

# Évaluation écotoxicologique des sédiments du lac Saint-Augustin: Proposition d'une approche intégrée



Séminaire pour l'obtention du grade maître *es sciences*  
18 novembre 2005

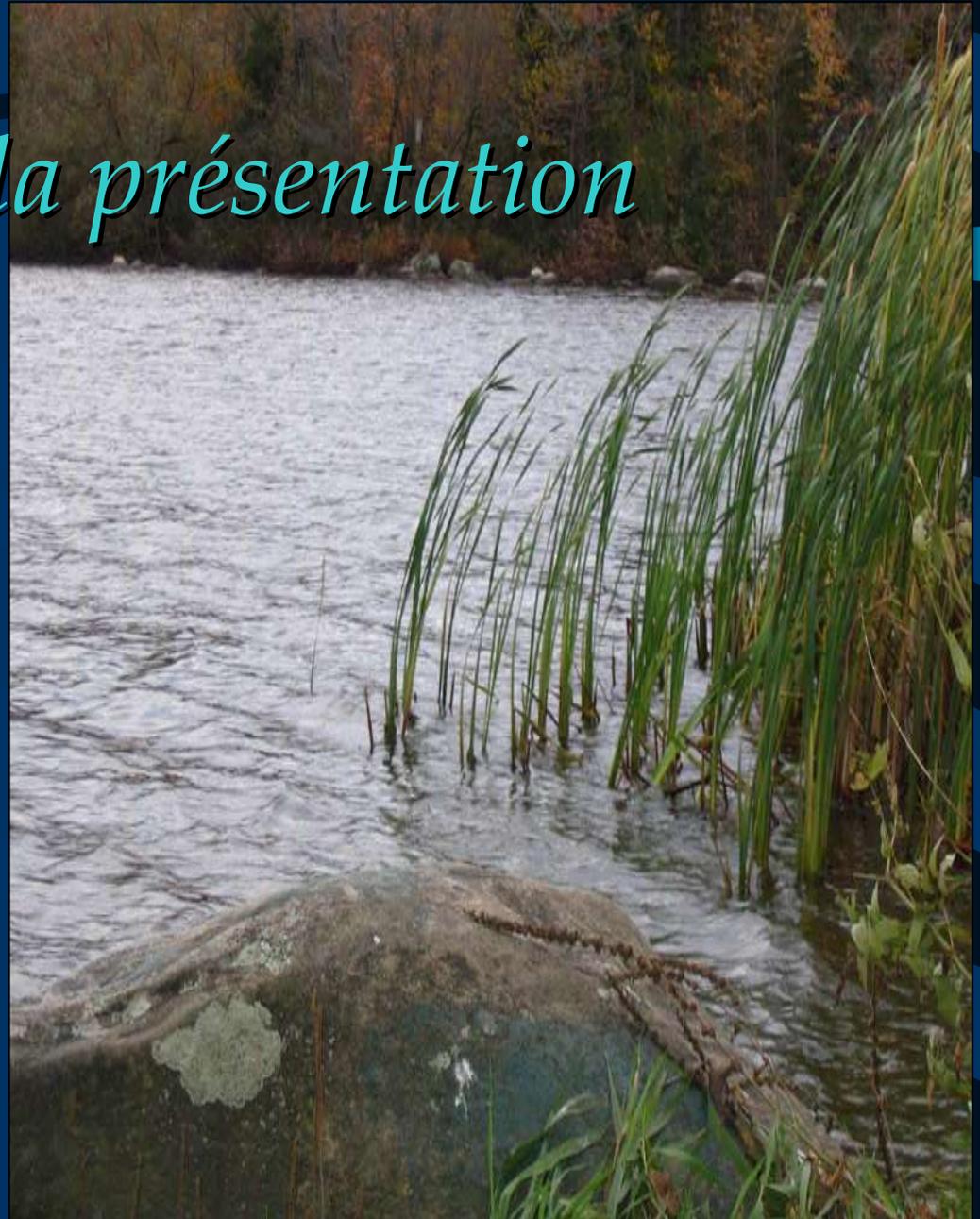
*Marie-Eve Brin*

Professeur: Mme Rosa Galvez-Cloutier (Université Laval)

Co-directeur: M. Louis Martel (CEAEQ)

# *Plan de la présentation*

- 1- Introduction
- 2- Hypothèses
- 3- Objectifs
- 4- Méthodologie
- 5- Résultats
- 6- Synthèse et recommandations



# 1. Introduction sur les sédiments contaminés

- Sédiments sont des réservoirs + ou - temporaires pour les contaminants.
- Matière organique, argile et les oxydes de fer constituent des éléments sensibles à l'équilibre Eh-pH et à la composition ionique.
- Des études antérieures démontrent la présence des ETM et du phosphore dans les sédiments du lac St-Augustin.



# *1. Présentation du lac Saint-Augustin*



21L-36

1: 15000

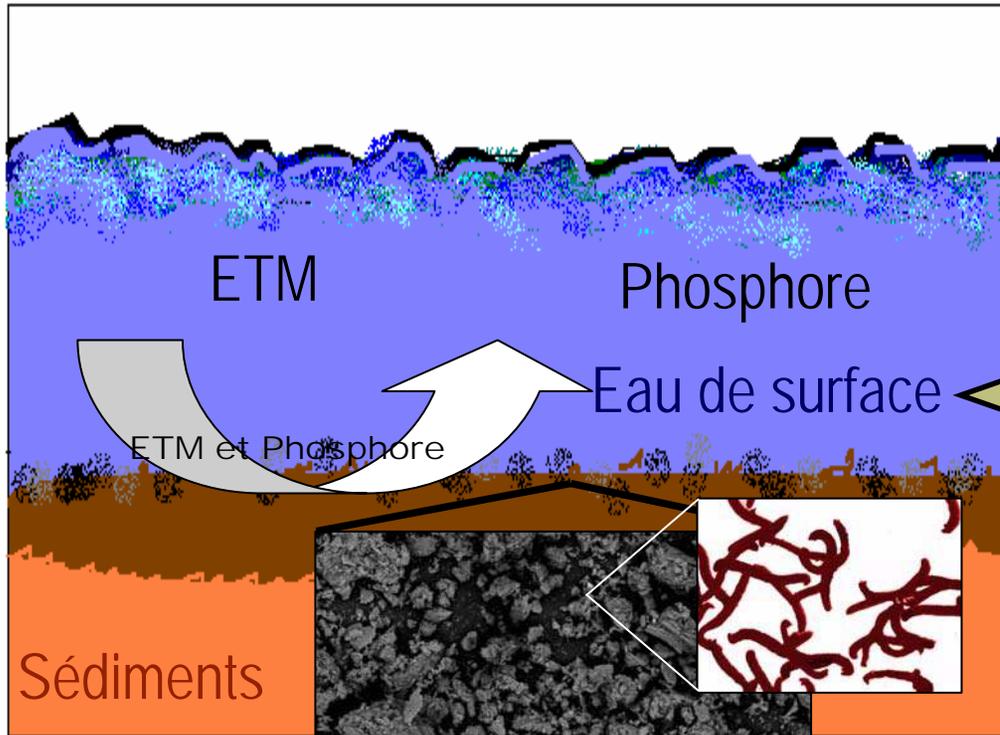
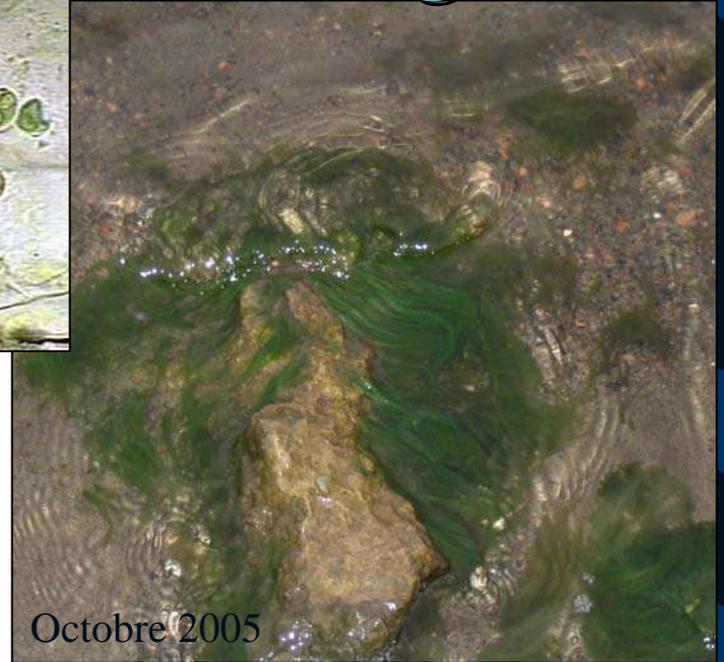
28 JUN 1981

Q81521-

64

# 1. Problématique du lac St-Augustin

Cyanobactéries et toxines



Hypolimnion anoxique

Risque de relargage et de resolubilisation

# 1. Notions de biodisponibilité

- a) *Disponibilité environnementale*: réfère à la mobilité et à la persistance environnementale des contaminants.   
→ *Spéciation*: distribution d'espèces chimiques d'un même élément.
- b) *Biodisponibilité environnementale (ou massique)*: Fraction disponible pour absorption par les organismes.
- c) *Biodisponibilité toxicologique (ou bioréactive)*: Fraction qui atteint un site récepteur et entraîne une réponse de l'organisme.

