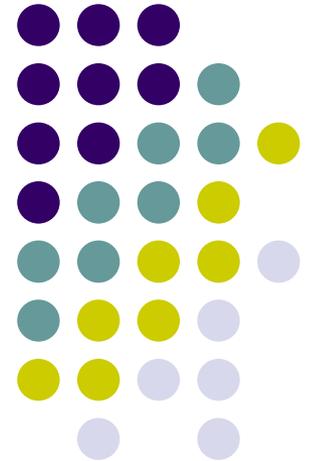


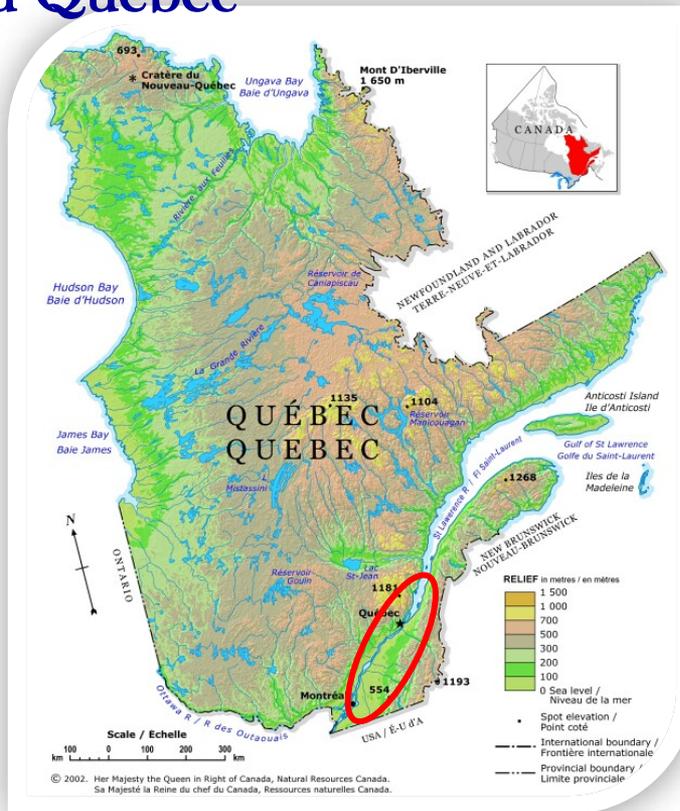
La restauration de lacs, l'approche intégrée par bassin versant, les techniques disponibles de restauration et le cas du Lac Saint-Augustin

R. Galvez-Cloutier, Ph.D., Ing.



MRC de Sources, Saint-Camille
Septembre 2013

Les lacs étudiés au Québec



Lac	Origine	Conditions de pollution
1. Baie Ha! Ha! et Fjord du Saguenay	Vallée sous-marine formée après le passage des glaciers aux parois rocheuses abruptes	Industries énergivores : Pâte de papier, Aluminerics (HAP, PBC, F)
2. Lac Champlain	Partie de la mer de Champlain / Formé lors des glaciations (USA-CAN)	Agriculture intense (P, N)
3. 154 lacs méridionaux + plusieurs autres	Souvent des émergences artésiennes d'eau souterraine a/s tributaires	Résidentiel , villégiature, récréation
4. Saint-Augustin	Lac artésien de tête (sans tributaire)	Forêt → agriculture → urbanisation

Impacts de la pollution sur les lacs



Les particules et matière en suspension (impacts physiques)

- Les particules (ex. sables, matière organique) provenant des effluents agricoles ou des écoulements superficiels routiers remplissent les lacs.
- Ceci crée de nouvelles zones pour la croissance de macrophytes et plantes et le lac devient un marais.
- Ces accumulations de particules peuvent altérer le débit de l'eau et réduire la profondeur de l'eau, ce qui rend la nage et navigation de plaisance plus difficile.
- L'eau devient trouble et empêche les poissons de voir la nourriture perturbant la chaîne d'alimentation naturelle. Les particules peuvent obstruer les branchies des poissons, réduisant la résistance à les maladies, l'abaissement des taux de croissance, et affecter les œufs de poissons et le développement des larves.
- La présence des particules augmente le coût du traitement d'eau potable

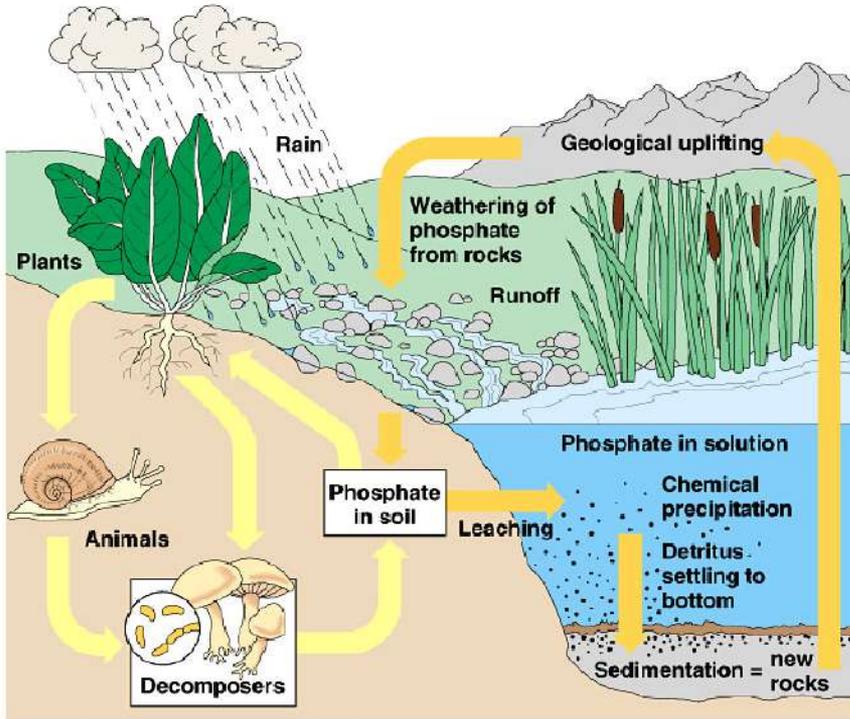
L'excès de nutriments (impacts chimiques, biologiques et toxiques)

