

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

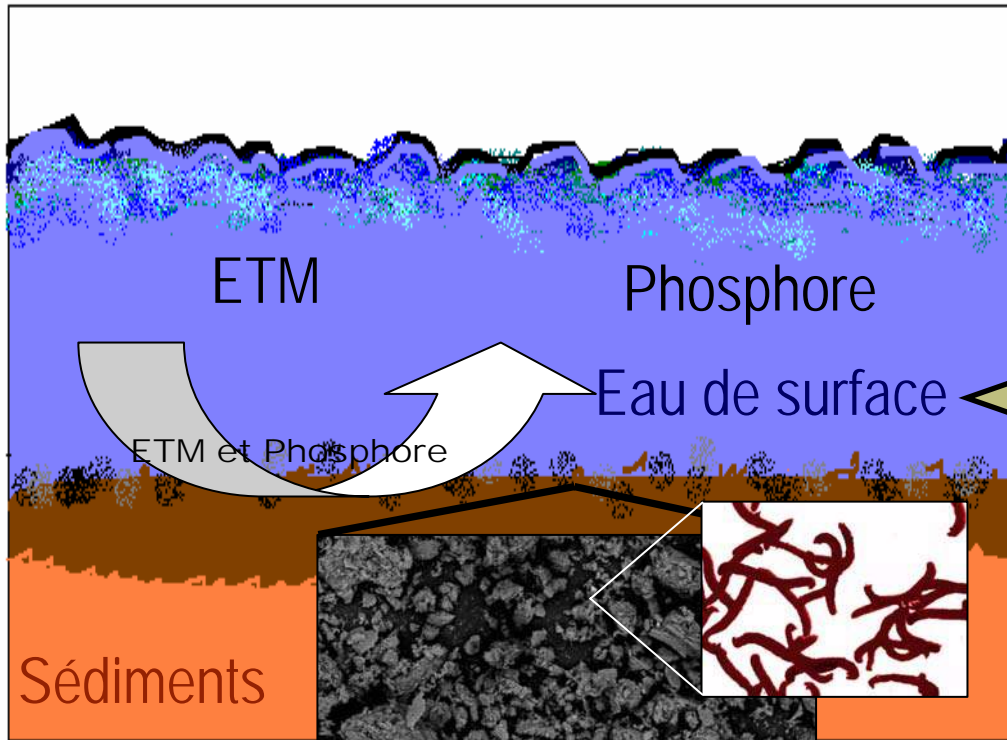
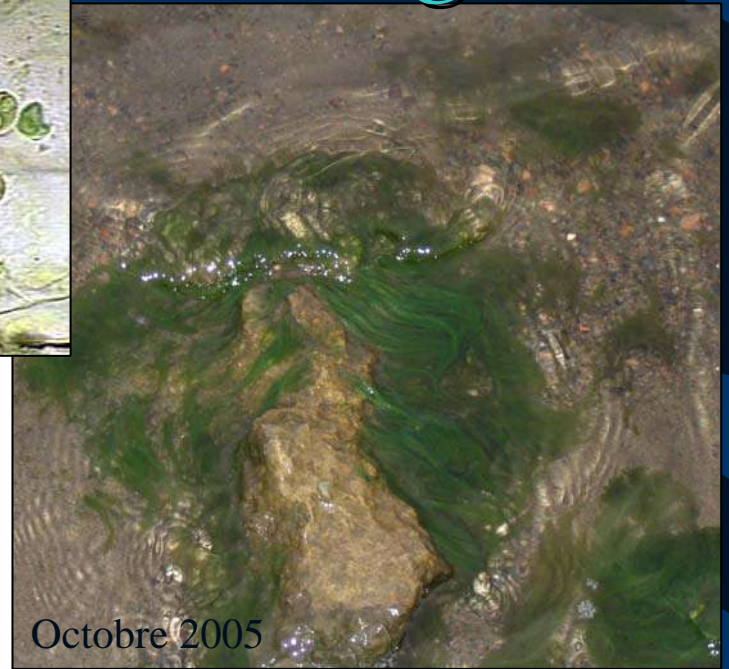
28 JUN 1981

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

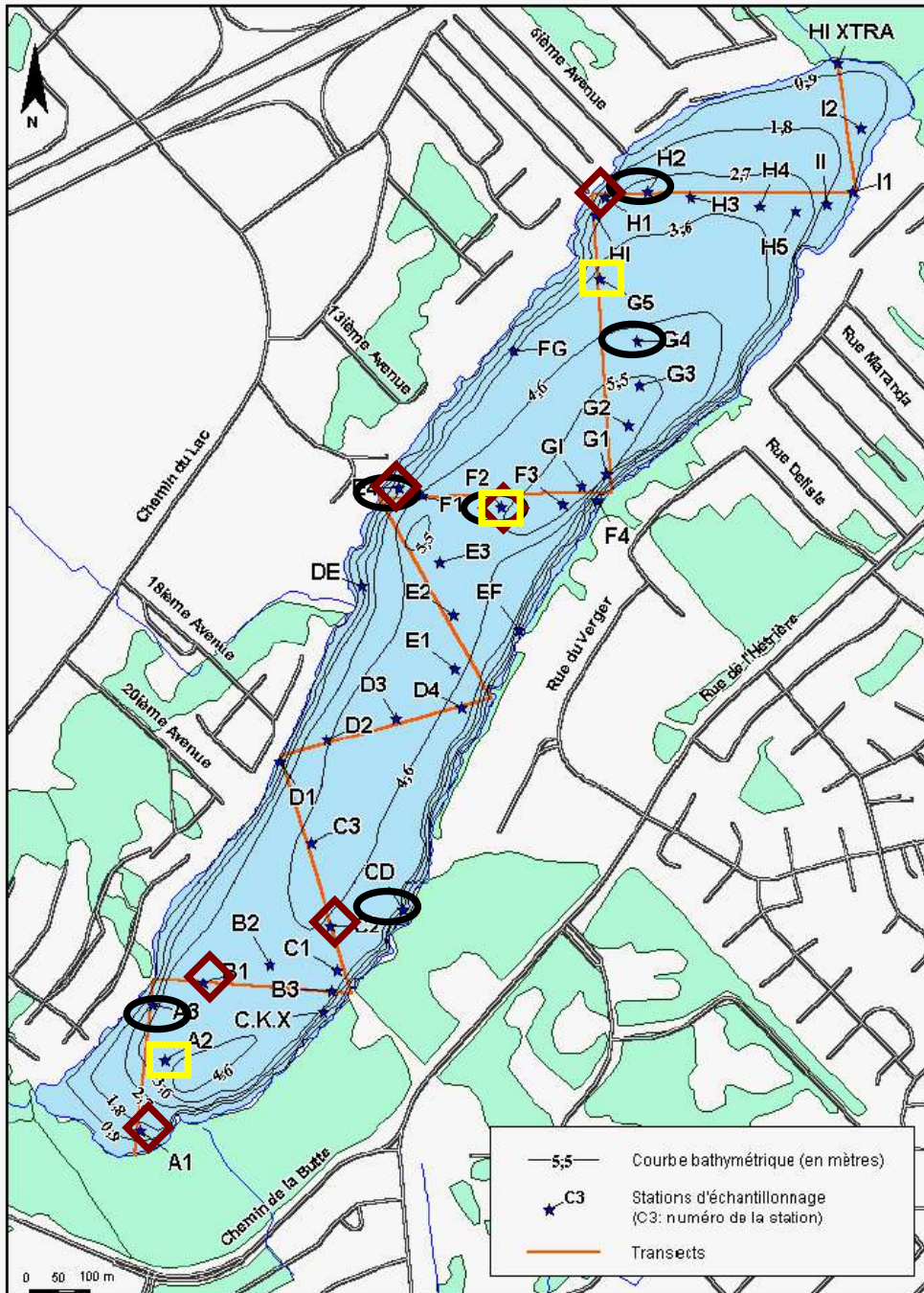
- 1) Phosphore total.
- 2) ES phosphore.
- 3) Croissance algue = tests toxicologiques.