## *2. Hypothèses de recherche*

1. Les sédiments contribuent à l'introduction de phosphore biodisponible.
2. Les niveaux des ETM dans les sédiments présentent un risque écotoxicologique.
3. Une approche d'évaluation intégrée de la biodisponibilité peut décrire la nocivité des ETM des sédiments dans un système lacustre.

### *3. Objectifs de recherche*

1. Évaluer la disponibilité environnementale du phosphore contenu dans les sédiments.
2. Évaluer la disponibilité environnementale et la biodisponibilité toxicologique (écotoxicité) des ETM présents dans les sédiments.
3. Intégrer la disponibilité environnementale et l'écotoxicité afin de proposer un approche d'évaluation du niveau de nocivité associé aux ETM dans des sédiments.

# 4- Méthodologie

## Schéma global de recherche

Échantillonnage des sédiments

Physico-chimie des sédiments

Biodisponibilité  
du phosphore des  
sédiments

Mobilité et  
biodisponibilité  
des ETM dans les  
sédiments

Spéciation chimique  
et écotoxicité  
⇒ approche  
d'évaluation

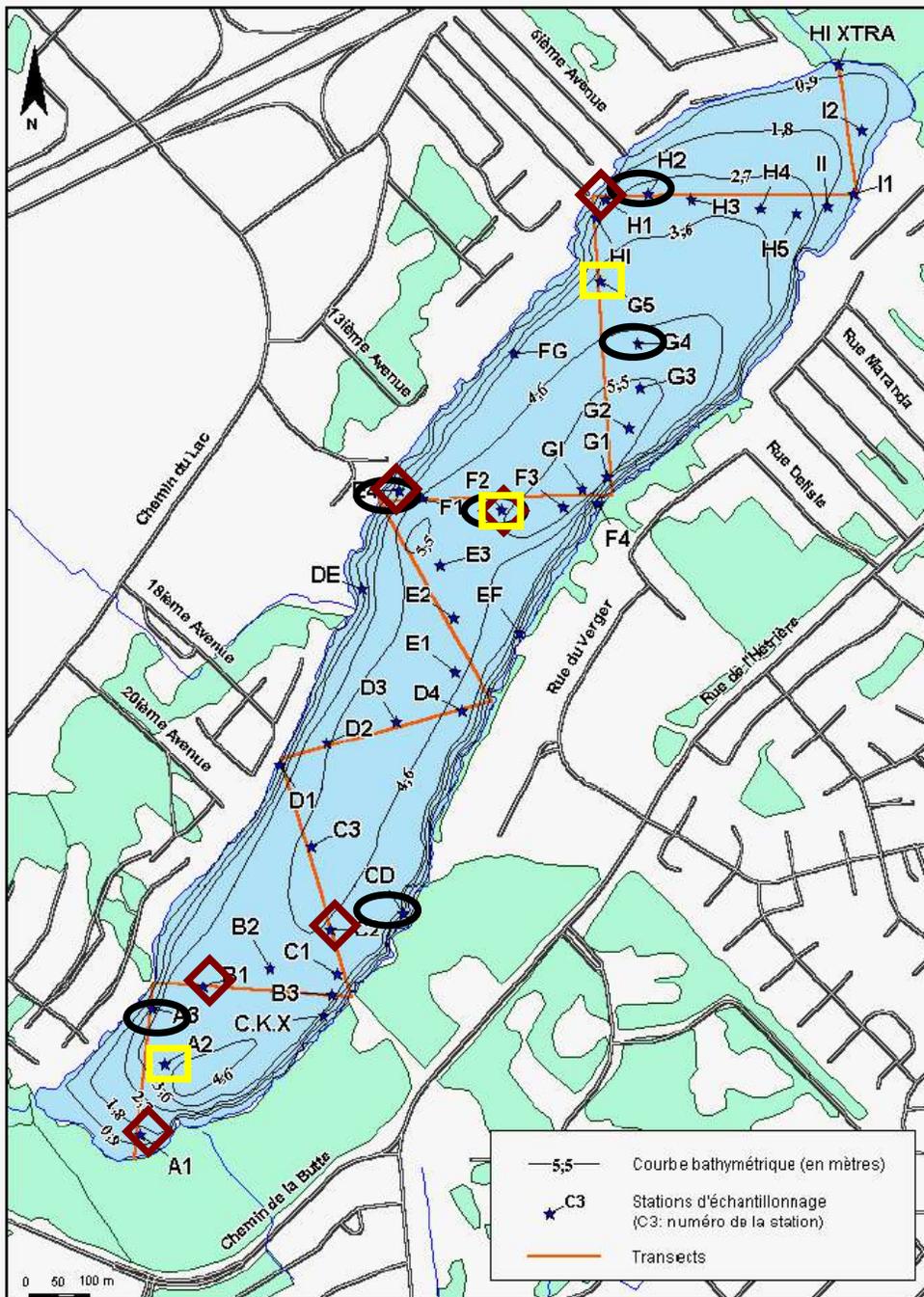
- 1) Phosphore total.
- 2) ES phosphore.
- 3) Croissance algue = tests toxicologiques.

- 1) Concentrations totales.
- 2) ESS pour ETM.
- 3) Tests toxicologiques.
- 4) Essais de relargage en  $f(x) \Delta$  de la physico-chimie.

- 1) Proposer approche d'évaluation biodisponibilité.
- 2) Intégrer données chimiques + tox.

# 4 – Points d'échantillonnage

- 1) Caractérisation = 42  
Extraction séquentielle ETM = 28
- 2) Extraction sélective du phosphore = 6
- 3) Tests toxicologiques sur l'eau interstitielle = 6
- 4) Essais de relargage et tests toxicologiques = 3