- La croissance des algues affecte le goût, odeur, couleur (aspect esthétique) des eaux il rend difficile le traitement de potabilisation.
- Désoxygénation des eaux, conditions anaérobiques, mobilisation du Fe et Mn; production du CO_2 , NH_4 , CH_4 , H_2S .
- La présence de cyanobactéries pose de risques sanitaires et danger pour les baigneurs
- Mortalité de poissons et/ou développement d'espèces moins nobles
- Réduction de la biodiversité

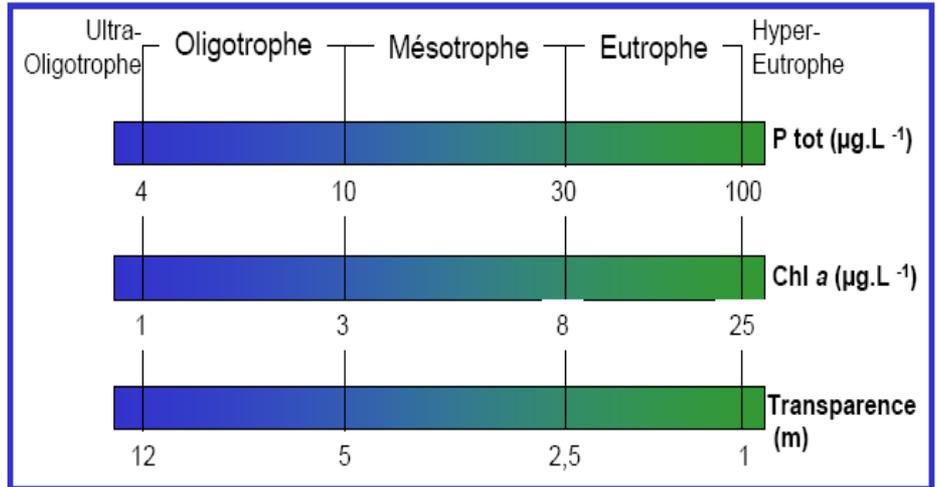
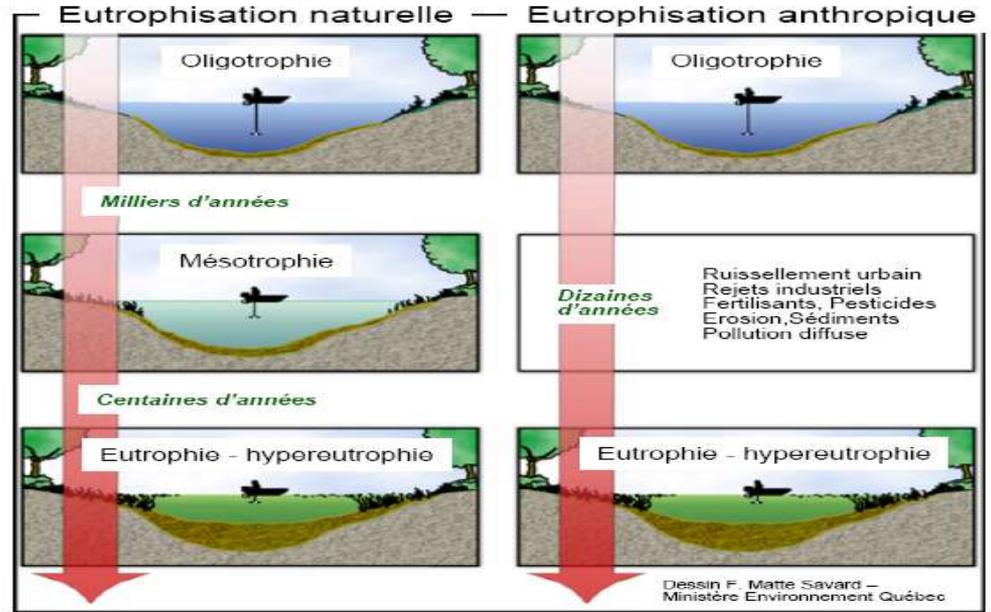


Eutrophisation de lacs

déséquilibre chimique et écologique



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.