- 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

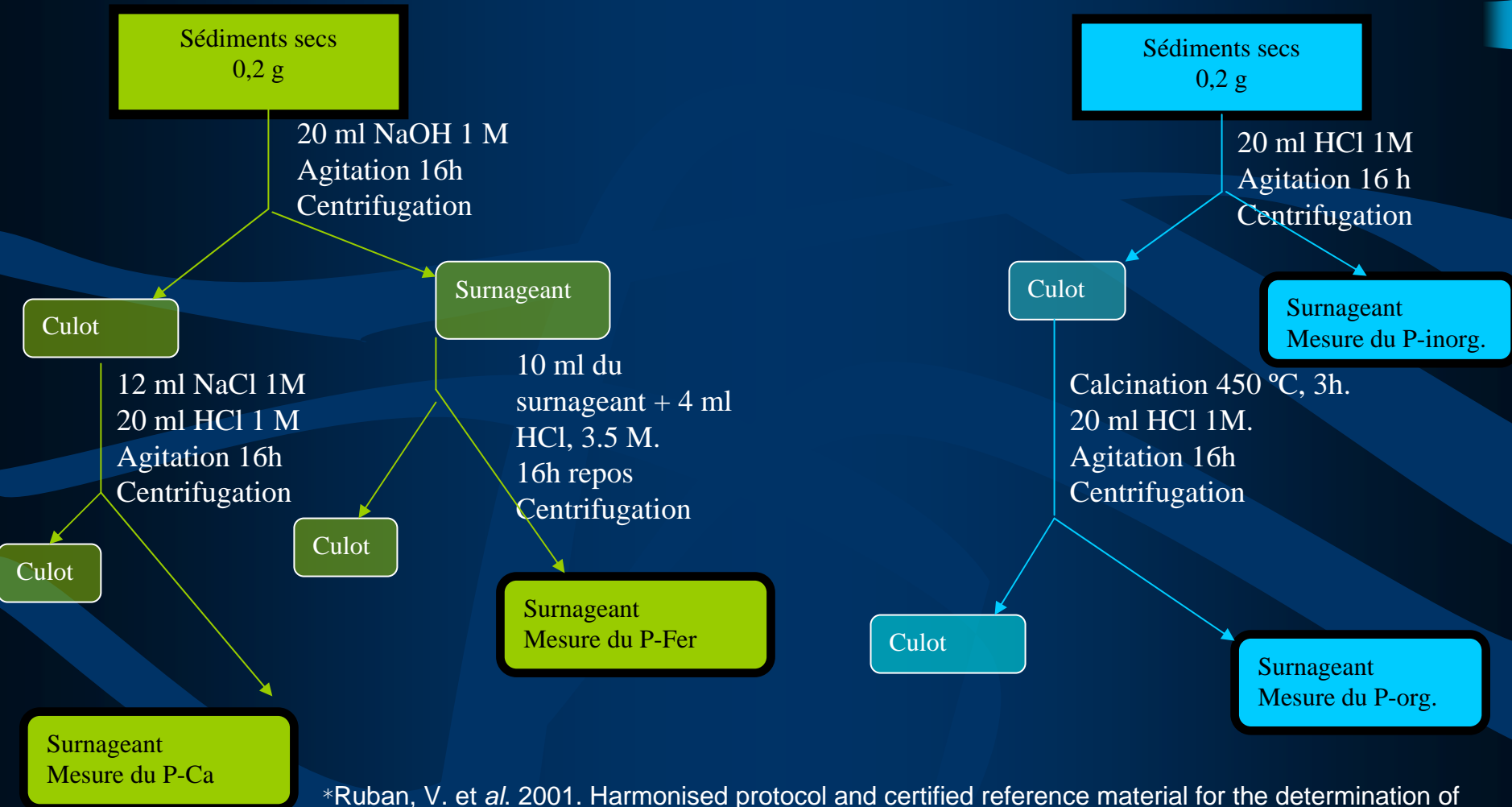


4. Disponibilité environnementale du phosphore et des ETM dans les sédiments

- 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.