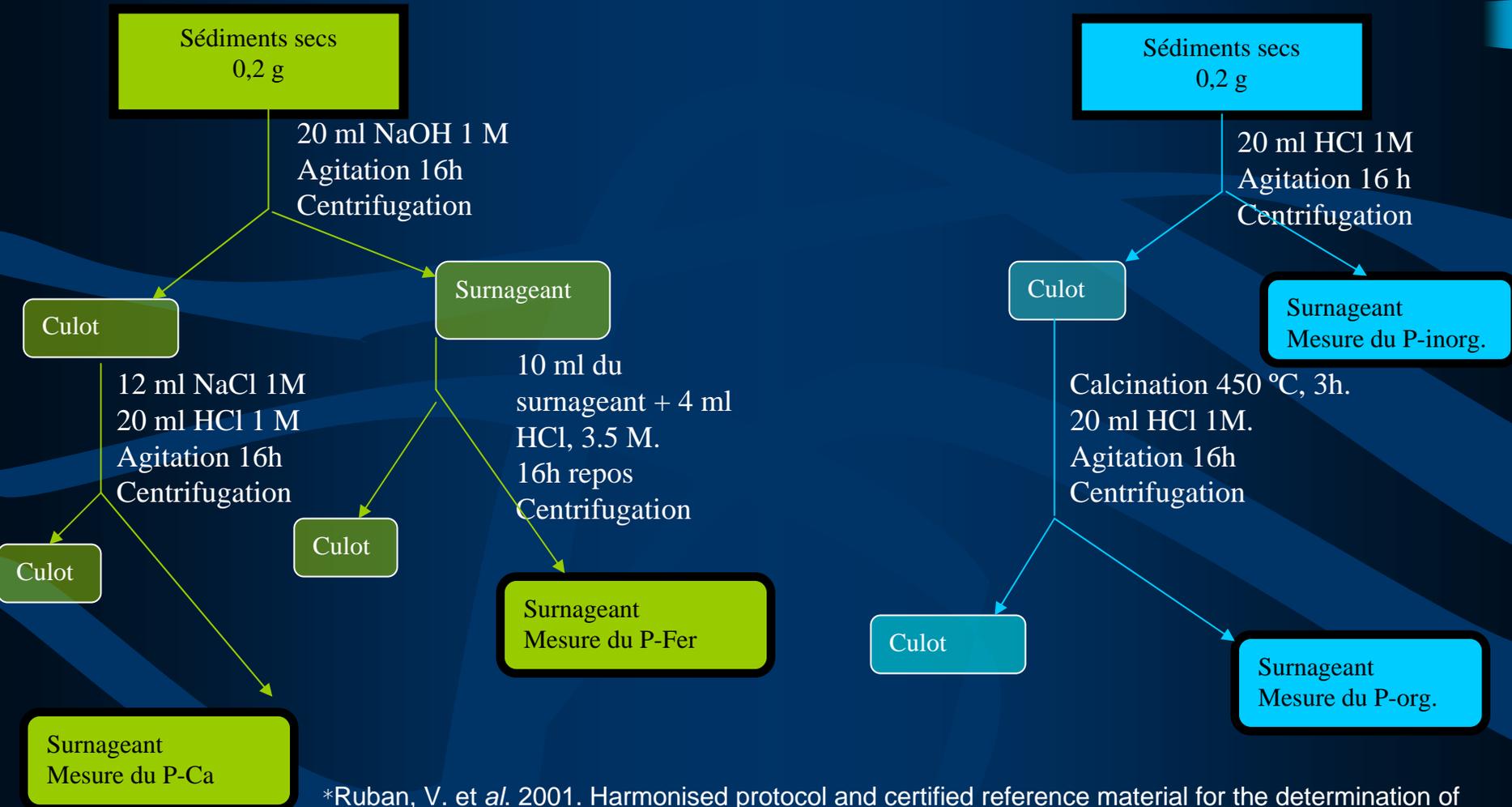


## 4. Disponibilité environnementale du phosphore et des ETM dans les sédiments

- a) Concentration totale extractible des ETM dans les sédiments : Méthode digestion acide modifiée d' Environnement Canada (1992).
- b) Concentration des ETM dans la phase aqueuse: Digestion acide *US EPA 3010 A*.
- c) Concentration totale du phosphore dans les sédiments et phase aqueuse : Digestion acide (  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$ ) *MA. 300-NTPT 1.0. CEAEQ*.
- d) Méthodes d'extraction sélectives du phosphore et ETM.

# 4. Disponibilité environnementale:

Extraction sélective du phosphore avec la méthode de Ruban et al. (2001)\*.



\*Ruban, V. et al. 2001. Harmonised protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments- A synthesis of recent works. *Fresenius J. Anal. Chem.* 370 : 224-228.

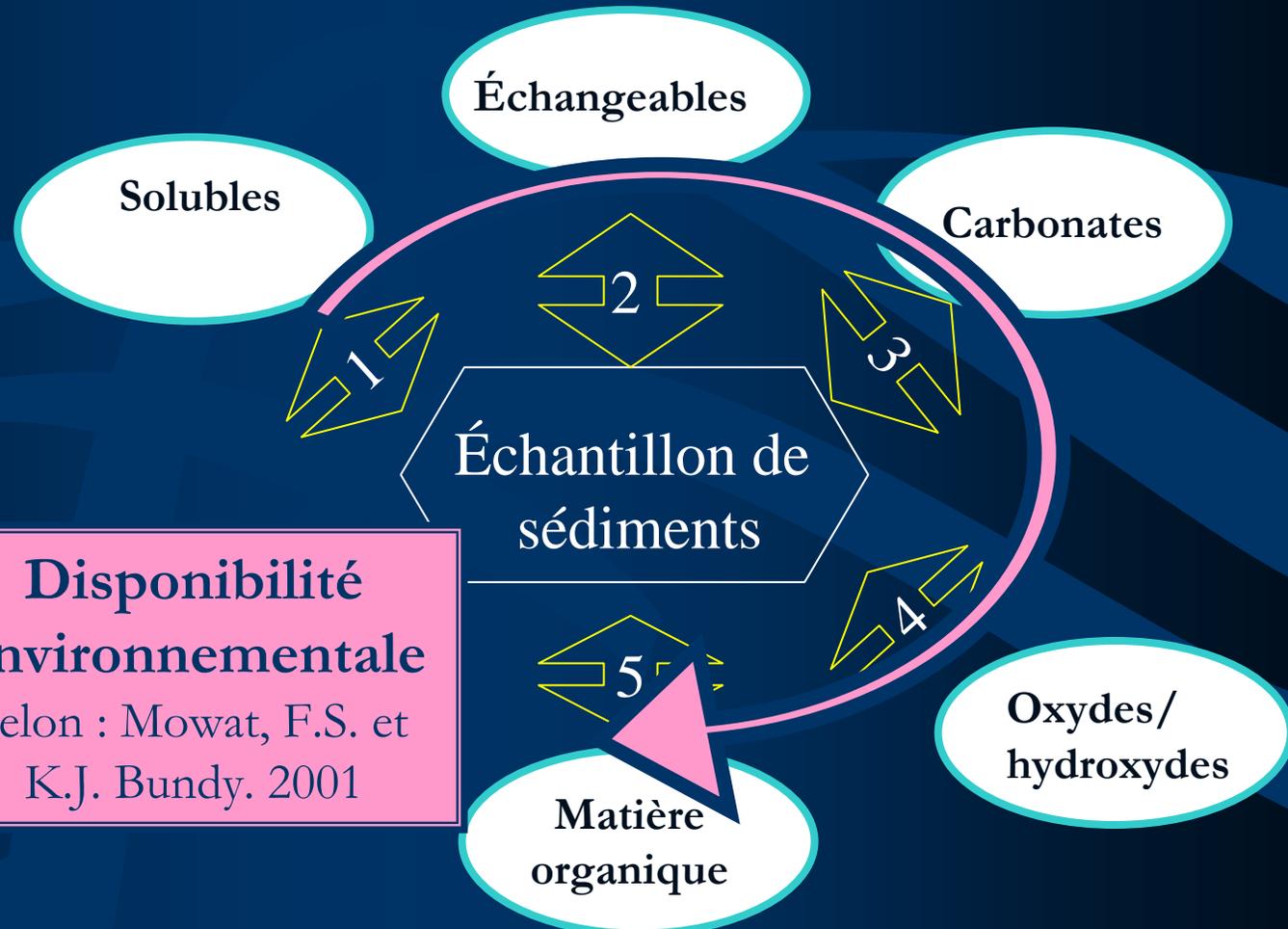
# 4. Disponibilité environnementale:

## Extraction Séquentielle Sélective des ETM

### REACTIFS

- 1) 20 ml eau pure
- 2) 16 ml KNO<sub>3</sub> 1M
- 3) 16 ml NaOAc pH 5  
1M
- 4) 40 ml NH<sub>2</sub>OH-HCl  
0,04 M
- 5) 6 ml HNO<sub>3</sub> 0,02 M  
16 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30 %  
pH 2  
10 ml NH<sub>4</sub>OAc 3,2  
M
- 6) 5 ml HNO<sub>3</sub> 16 N  
2 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30 %  
V/V  
10 ml *aqua regia*  
(4 HNO<sub>3</sub>:1 HCl)

**Disponibilité  
environnementale**  
selon : Mowat, F.S. et  
K.J. Bundy. 2001



# 4. Biodisponibilité toxicologique

- *Toxicité létale* → réponse de mortalité.
  - *Toxicité sublétale* → réponse d'effet d'inhibition (croissance, bioluminescence, mobilité et germination).
- Mode d'expression:
- *% de mortalité* : Proportion des individus morts parmi les individus exposés à un échantillon.
  - *% d'inhibition* : Niveau d'inhibition d'une réponse chez un groupe exposé à un échantillon par rapport à la réponse chez un groupe témoin.
- 

# 4. Biodisponibilité toxicologique

## Phase aqueuse

- ✓ Toxicité létale (CL<sub>50</sub>-48h)

*Daphnia magna*

CEAEQ, 2000. MA 500-D.mag.1.0.

- ✓ Microtox-Inhibition de la bioluminescence (CI<sub>50</sub>-5 min)

*Vibrio fischeri*

BNQ, 1987. NQ. 3600-205

- ✓ Inhibition de la croissance algale (CI<sub>50</sub>-96 h)

*Pseudokirchneriella subcapitata*.

CEAEQ, 1997. MA 500-S.cap.2.0



# 4. Biodisponibilité toxicologique

## Sédiments solides

-Sédiments secs et tamisés (< 600  $\mu\text{m}$ ).

✓ Inhibition de germination et croissance de l'orge (CI50-7j).