La situation de lacs du Québec méridional

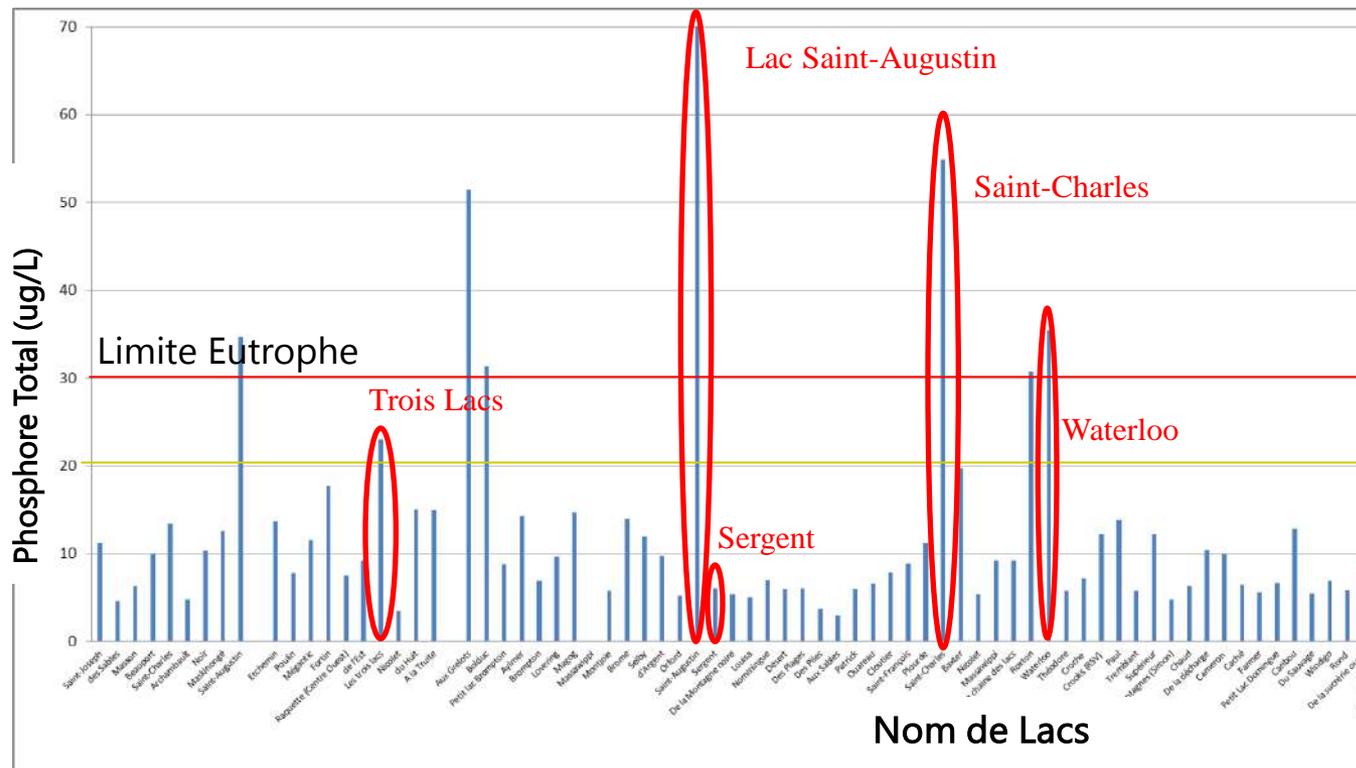


TABLE 4. Lakes needing eutrophication control measures

Order ^a	Lake
1.	Saint-Augustin
2.	Waterloo
3.	Saint-Charles
4.	Aux Grelots
5.	Brome Roxton
6.	Bolduc
7.	Abitibi
8.	Baxter
9.	Rond
10.	Bécancour
11.	Saint-Joseph
12.	Les trois Lacs
13.	Denison
14.	Aux Canards
15.	Brochet
16.	Rose
17.	Joli
18.	Fortin
19.	Ally
20.	Maskinongé
21.	Plourde
22.	Nairne
23.	Saint-Francois

Other lakes with TN/TP < 29

Petit Lac Brompton
Shelby
Argent
Orford
Magog

^aLakes listed from that with highest down to that with lowest TSL.

- Phosphore ↑ Biomasse ↑ Transparence ↓
- l'excès en Phosphore est la cause
- le P est l'élément pouvant être contrôlé
- la T est un bon moyen d'évaluer la qualité
- besoin d'impliquer les CBV et les citoyens

Plan de réhabilitation de lacs

Principes

- Protection de la santé humaine et de l'écosystème aquatique
- Respect des principes du DD (**réduction à la source**, élimination à l'intérieur du territoire, solution permanente,...)
- Plan de restauration en considérant tout le bassin versant (surface et souterrain)
- Priorité pour les actions *in-situ*
- Implication de tous les acteurs (citoyens, municipalités, commerces,...)

Objectifs à viser

- Évaluer et comprendre le régime hydraulique/hydrogéologique du BV
- Identifier les sources, étudier les contaminants et ses interactions
- Établir un plan, actions et calendrier
- Proposer des solutions innovatrices et écologiques (éco-engineering)

Exemples d'études (cas du LSA)

- Diagnostic globale de la qualité des eaux dans le BV
- Étude du problème d'eutrophisation ($P_{\text{sédiments}}$, cyanobactéries)
- Évaluation de l'étendu de la contamination par des EMT (Pb, Cd, Ni,...)
- Évaluation des impacts dus aux sels de déglçage (NaCl)
- Projet 1 – Développer un traitement *in-lake* pour le contrôle du P
- Projet 2 – Développer un traitement pour les eaux du ruissellement routier
- Conduire des essais pilotes pour les projets 1 et 2 et faire le suivi de...

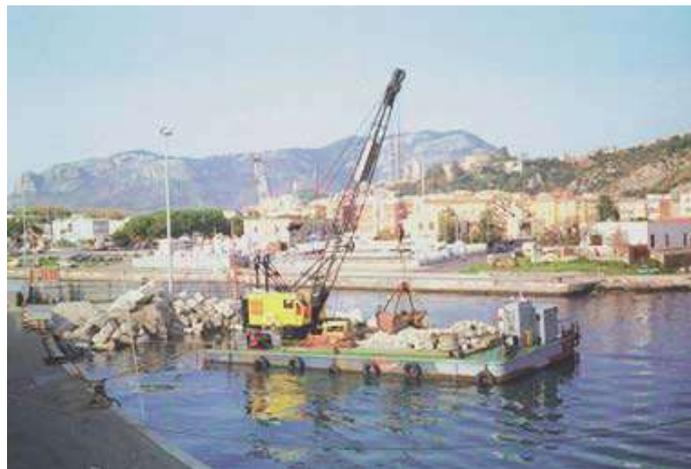
Solutions à la problématique de sédiments: dragage et recouvrement