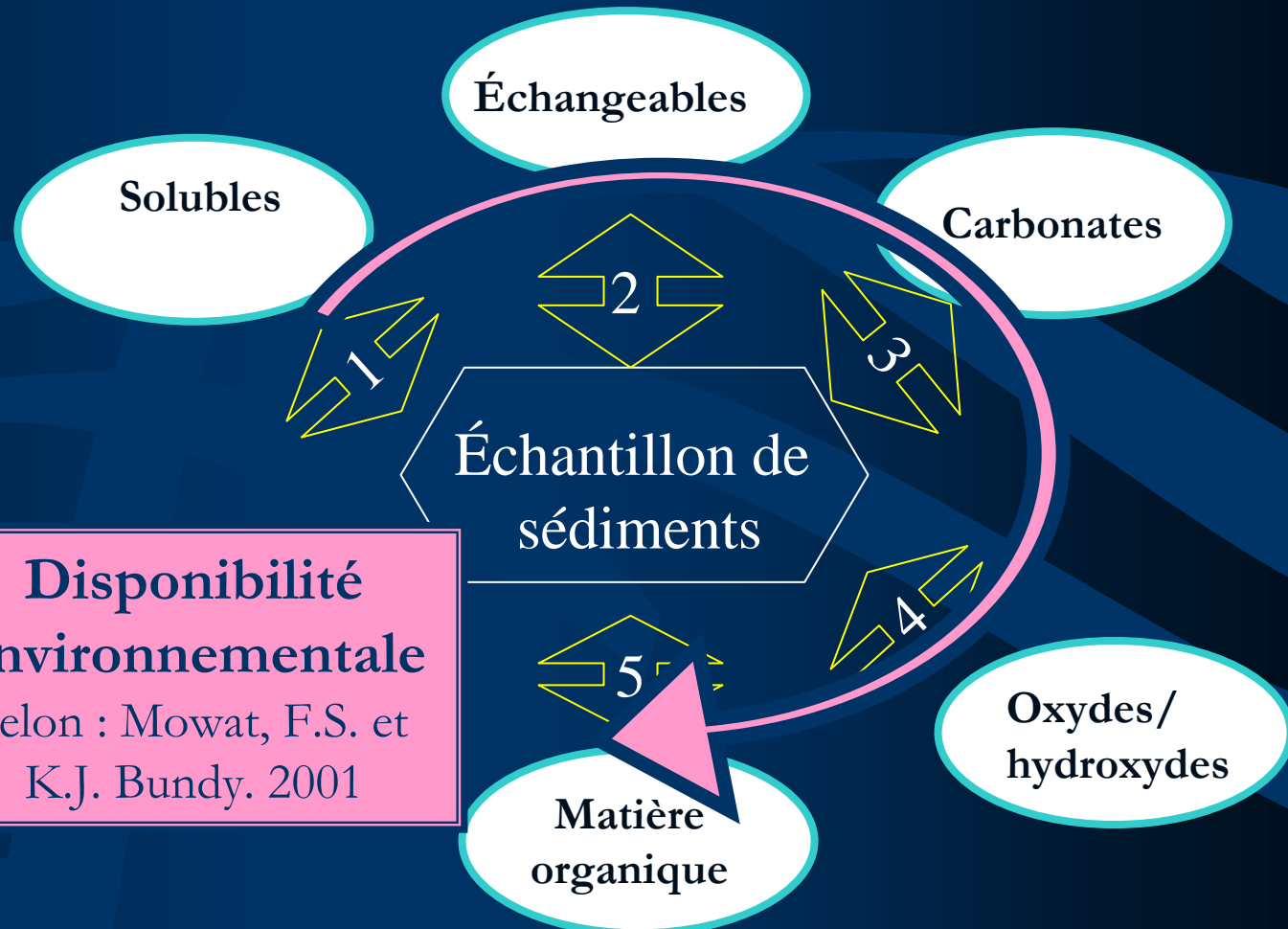
4. Disponibilité environnementale:

Extraction Séquentielle Sélective des ETM

REACTIFS

- 1) 20 ml eau pure
- 2) 16 ml KNO₃ 1M
- 3) 16 ml NaOAc pH 5
1M
- 4) 40 ml NH₂OH-HCl
0,04 M
- 5) 6 ml HNO₃ 0,02 M
16 ml H₂O₂ 30 %
pH 2
10 ml NH₄OAc 3,2
M
- 6) 5 ml HNO₃ 16 N
2 ml H₂O₂ 30 %
V/V
10 ml *aqua regia*
(4 HNO₃:1 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 (CL₅₀-48h)

Daphnia magna

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

- ✓ Microtox-Inhibition de la bioluminescence (CI₅₀-5 min)

Vibrio fischeri

BNQ, 1987. NQ. 3600-205

- ✓ Inhibition de la croissance algale (CI₅₀-96 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 N₂

Variations de pH:

Acide: 2,5-4,8

Basique: 9,9-10,8

Variations de O₂ dissous:

Aérobic ≈ 5,0 mg O₂/L

Anaérobic ≈ 0 mg O₂/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

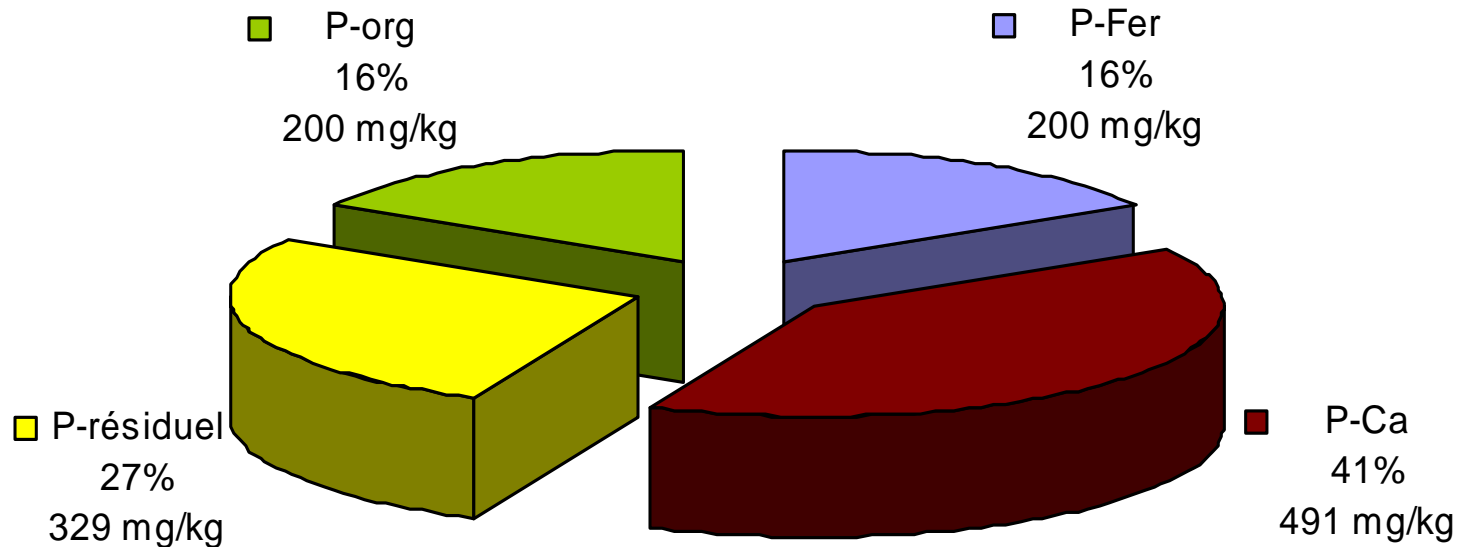


5. Résultats

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)