*Hordeum vulgare*

CEAEQ, 2003. MA 500-GCR 1.0

-Paramètres d'inhibition étudiés :

- 1) Germination
- 2) Longueur des tiges
- 3) Longueur des racines
- 4) Poids humide et poids sec des tiges



# 4. Essais de relargage des contaminants

## Traitements:

→ **pH**: ajout de NaOH ou HCl conc.

→ **Oxygène dissous**: injection N<sub>2</sub>

## Variations de pH:

Acide: 2,5-4,8

Basique: 9,9-10,8

## Variations de O<sub>2</sub> dissous:

Aérobic ≈ 5,0 mg O<sub>2</sub>/L

Anaérobic ≈ 0 mg O<sub>2</sub>/L

## Durée des traitements :

Anaérobic: 14 à 34 j.

Aérobic: 9 à 19 j.

aérobic & acide

aérobic & basique

anaérobic & acide

anaérobic & basique

Eau pure

Sédiments secs

*Analyses chimiques*

*Tests toxicologiques*

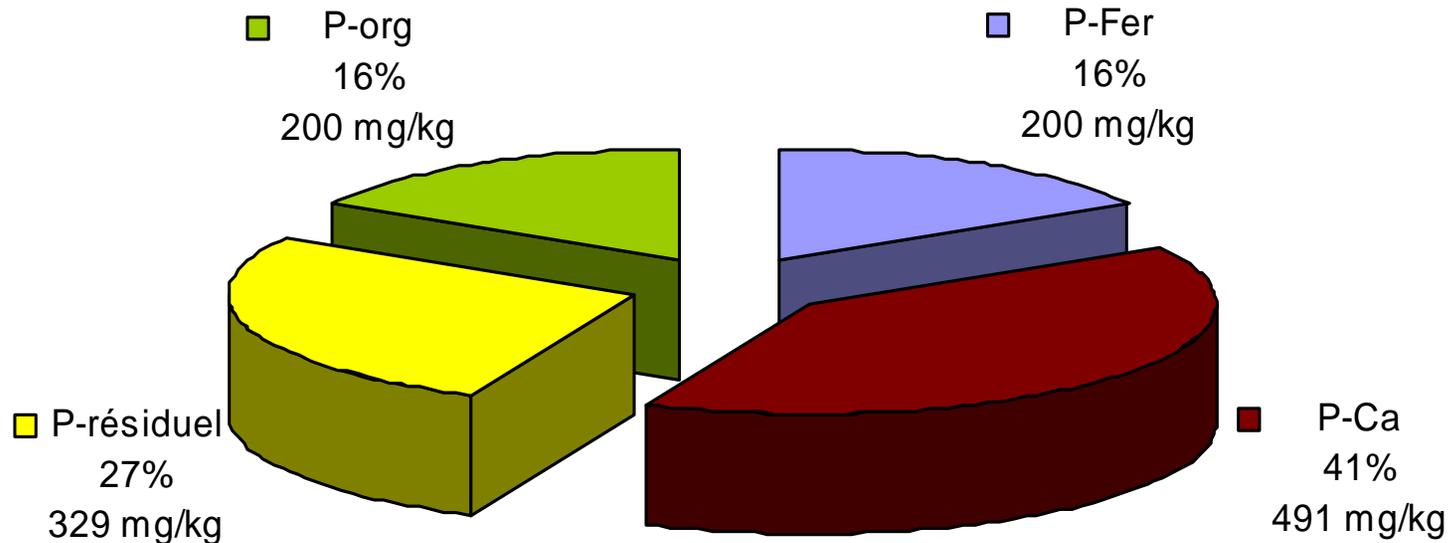


## 5. Résultats

### *Caractérisation des sédiments*

- Granulométrie → limon-sableux
- Matière organique →  $11,2 \pm 2,9 \%$
- Alcalinité →  $118,1 \pm 4,5 \text{ mg CaCO}_3 / \text{l}$
- Conductivité →  $796,7 \pm 12,4 \mu\text{S}$

# 5. Spéciation du phosphore : Disponibilité environnementale



Concentration totale du phosphore :  $1\ 220 \pm 84$  mg/kg

SEM pour le phosphore total = 600 mg/kg (MEEEO, 1993)

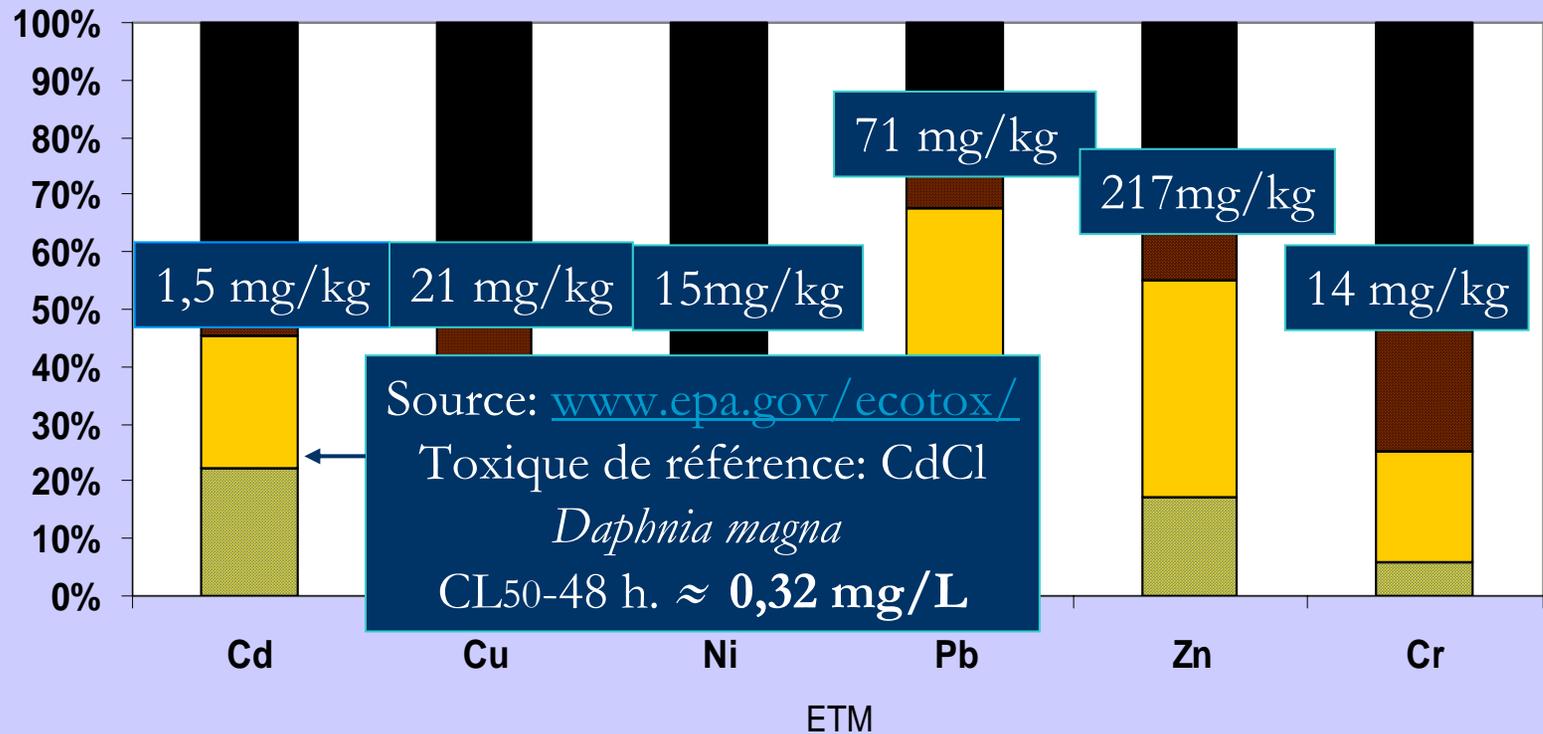
SEN pour le phosphore total = 2 000 mg/kg (MEEEO, 1993)

## 5. Concentrations totales extractibles moyennes des ETM dans les sédiments

Métaux	Concentrations (mg/kg)	Valeurs de SEM (mg/kg)
Arsenic	$6,9 \pm 1,1$	7
Cadmium	$2,0 \pm 0,8$	0,9
Chrome	$25 \pm 8,4$	55
Cuivre	$39,0 \pm 12,1$	28
Fer	$21\ 735 \pm 1\ 430$	n.d
Manganèse	$404 \pm 109$	n.d
Mercure	$0,13 \pm 0,02$	0,2
Nickel	$41,0 \pm 11,7$	35
Plomb	$76 \pm 30,1$	42
Zinc	$272,0 \pm 89,2$	150