Critères et exigences pour le dragage

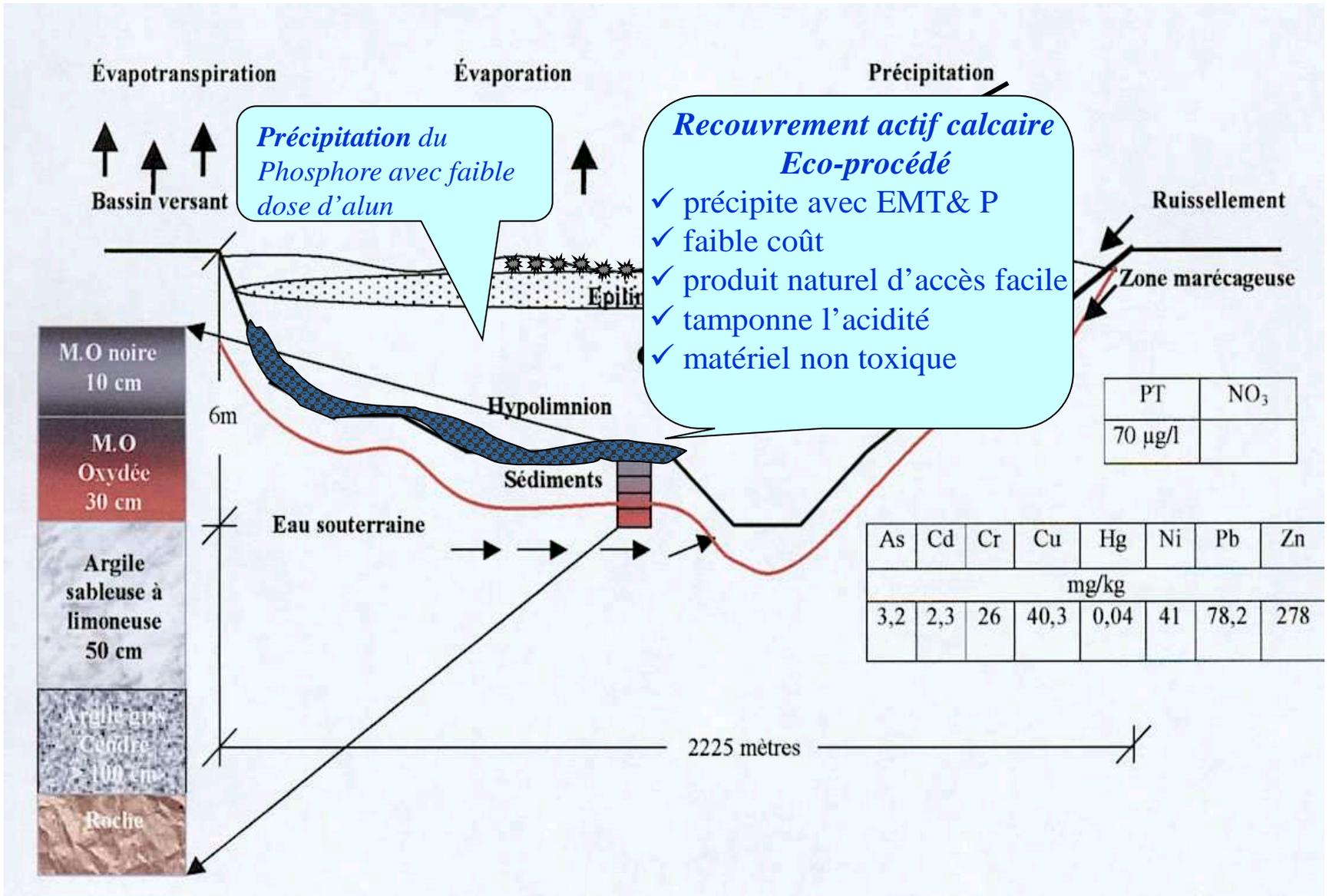
- **Volume estimé:** courbes bathymétriques, profil géologique, degré de compaction, profil par carottage.
- **Caractérisation des matériaux:** roches, gravier, débris, MO, argiles mais aussi bilan algale (paléolimno.) et toxicité.
- **Choix d'un technique de dragage** →
- **Élimination des sédiments dragués:** caractérisation physico-chimique
- * **Évaluation des impacts environnementaux** du dragage: traitement, élimination, recyclage, récupération des milieux/activités

Techniques de dragage sur ponton monté ou sur barge

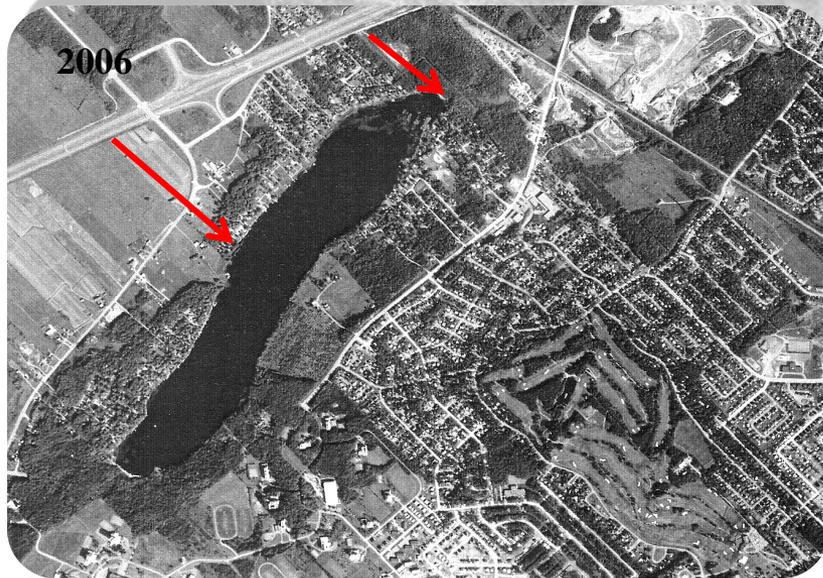
Par pompage, succion, aspiration
Par dynamitage
Par drague/benne suceuse 75
Par drague/benne pelleteuse
Par burinage



Autres techniques : coagulation et recouvrement actif



Le cas du lac Saint-Augustin



Le passé:

- Forêt → agricole → urbain
- Nécessité d'un réseaux de transport

Le présent :

- Lac à état hyper-eutrophe, les sédiments sont contaminés avec des nutriments, métaux traces, sels de déglacage.
- La majorité des sources externes ont été contrôlées excepté pour 2 tributaires ruissellement routier