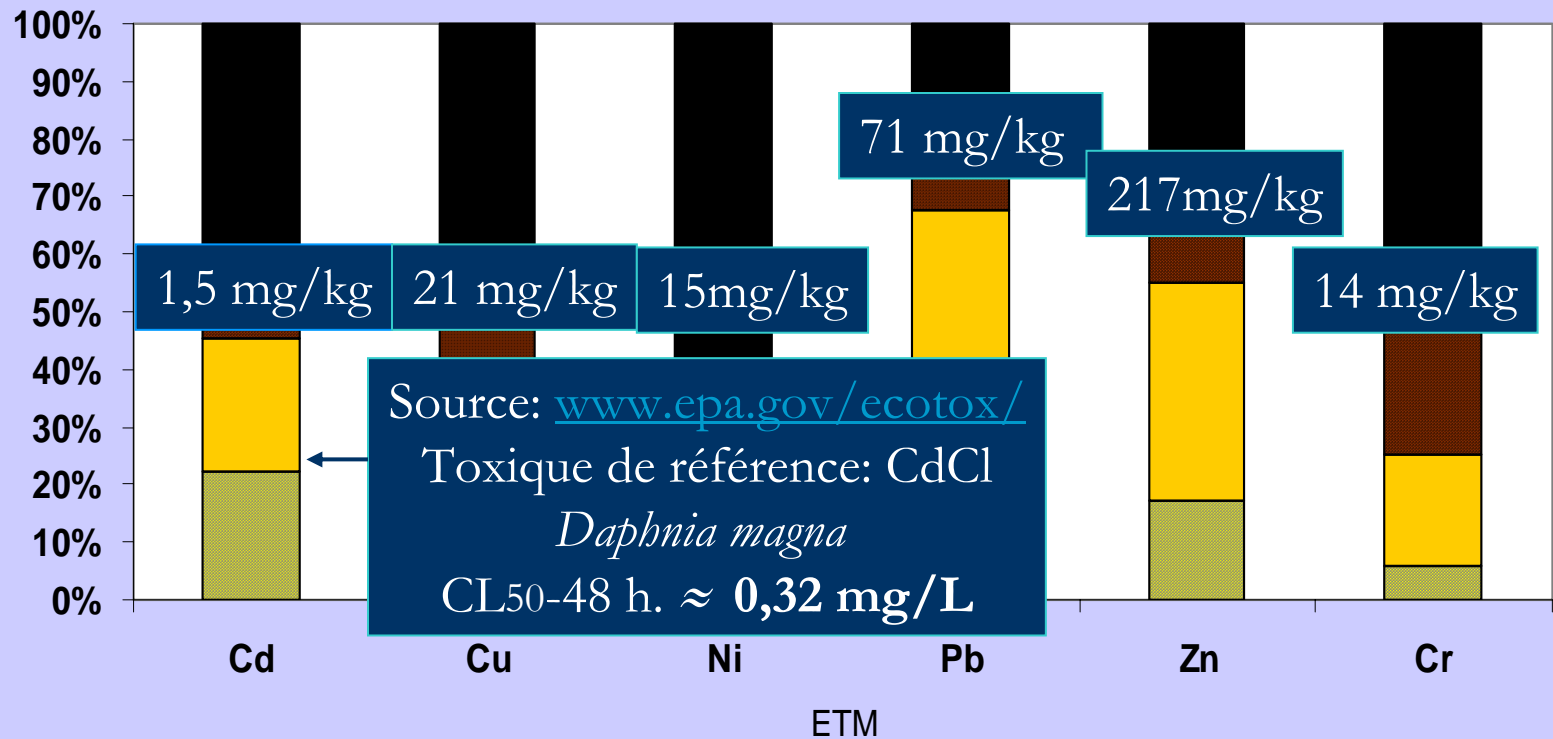
SEN pour le phosphore total = 2 000 mg/kg (MEEEO, 1993)

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 ± 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/
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 :

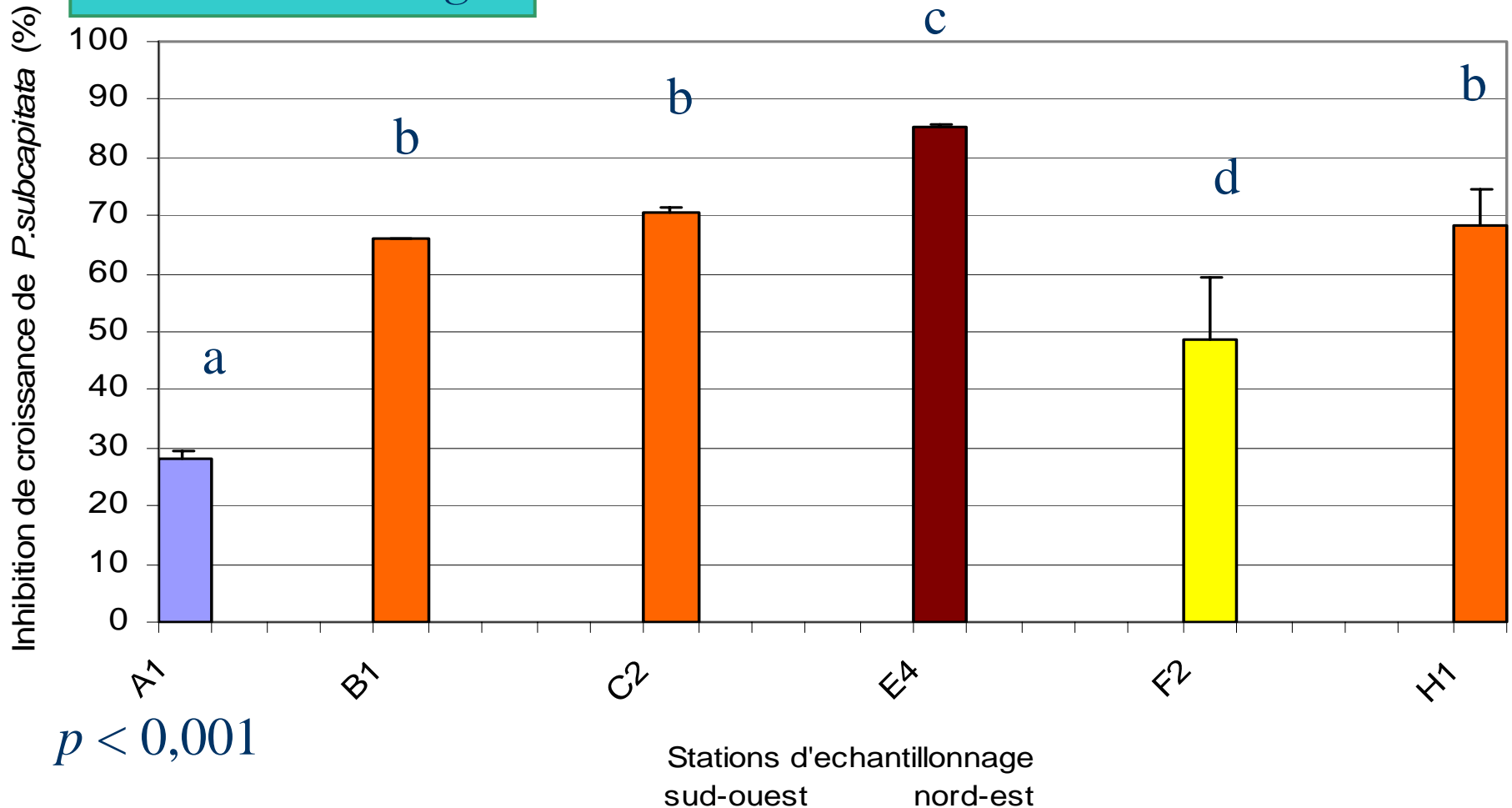
- Aucun effet d'inhibition de bioluminescence.