# 5. Spéciation des ETM:

## Disponibilité environnementale



Source: [www.epa.gov/ecotox/](http://www.epa.gov/ecotox/)  
Toxique de référence: CdCl  
*Daphnia magna*  
CL50-48 h.  $\approx 0,32$  mg/L



# 5. Biodisponibilité toxicologique

## Phase aqueuse

*Daphnia magna*

- Aucune réponse de mortalité

Microtox :

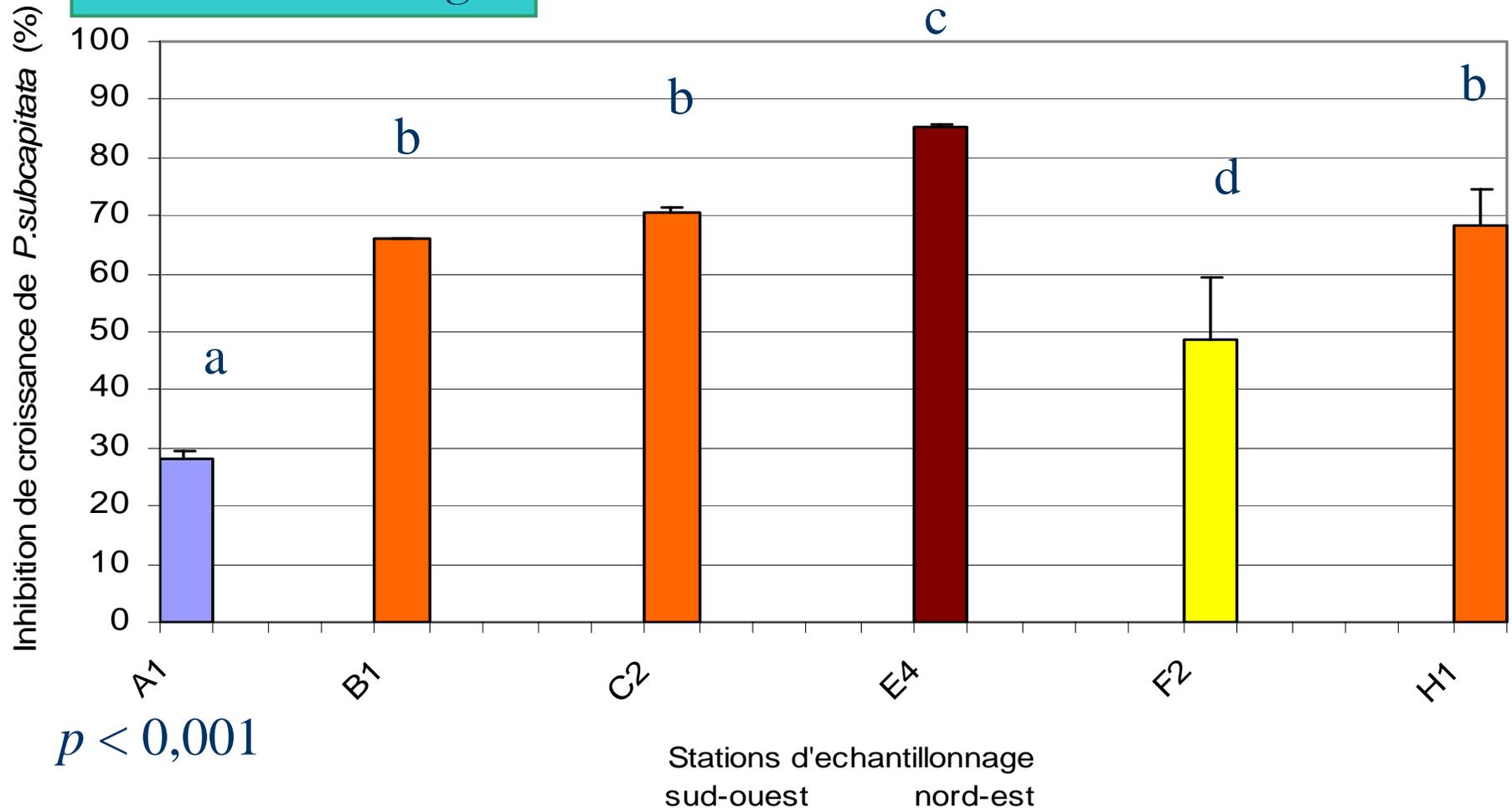
- Aucun effet d'inhibition de bioluminescence.

