Minéralisation accrue (=décomposition) de la matière organique du sol



Libération de formes solubles  
de l'azote réactif ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ )

← Épandages lisier

Sans couvert végétal  
milieu karstique



nappes et cours d'eau



Avec couvert  
végétal

végétation

**BIOMASSE ALGALE** ↑



$\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  ↑

rendement ↑

**DYSFONCTIONNEMENT DES MILIEUX AQUATIQUES**



## ***Participations. Remerciements***

### **COMITE DE PILOTAGE**

#### **Agence Eau Rhône Méditerranée Corse**

Vincent PORTERET  
Olivier NADOBNY  
Johann GRANADOS  
Didier ROUSSET  
Valérie PAUL  
Thierry MARGUET  
Vivien ROSSI  
Stéphanie ADAM  
Thibaud GOLZNE  
Stéphane STROFFEK

...

#### **CRFC / CRBFC**

Michel HALLIEZ  
Agnes COMPAGNE  
Guillaume PATOIS  
Antoine WEROCHOWSKI

...

#### **CG25 / CD25**

Cyril THÉVENET  
Anne ROUSSOT  
Benoit VERNIER  
Thomas DAUDEY

...

#### **Université de Franche-Comté**

**Pierre-Marie BADOT**  
**François DEGIORGI**

### **INVITES AUX COPIIL**

#### **DREAL**

Elodie RECCHIA  
Eric PARMENTIER  
Laurent SOUCHAUD

#### **EPTB**

Pauline LEPEULE  
Vincent FISTER

#### **DDT**

Christian SCHWARTZ  
Marie KINTZ  
Yannick CADET

--

Jean-François HUMBERT  
Eric VINDIMIAN  
Marc BABUT  
Jean-Claude AMIARD

#### **AFB**

Anne-Laure BORDERELLE  
Pascal COMPAGNAT  
Julien BOUCHARD

...

### **PARTENAIRES**

#### **CA 25-90**

Didier TOURENNE  
GAECs

#### **BRGM**

Jean-Baptiste CHARLIER  
Aurélien VALLET  
Manuel PARIZOT

#### **CCI 25**

Gérard MARION  
Claire NICOLAS

#### **Associations**

Alexandre CHEVAL  
Christian ROSSIGNON + Fédé 25  
Jean-Noel RESCH  
...

#### **TELEOS**

Hervé DECOURCIERE  
Jonathan PARIS

#### **BI-EAU**

Maria LEITAO

#### **ISA CNRS-Univ Lyon**

Audrey BULETE

#### **EPFL-ISTE**

Felippe DEALENCASTRO  
Dominique GRANDJEAN

#### **AB Analytics**

Blaise ALLEMAN

#### **QUALIO**

Bernard BOTELLA

...

### **UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ (SCIENTIFIQUES)**

Eric LUCOT  
Audrey BOLARD  
Axelle CHIFFRE  
Etienne CHANEZ  
Alexia DUCROT  
Jean-Claude LAMBERT  
Nadia CRINI  
Caroline AMIOT  
Christophe LOUP  
Marc STEINMANN  
Jacques MUDRY

#### **Stagiaires MASTER QuEST**

Alexandre DECAMPS  
Amandine POUPENEY  
Thibaud ROTA  
Fulgence ALLOGHO ONDO  
Pierre DESMARET  
Johan BESNOIT  
Louise DUCRET  
Clémence BAS  
Tsitohaina ANDRIANTSOAVINA  
José ARROYO SANCHEZ  
Emmanuelle VACELET  
Victor FROSSARD  
Marion CAQUEUX  
Benoit MARTIN  
Luce MALVERTI  
Romain TRIPONEZ  
Benoit ROLLIN  
Michel BACCHI

Les étudiants du Master QUEST  
SABV des promotions 2012 à 2018  
inclus.



***MERCI DE VOTRE ATTENTION***