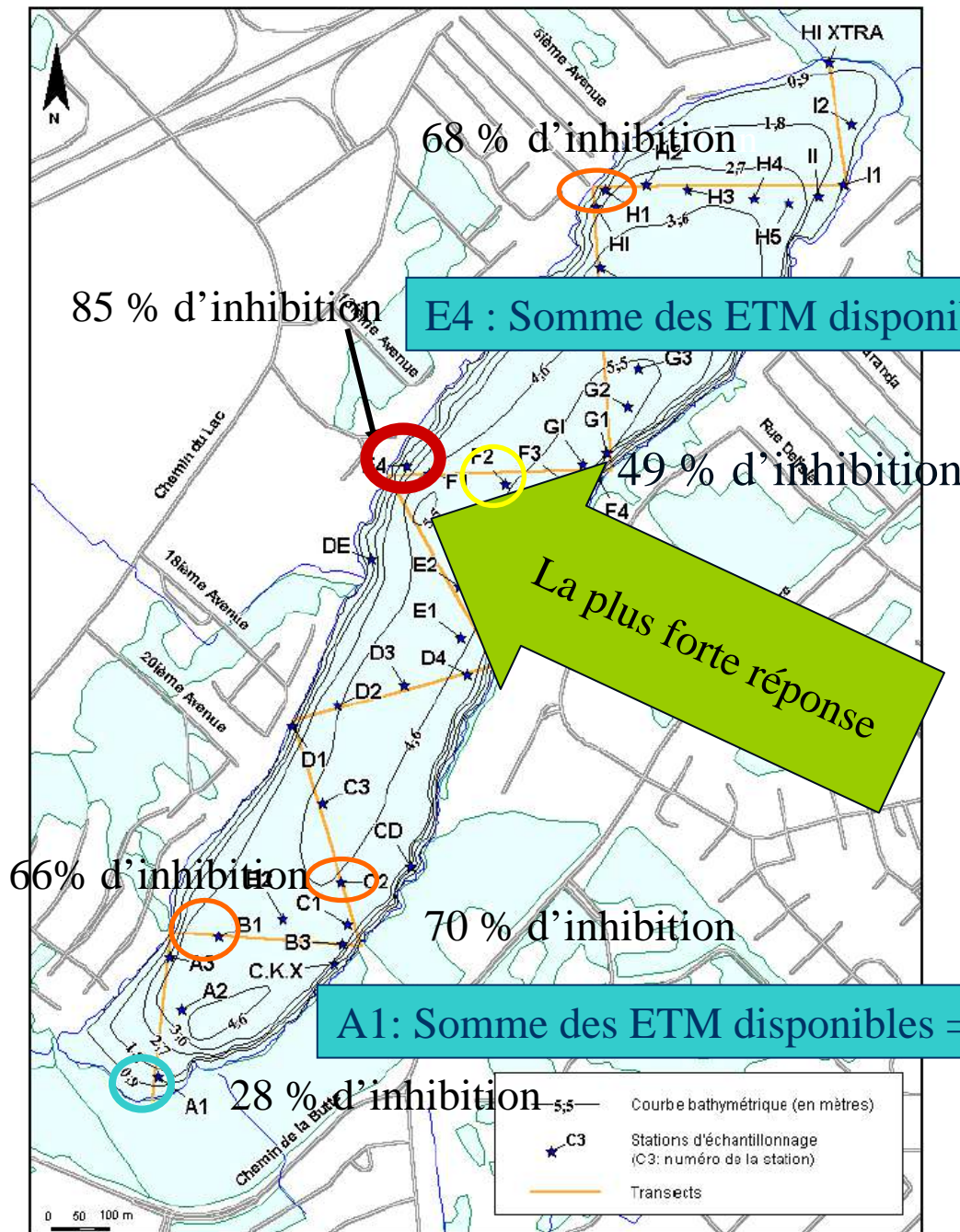


5. Biodisponibilité toxicologique

Phase aqueuse

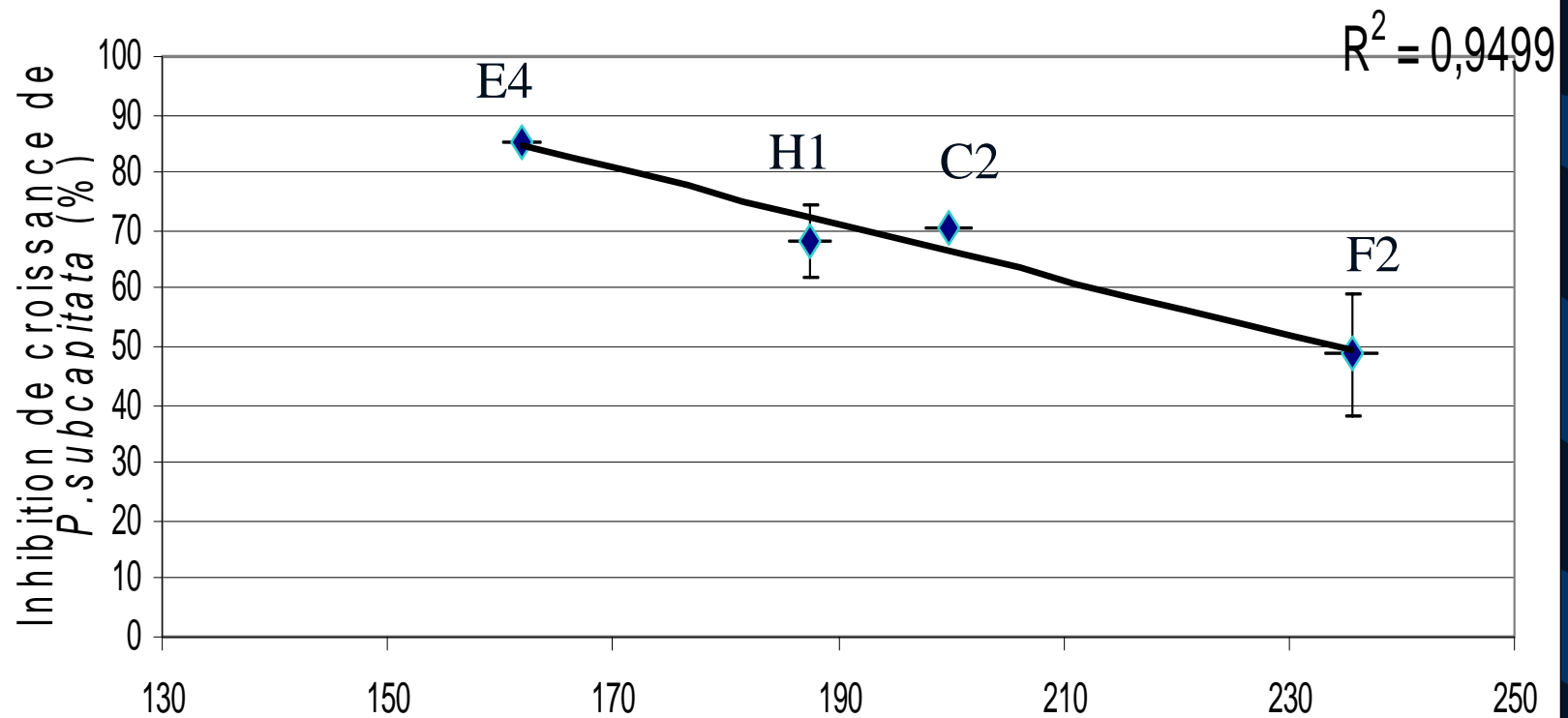
Croissance de l'algue





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

5. Stimulation algale par le phosphore

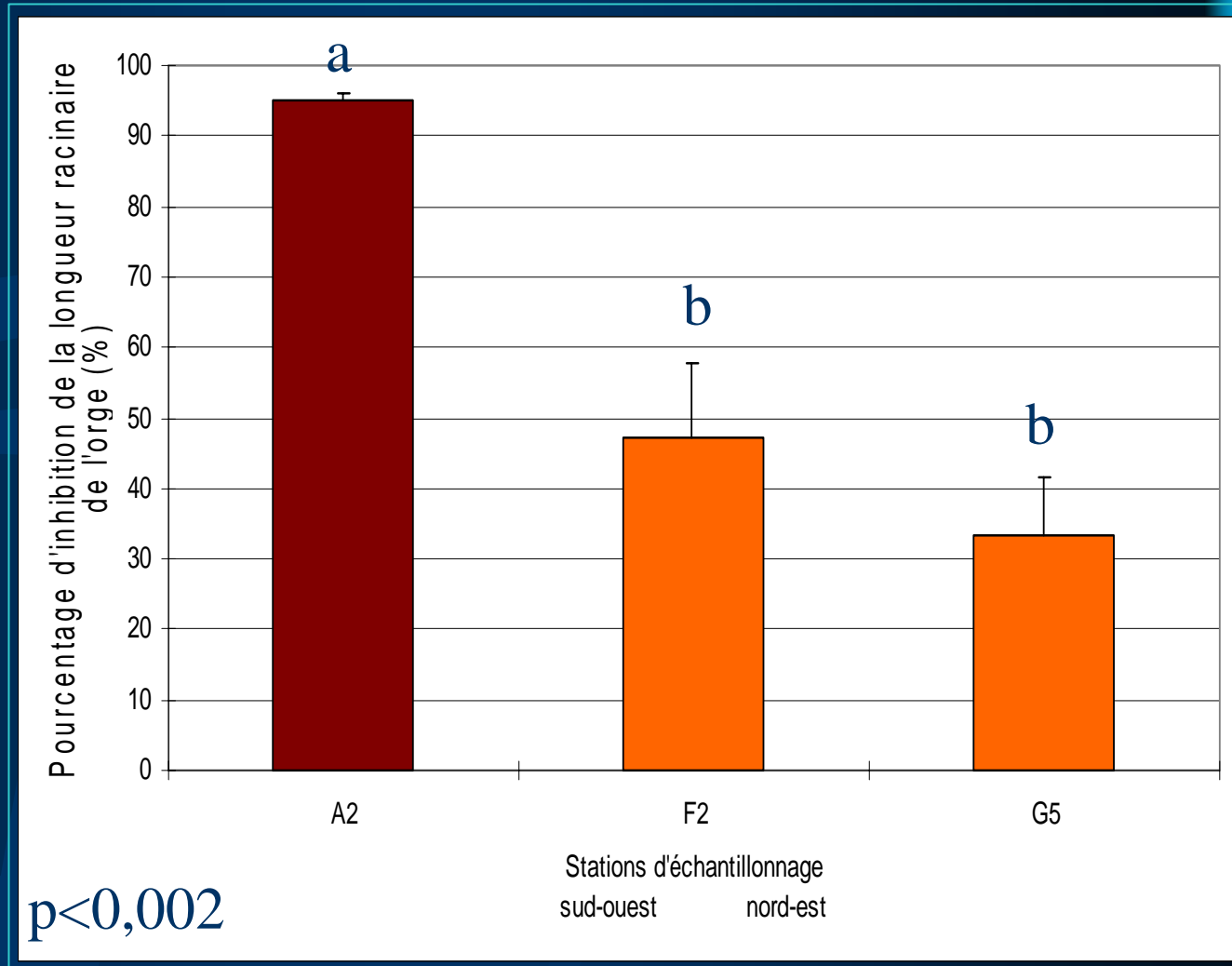


$p < 0,0254$ Concentration de phosphore disponible environnementalement (mg/kg)