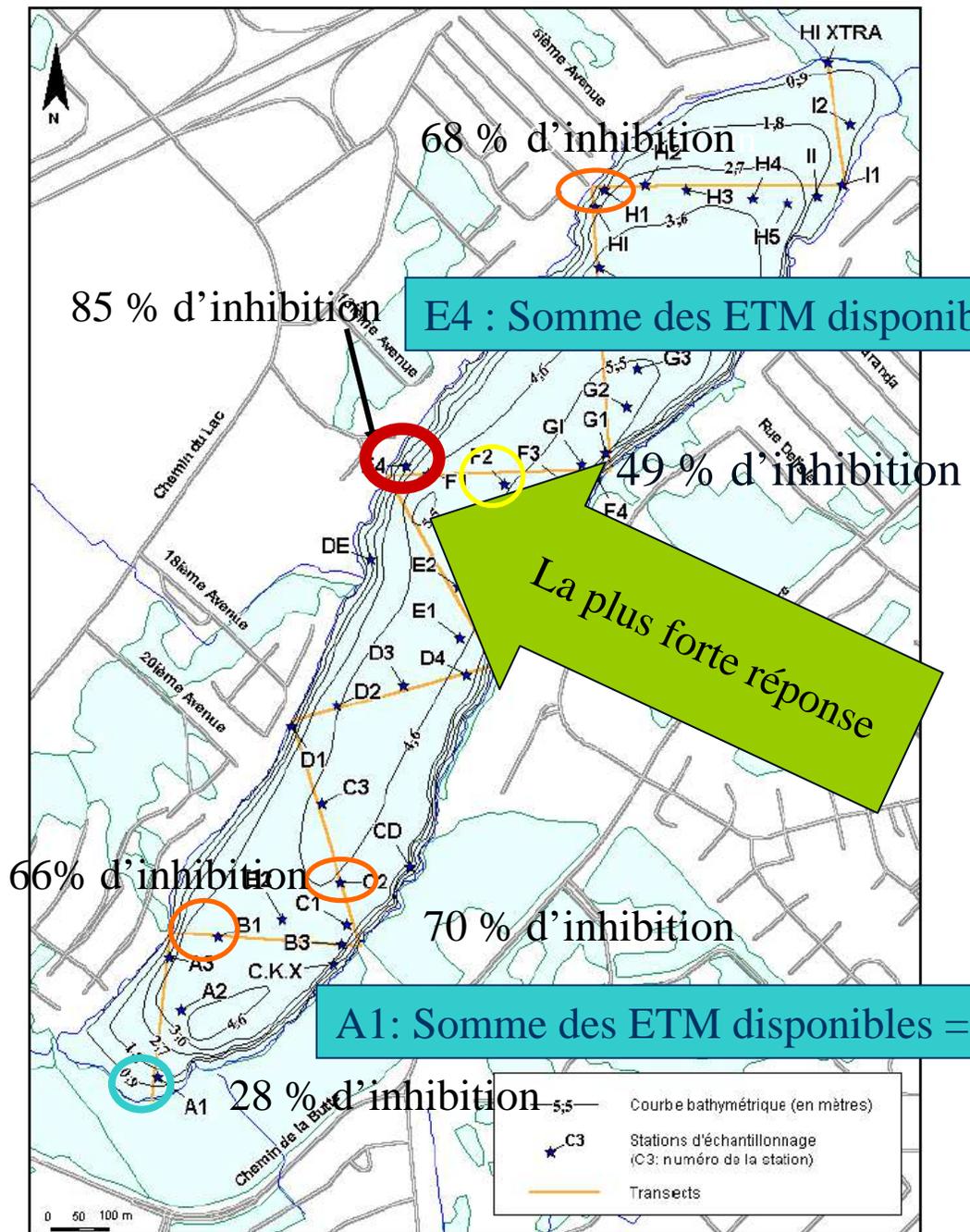


# 5. Biodisponibilité toxicologique

## Phase aqueuse

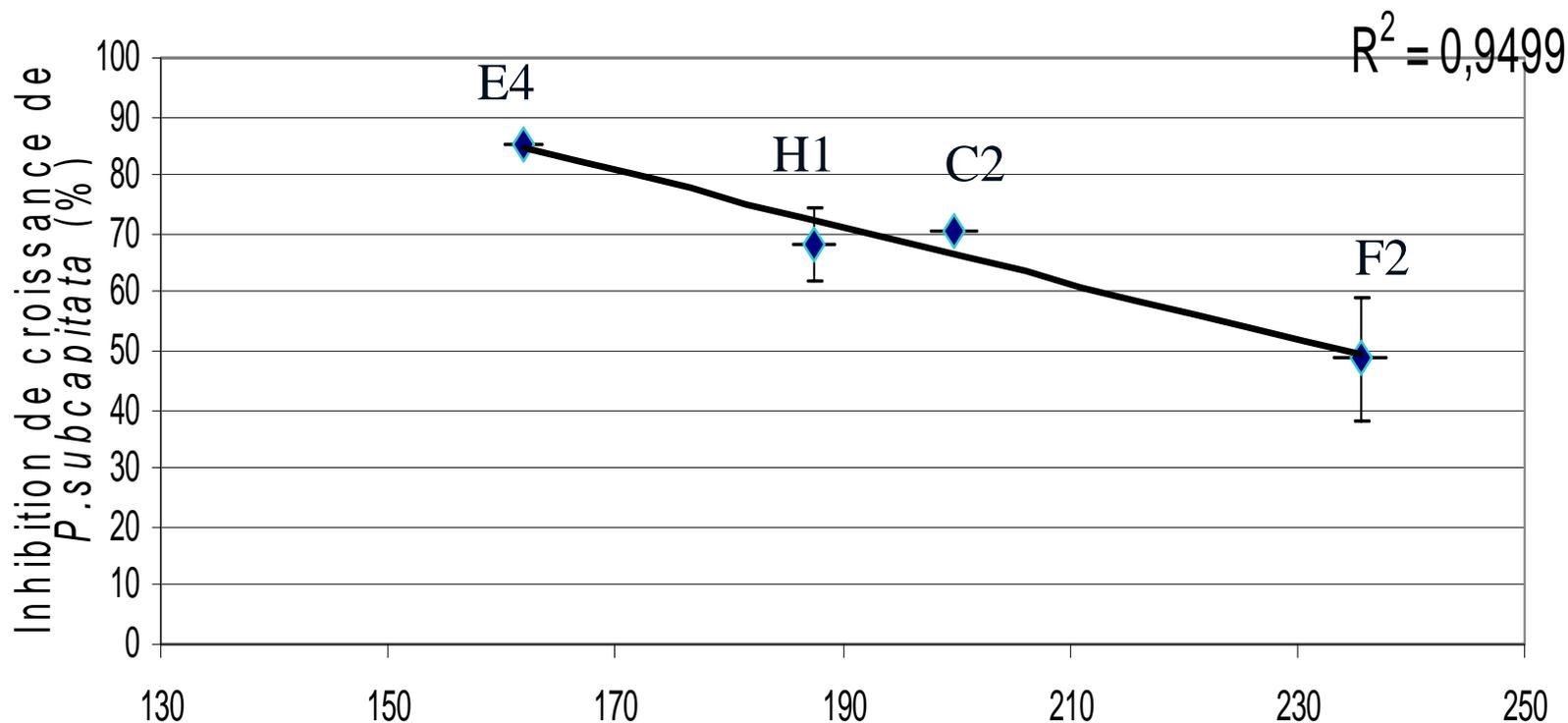
### Croissance de l'algue





- Répartition des % d'inhibition de croissance de l'algue pour la phase aqueuse des échantillons.

# 5. Stimulation algale par le phosphore

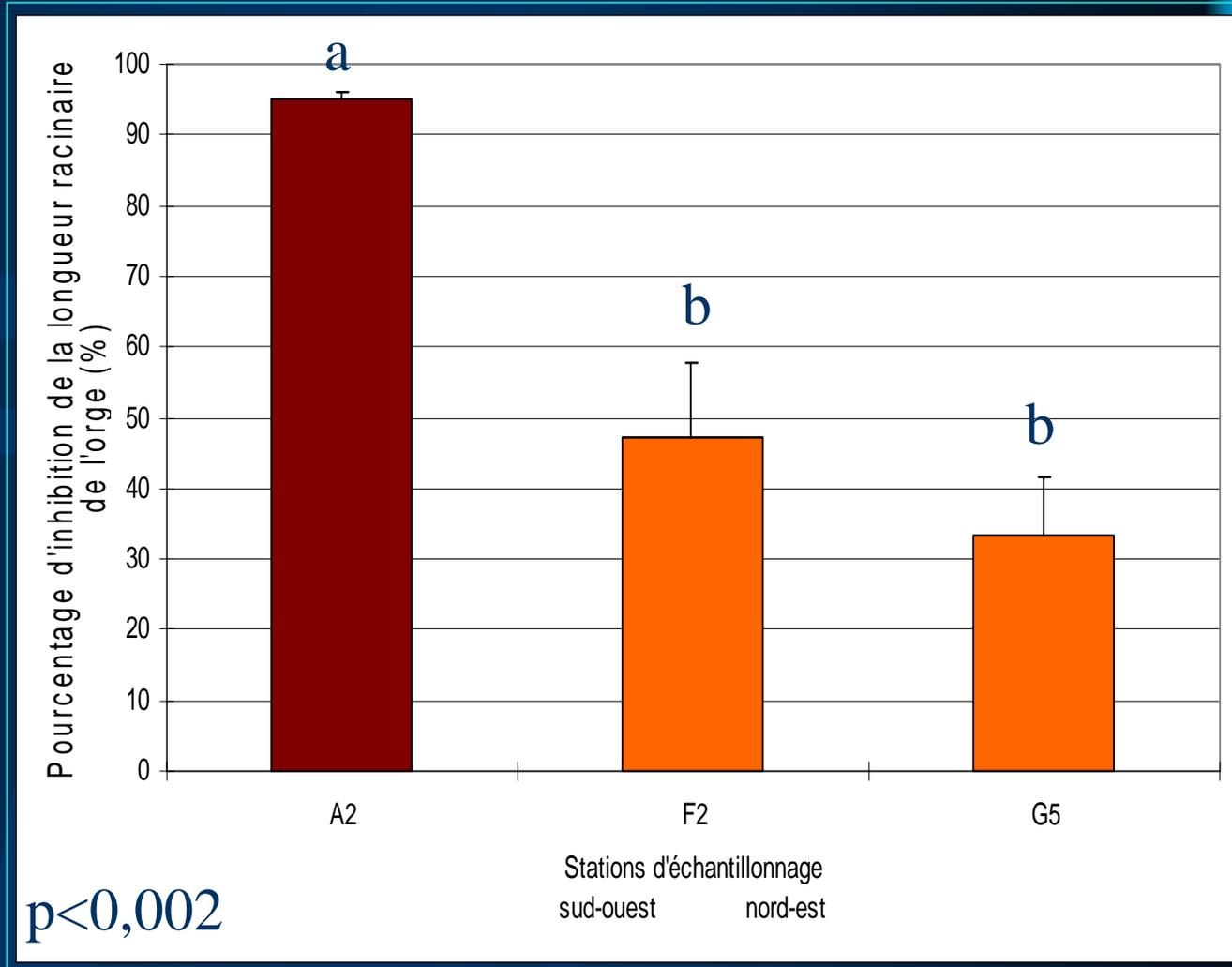


$p < 0,0254$  Concentration de phosphore disponible environnementalement (mg/kg)