Hydrogéologie du bassin versant

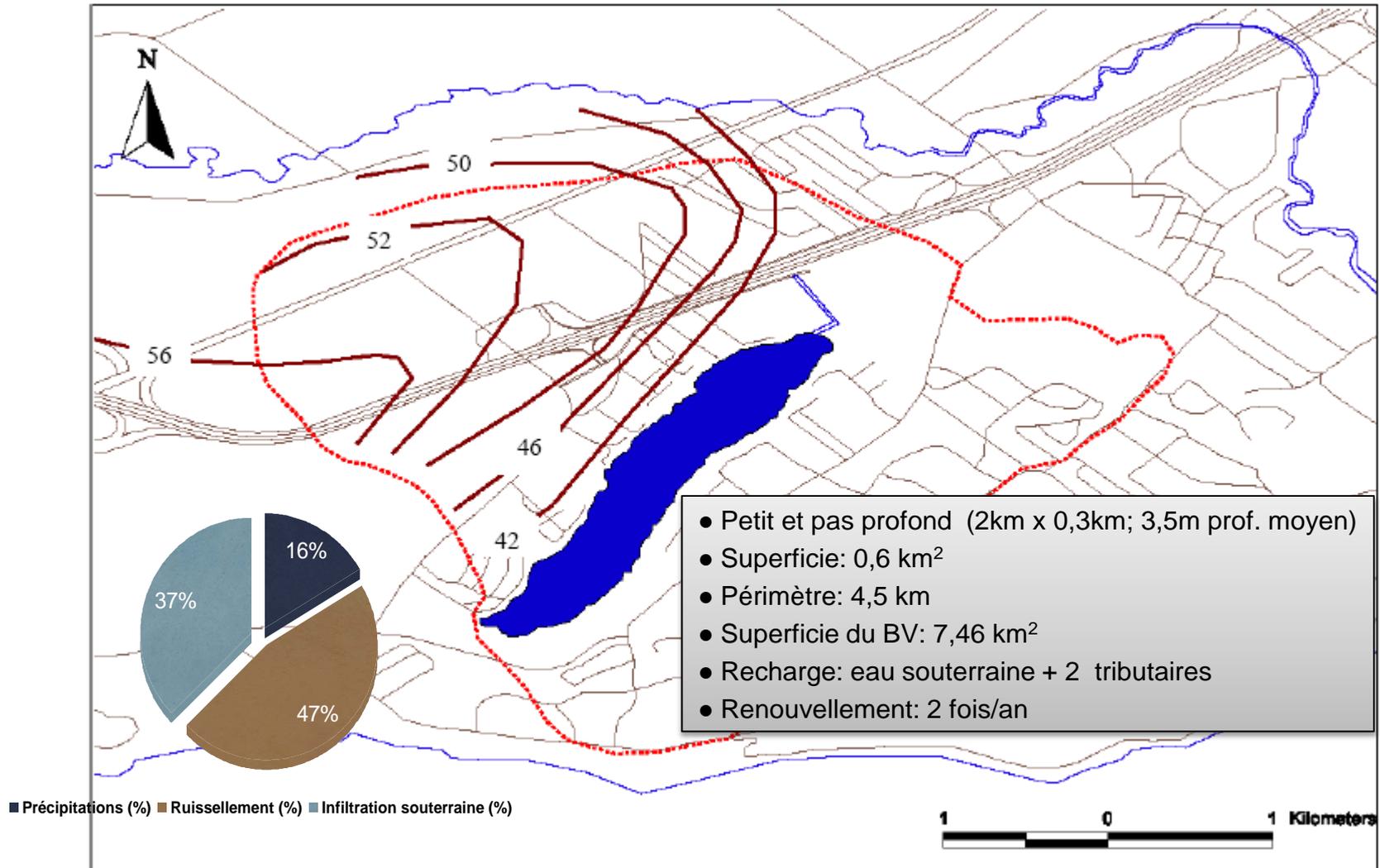


Figure 12. Carte des isopièzes du côté nord du Lac Saint-Augustin (unités en m.s.n.m.)

« Grande Corvée » du CBLSA

Élimination/contrôle des sources externes de pollution

+

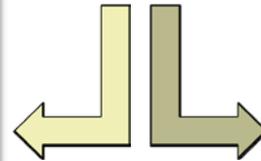
Gestion des sédiments – Essais Pilotes

Ville de Québec + U. Laval + CRSNG + MDDEP + Ville de
STA + MTQ + MDEIE + Dessau + ...

Volet I: Coagulation-floculation et recouvrement actif

Suivre les changements physico-chimiques avant, pendant et après ces manipulations

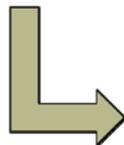
Étude sur l'éco-compatibilité



Volet II : Dragage et séparation de phases solide-liquide

Suivre les changements physico-chimiques avant, pendant et après ces manipulations

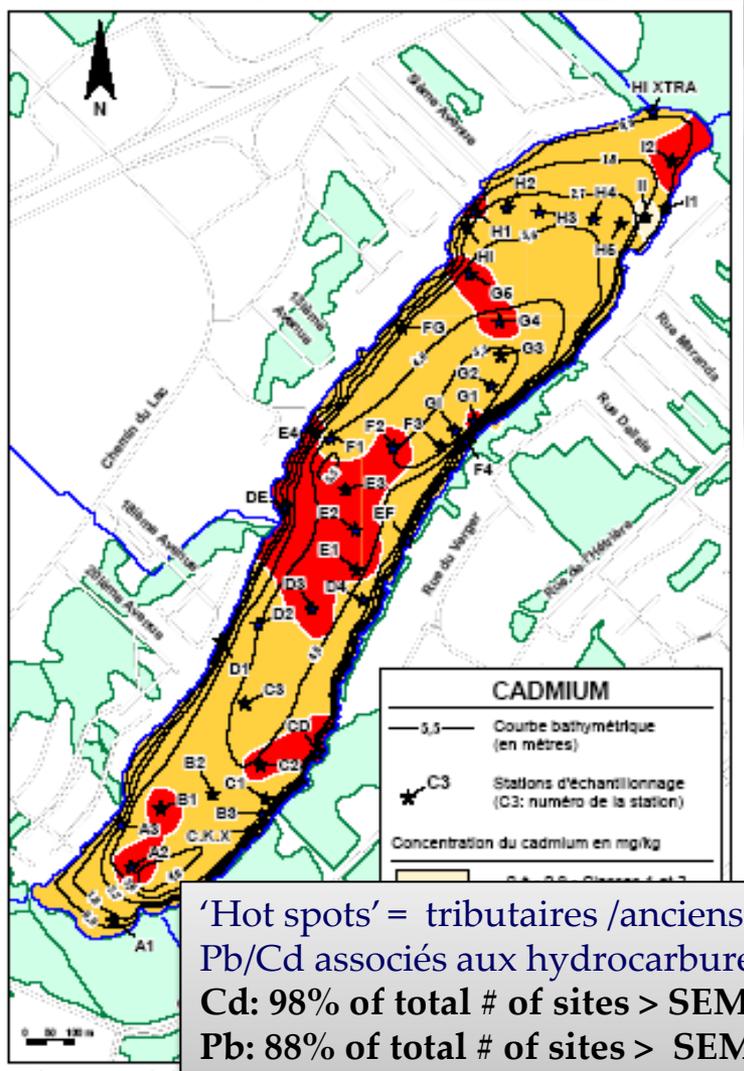
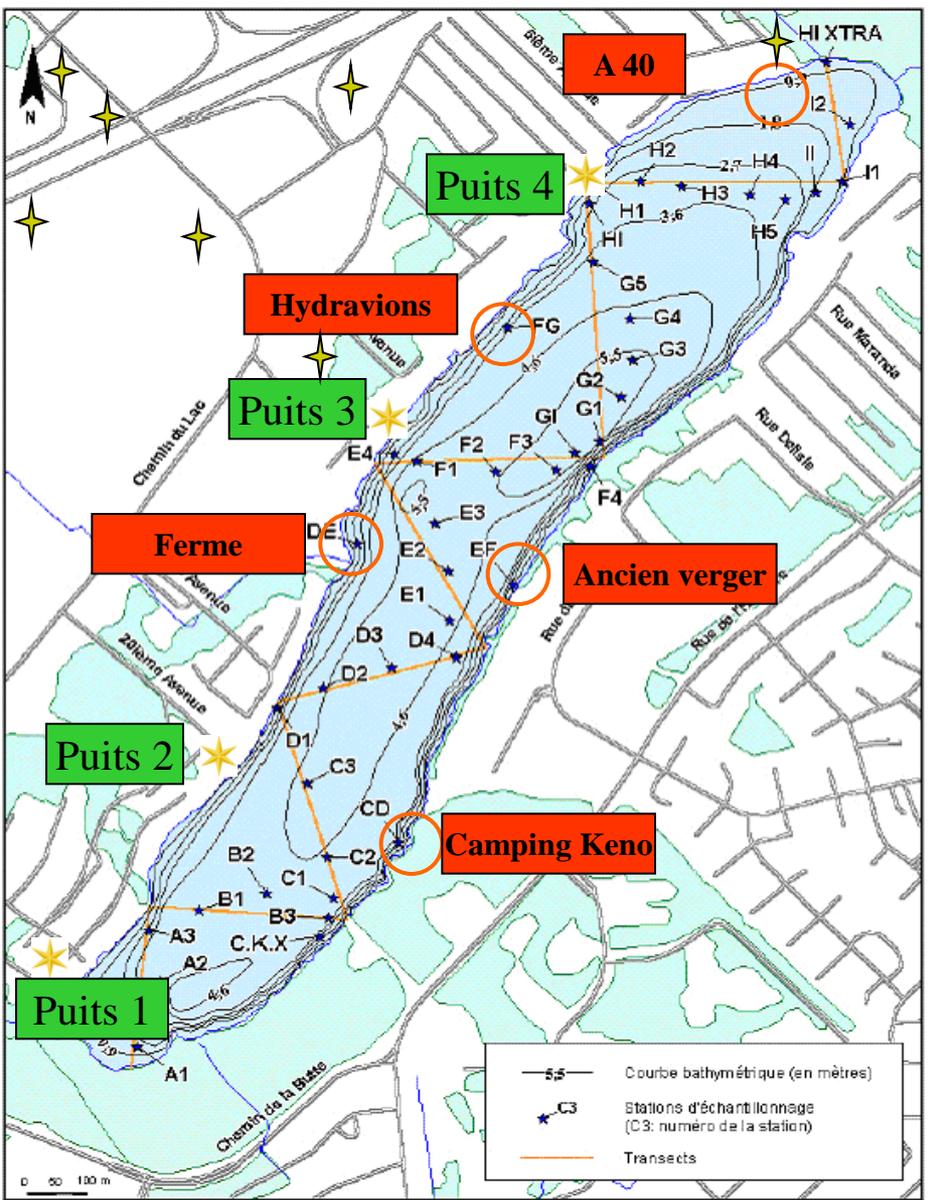
Élimination de sédiments dragués