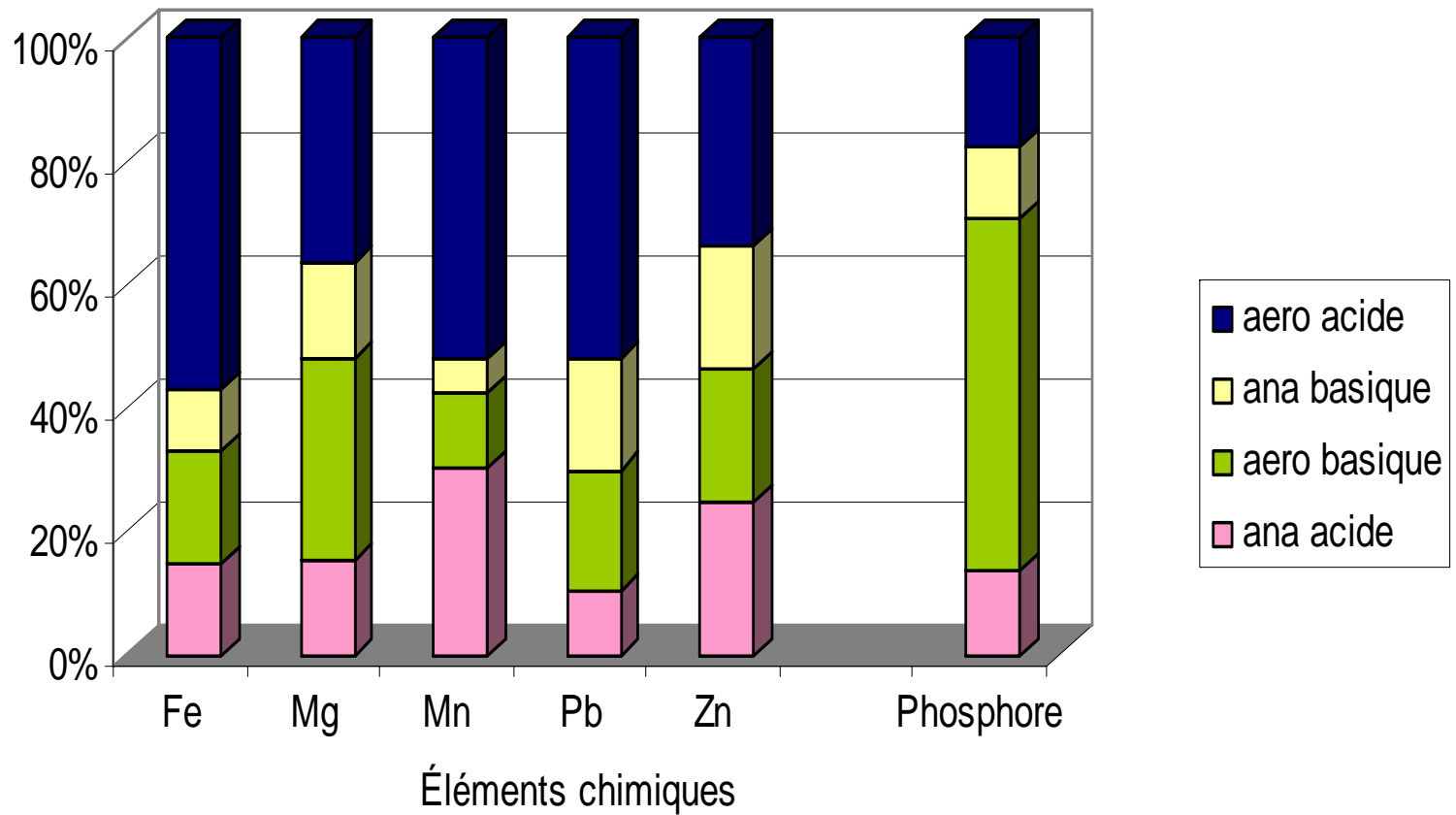
5. Biodisponibilité toxicologique

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 %).