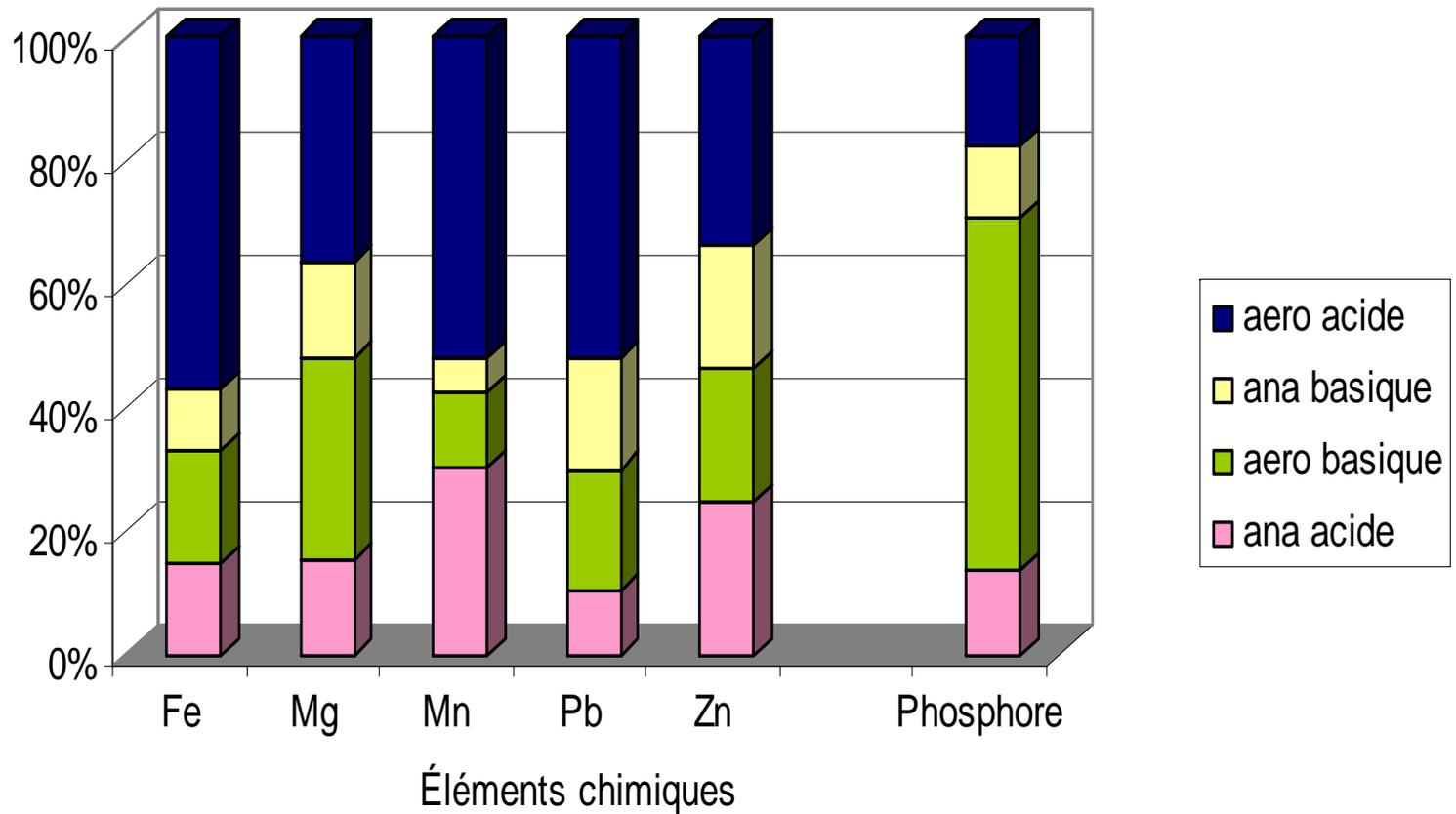
# 5. Biodisponibilité toxicologique

## Phase solide

- Germination: sans effet.
- Longueur des tiges: seulement A2 a démontré une forte inhibition (79%).
- LONGUEUR DES RACINES:  
Inhibition significative de A2, F2 et G5.
- Poids humide et sec : seulement A2 a démontré une forte inhibition (85 et 86 %).

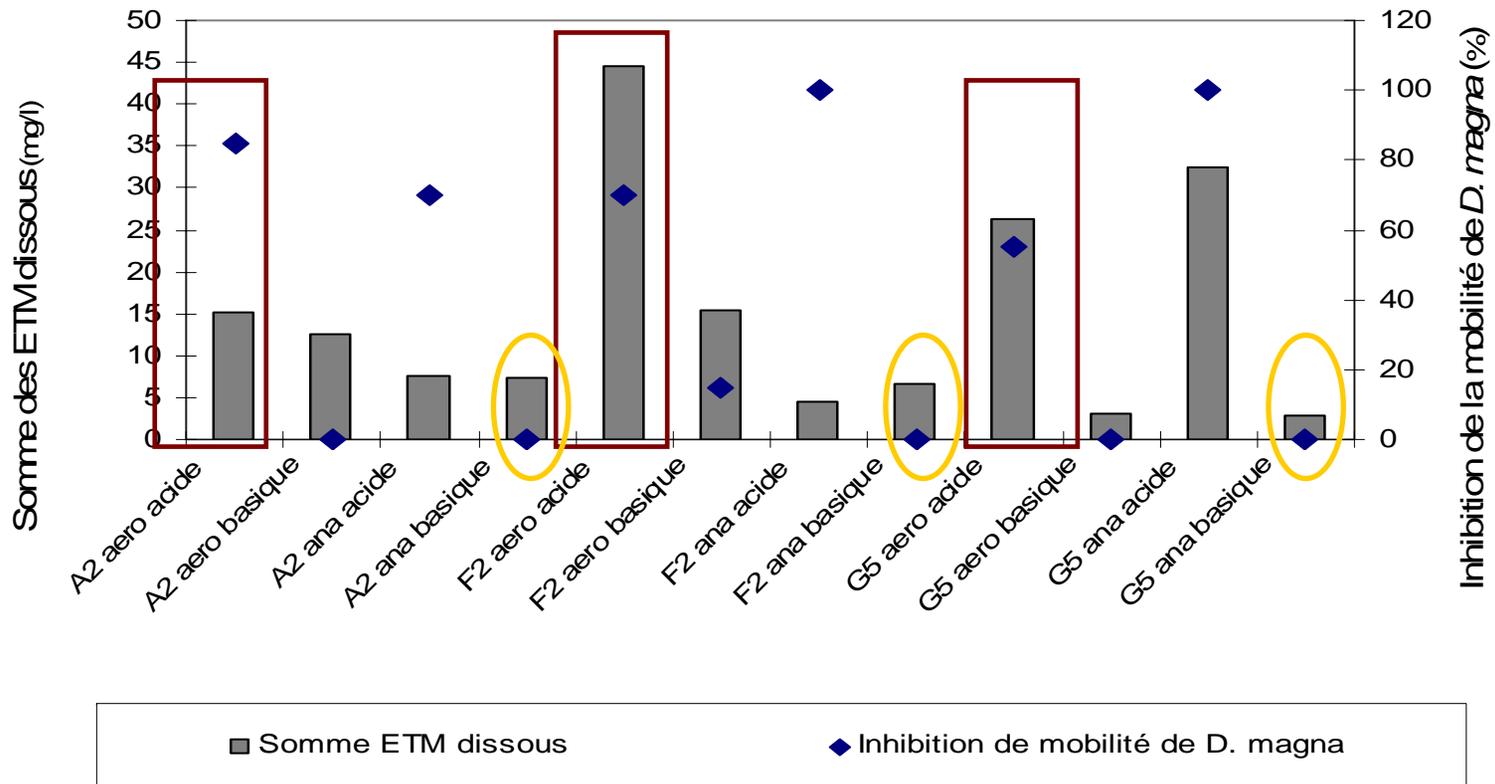


# 5. Essais de relargages des contaminants



# 5. Biodisponibilité toxicologique des relargages

## Mobilité de la daphnie



## 6. *Synthèse des résultats*

- Le **phosphore** a une disponibilité environnementale, il existe un lien entre le P et une certaine stimulation algale.
- Les **ETM** ont une disponibilité environnementale, toutefois le lien entre les producteurs primaires (algue & orge) et les ETM est observé qualitativement.
- Les conditions aérobies-acides favorisent un **relargage** important des ETM & les conditions aérobies-basiques favorisent un **relargage** important du phosphore.
- Les ETM relargués en conditions aérobie-acide produisent une inhibition de mobilité.

# 6- Proposition d'évaluation intégrée de la biodisponibilité

1. Caractérisation des sédiments  
(ensemble des sites)

[ ] totale extractible des ETM.



NON

NIVEAU DE NOCIVITÉ

Bas

OUI

2. Disponibilité environnementale  
(sites d'intérêt)

[ ] des ETM disponibles de ESS



NON

Bas

OUI

3. Biodisponibilité toxicologique  
(sites prioritaires)

Données de toxicité pour  
différents organismes.  
Batterie minimale de 3 niveaux  
trophiques.  
Phase **liquide** et phase **solide**  
représentées.

Pondération  
selon:  
a) Intensité  
b) Étendue de la  
réponse

Moyen

Élevé

Très Élevé

# *Applications & Recommandations*

- ❖ Les avantages d'une approche intégrée :
  - 1) Fusion de la chimie et l'écotoxicité.
  - 2) Évaluation de la toxicité résultante en considérant les interactions possibles entre les contaminants.
  
- ❖ Outil d'aide à la décision pour la gestion de sédiments contaminés : a) priorisation les zones à traiter et b) choix des techniques de restauration.