Analyse comparative: technique, environnementale, sociale



Identification de sources - contamination de sédiments



'Hot spots' = tributaires / anciens sources Pb/Cd associés aux hydrocarbures?
 Cd: 98% of total # of sites > SEM
 Pb: 88% of total # of sites > SEM
 Situation similaire pour Cu, Zn, Ni

Essais pilotes en plateforme et enclos



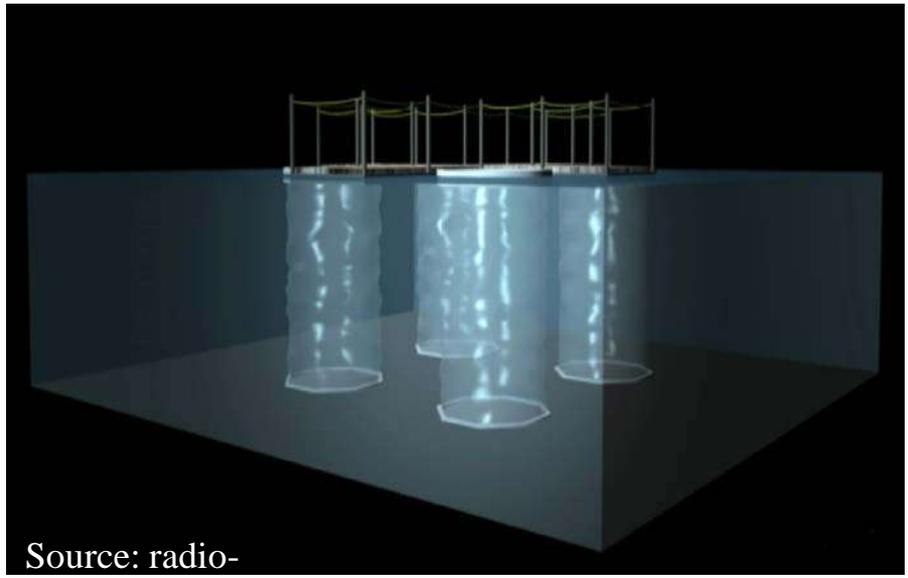
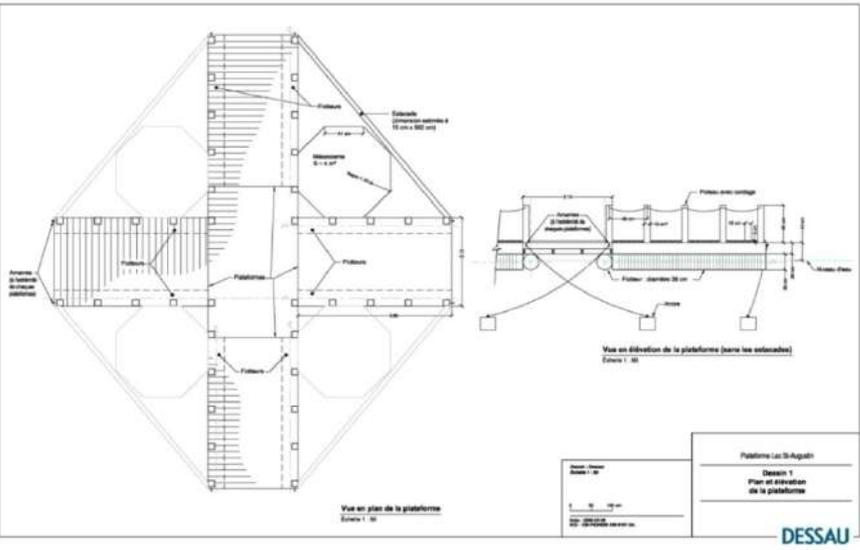
Site I (2009):

- Zone prioritaire

Site II (2011):