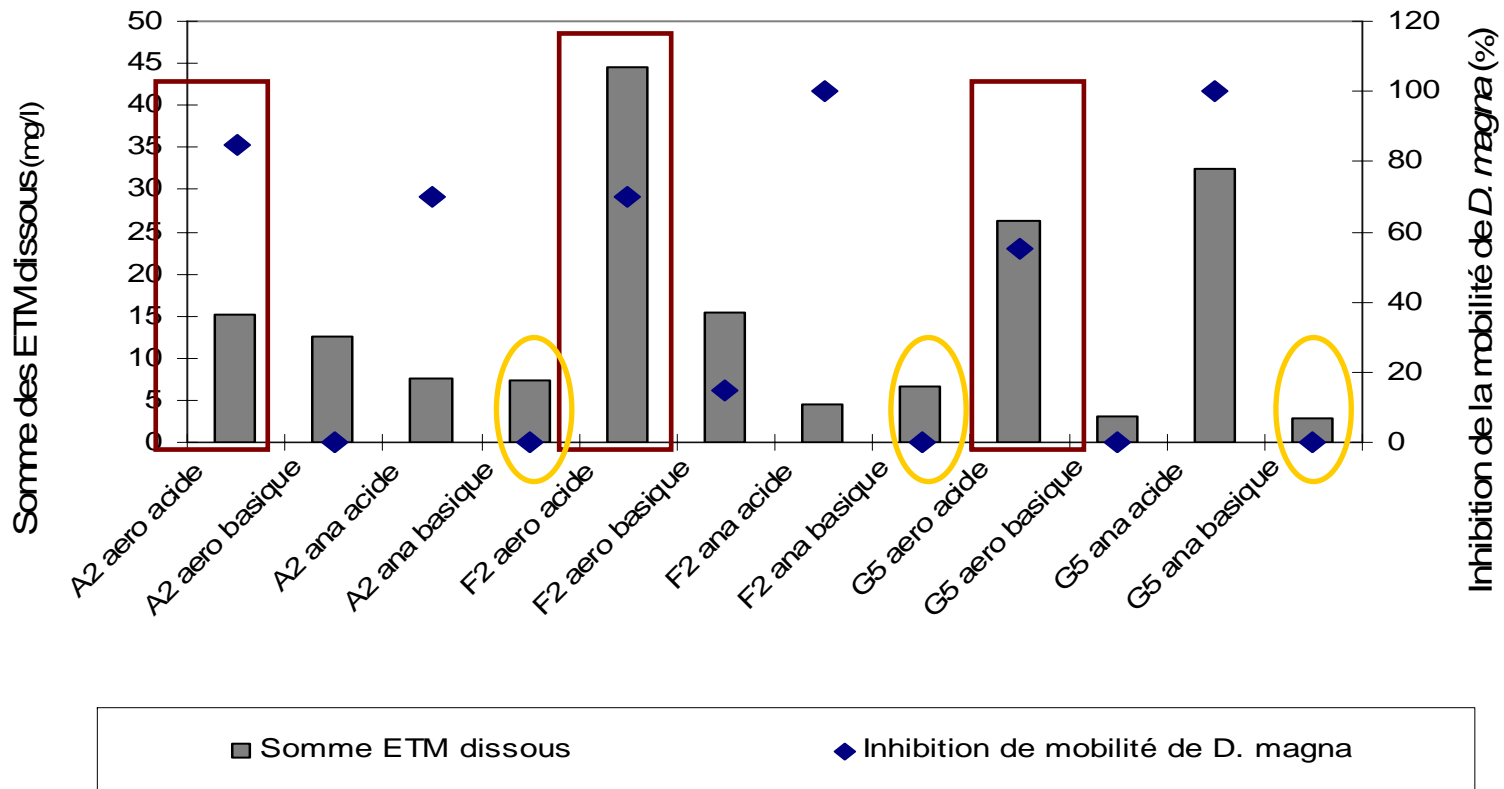


5. Essais de relargages des contaminants



5. Biodisponibilité toxicologique des relargages

Mobilité de la daphnie



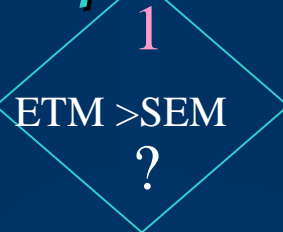
6. *Synthèse des résultats*

- 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

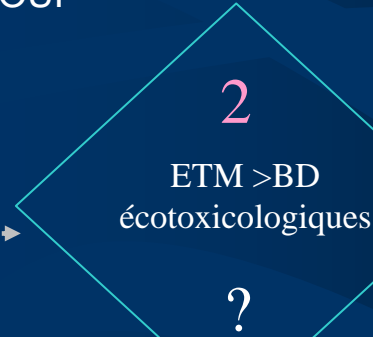
NIVEAU DE NOCIVITÉ

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

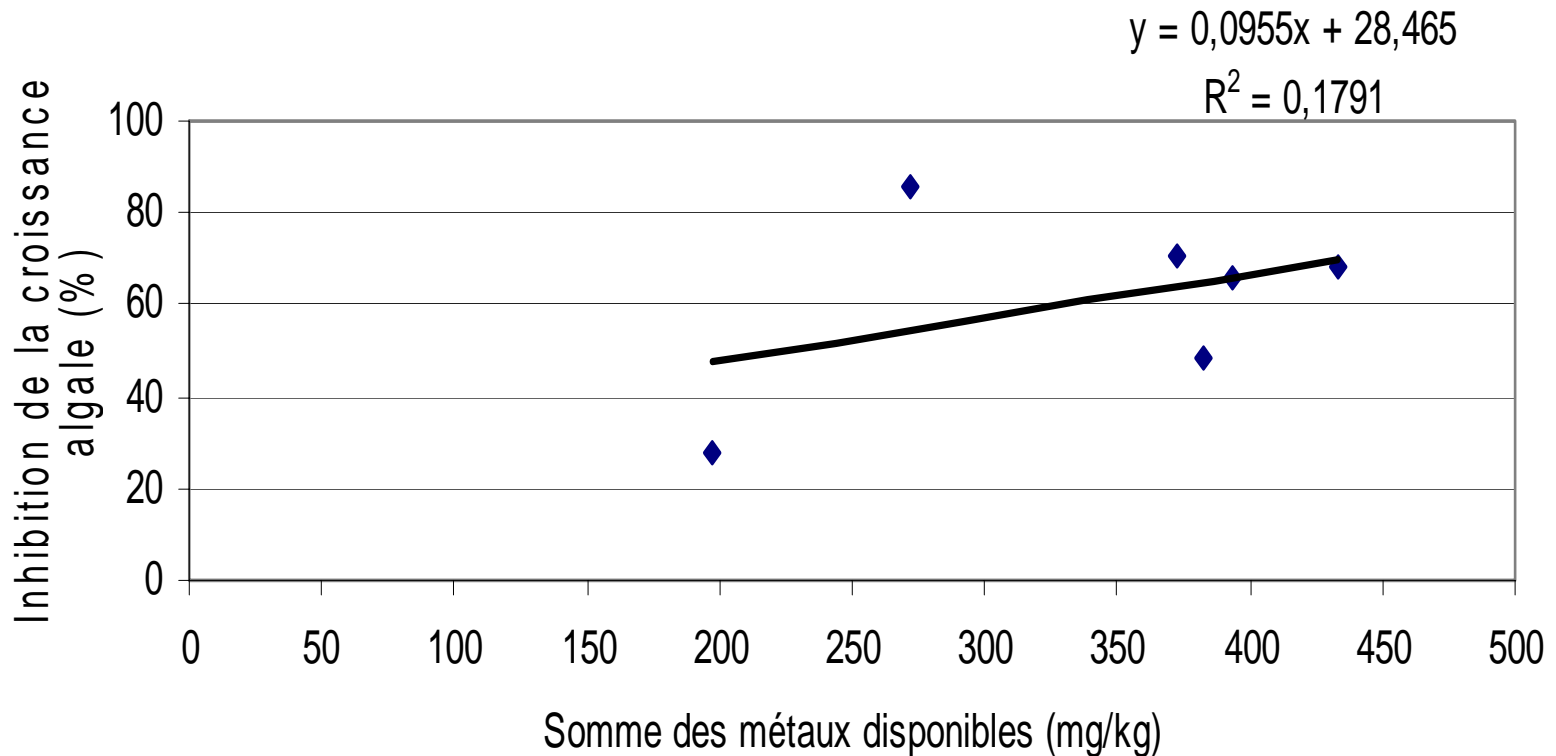