# *Remerciements*

- Rosa Galvez-Cloutier
- Louis Martel et l'équipe de la division Écotoxicologie et évaluation du CEAEQ
- L'équipe de la division Biologie et microbiologie du CEAEQ (Christian Bastien)
- Sylvain Arsenault (Genivar)
- Michel Bisping et Christine Beaulieu (U de Laval)
- Stagiaires : Benjamin, Juliana, Amélie
- L'équipe de recherche, collègues, famille et amis

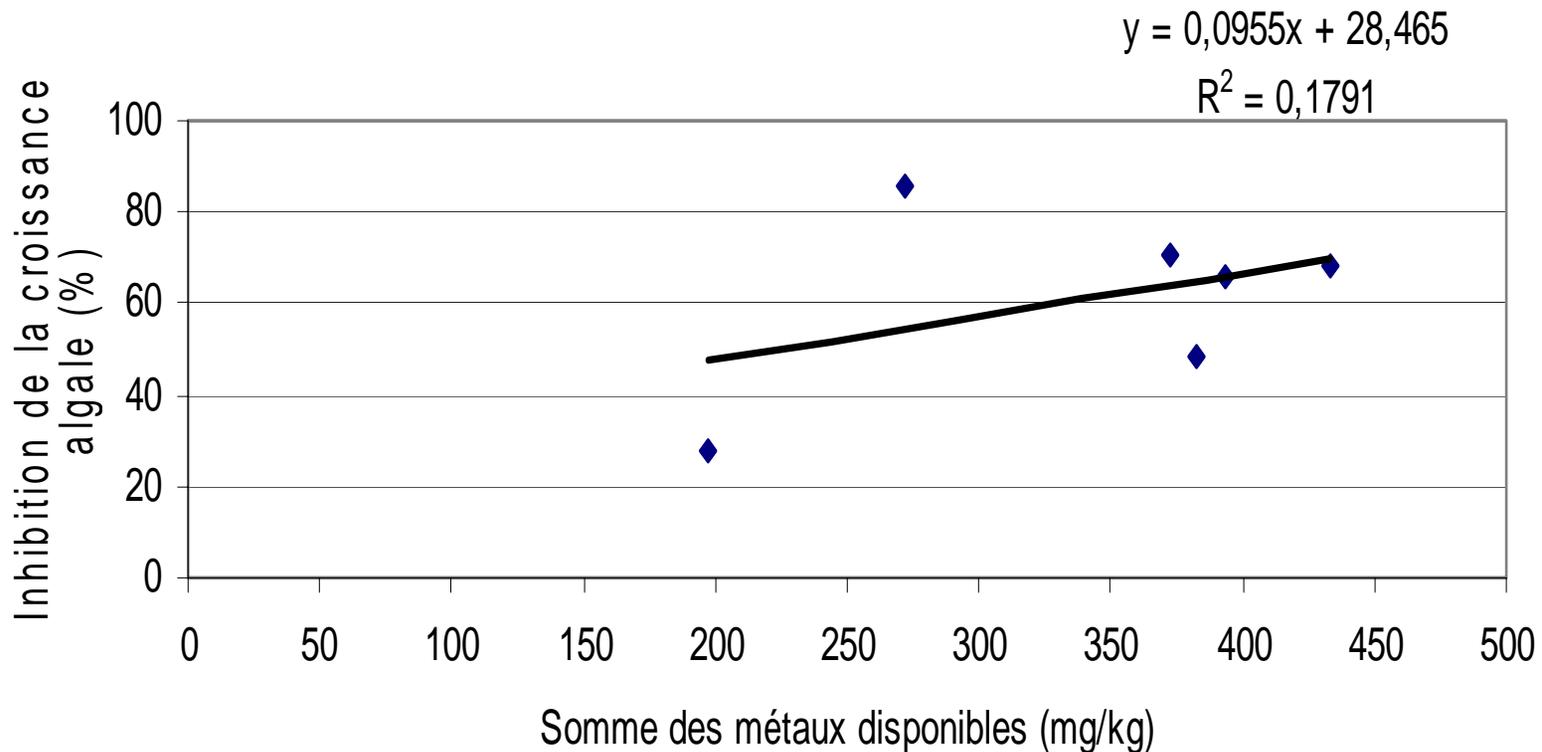


*Merci de votre attention*

**QUESTIONS**

# *Biodisponibilité des ETM dans l'eau interstitielle*

**Relation entre la somme des ETM disponibles et l'inhibition de la croissance algale dans l'eau interstitielle**

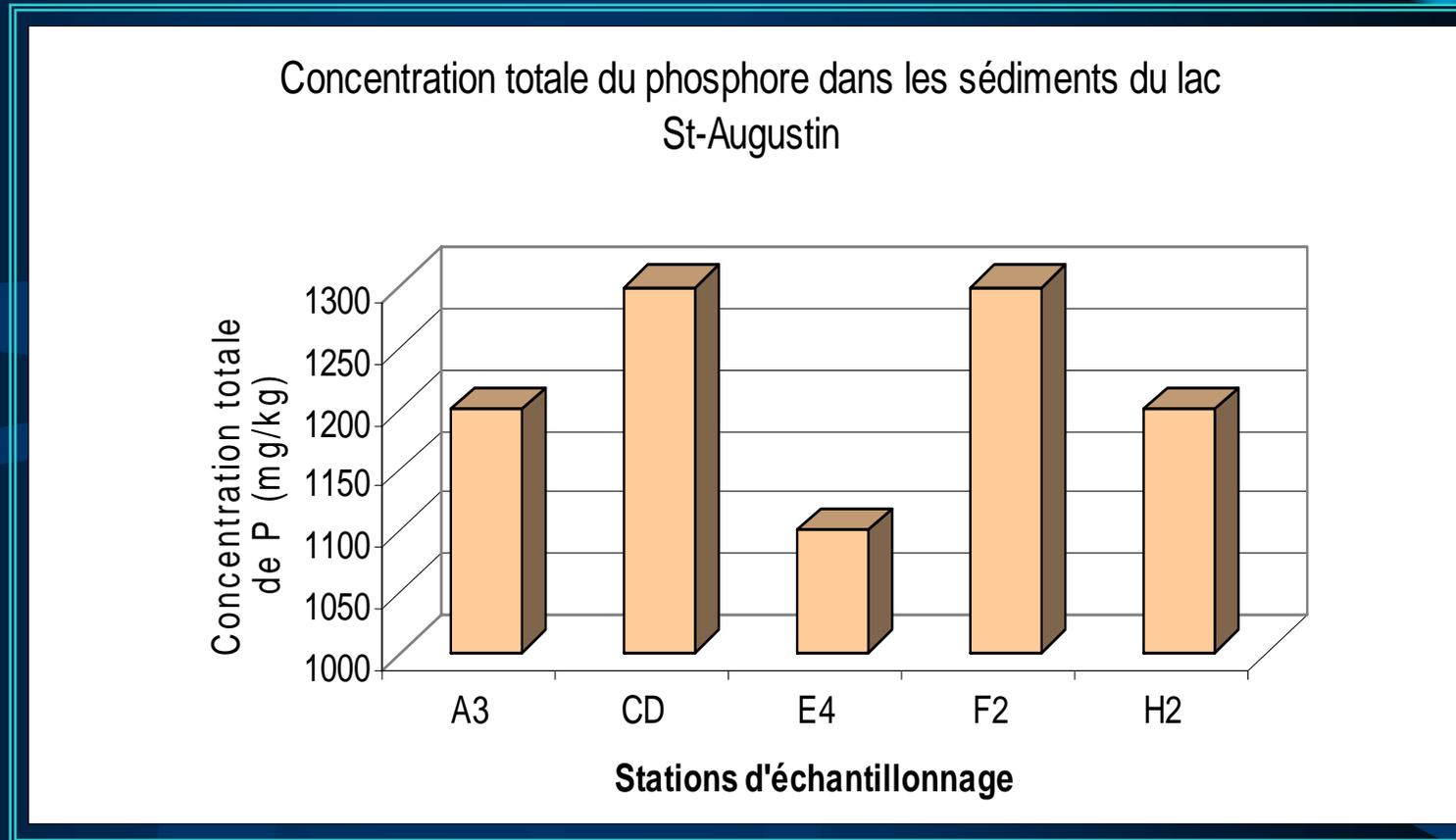


# *Disponibilité environnementale*

- Les phases suivantes sont considérées comme biodisponibles selon Mowat et Bundy (2001) \*:
- Soluble
- Échangeable
- Carbonate
- Oxyde / hydroxyde
- Matière organique

\* Mowat, F.S. et K.J. Bundy. 2001. Correlation of field measured toxicity with chemical concentration and pollutant availability. *Environment International* (27): 479-489

# Phosphore: disponibilité environnementale



→  $P_t$  moy : 1 220 mg/kg

→  $NTK_{moy}$  :

# *L'inhibition de la longueur racinaire*

Relation entre la somme des métaux liés à la matière organique et l'inhibition de la longueur racinaire