- Zone de haute sédimentation
- Zone de relarguement de P par sédiments récents

Essai pilotes – la plateforme



Source: radio-

Module A/AC - Application alun en 2 étapes: mélange rapide et lente



Phase d'agitation rapide de 7 minutes (coagulation) et d'agitation lente de 2 heures (floculation)

Agitation à l'aide d'une pompe submersible Flygt Ready 4

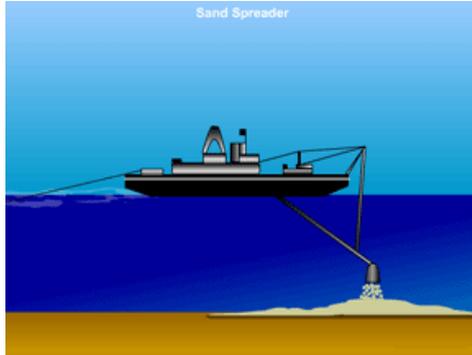
Utilisation des embouts en forme de T ou double T avec restrictions

Balayage vertical de la colonne entre la surface et la mi-hauteur lors de l'agitation

Injection à l'aide d'une pompe doseuse à un débit de 400 ml/minute, alun concentré à 640 mg/ml

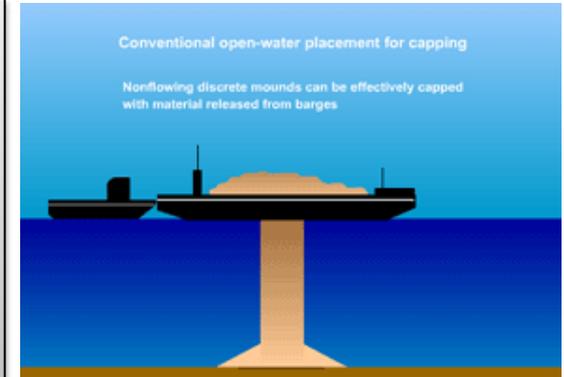
Sédimentation post-traitement d'un minimum de 72 heures

Modules AC/C: application des matériaux granulaires



Deux façons d'éteindre le calcaire

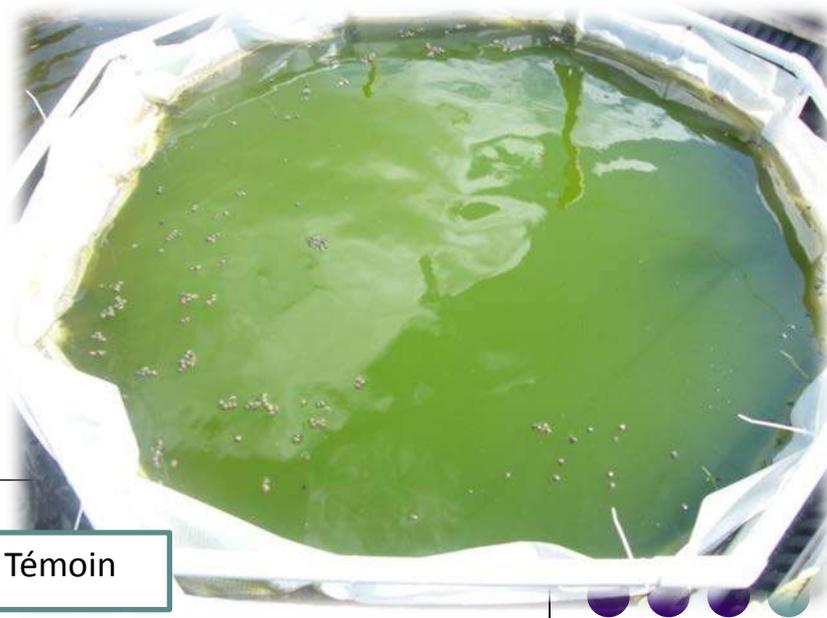
- Diffuseur-bras télescopique \$\$: la perturbation est minime au fond, important lors de présence de floccs Al.
- Épandage \$: perturbation du fond, permet d'utiliser le pouvoir coagulant de la calcite.



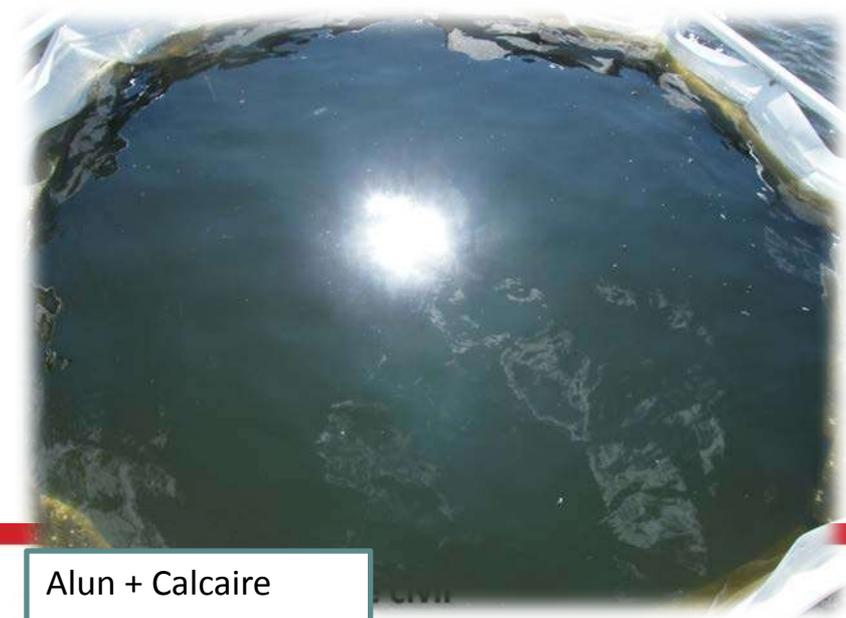
Modules en date du 07 août 2009 (30 jours après le début de traitements)