A scenic view of a lake at dusk or dawn. The sky is a mix of blue and grey, with scattered clouds. The water is calm, reflecting the sky and the surrounding landscape. On the left, there are trees and a house. In the distance, mountains are visible. The overall mood is peaceful and serene.

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

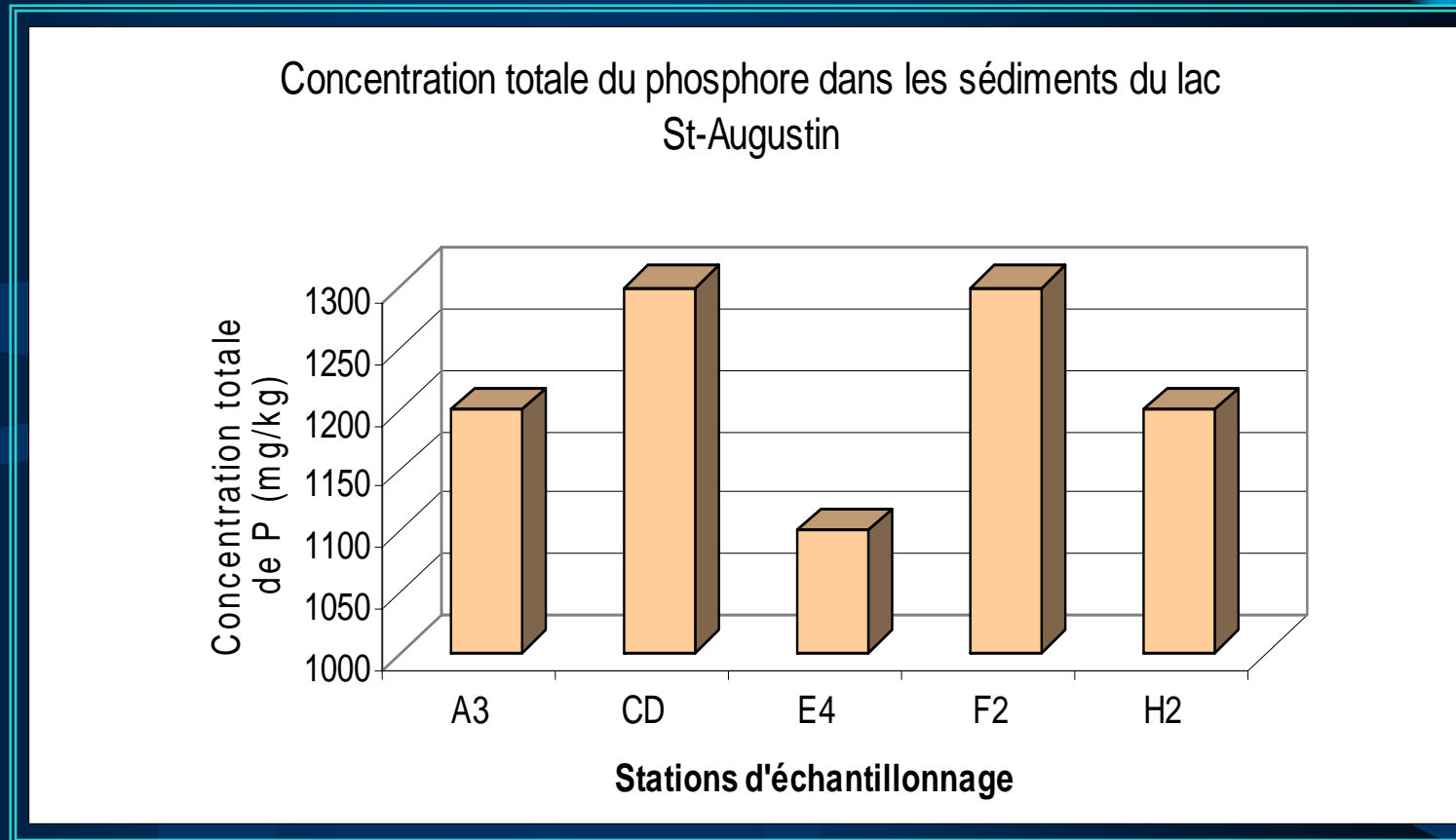


Disponibilité environnementale

- 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