Alun seul



Témoin



Alun + Calcaire



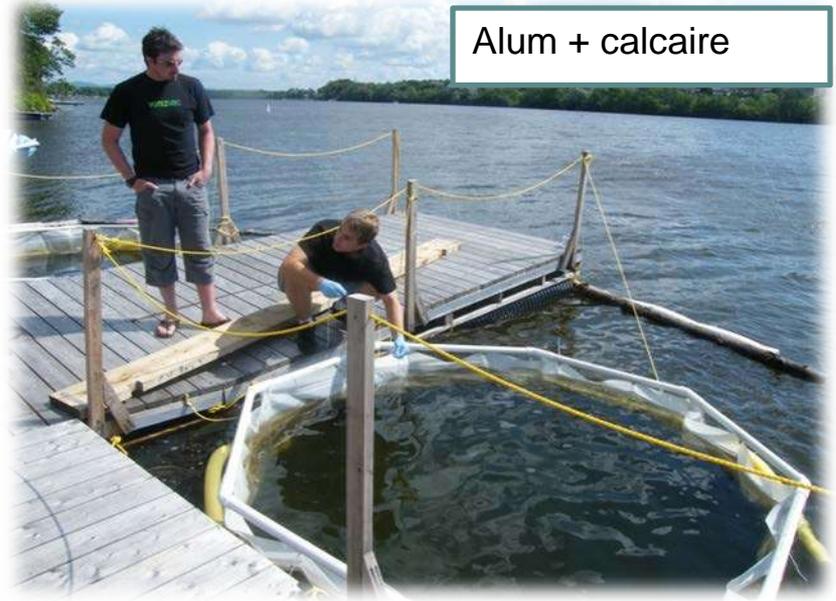
Calcaire seul

Témoin vs AC - 30j après le traitement

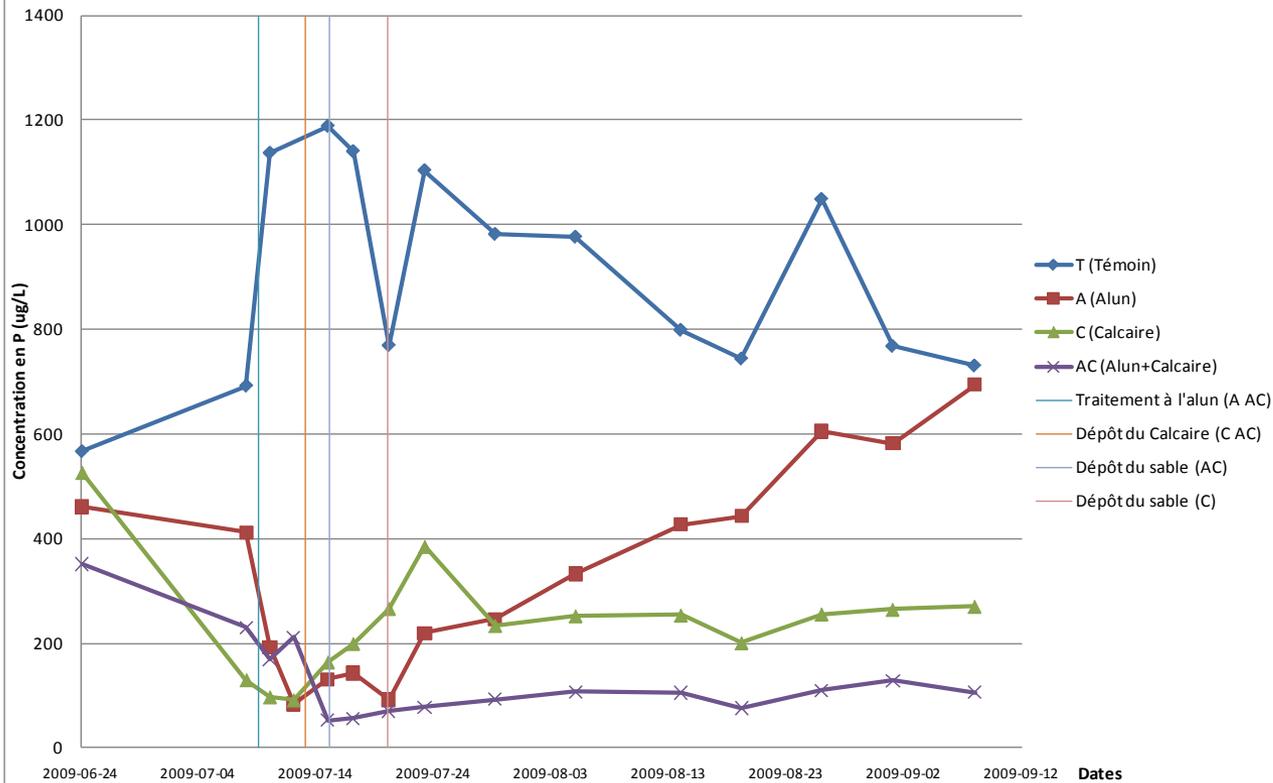
Témoin



Alum + calcaire



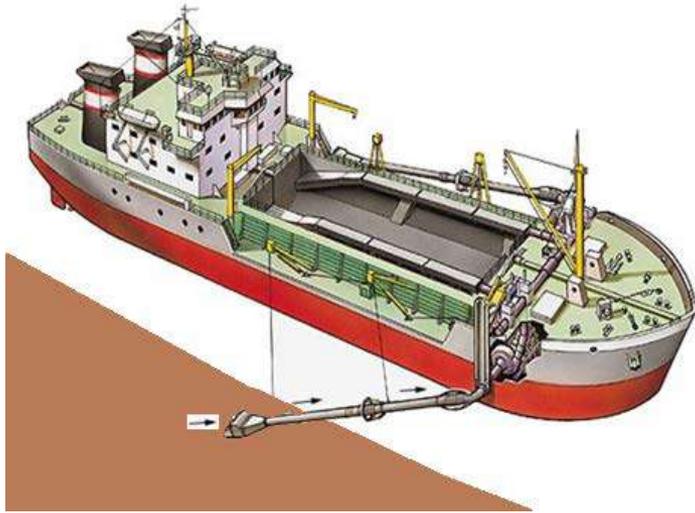
Concentration des orthophosphates dans chacun des enclos



Traitement	Efficacité (To)	Efficacité (Tf) (3 mois après)
Aucun	0%	31%
Alun seul	92%	41%
Alun + calcaire	96%	88%
Calcaire seul	92%	90%

Pilote 2 – Dragage

Dragage hydraulique + séparation solide-liquide



Dragage mécanique + séparation solide-liquide



Enclos	Traitement	Post-traitement sédiments
Module témoin T	aucun	-
Module H	dragage hydraulique	Coagulation+filtration (geotube et/ou polymère)
Module M	dragage mécanique	Décantation
Lac-colonne d'eau libre L	aucun	-

Dragage hydraulique



Utilisation d'une motopompe



Sédiments dragués Humidité= 95%

Dragage mécanique



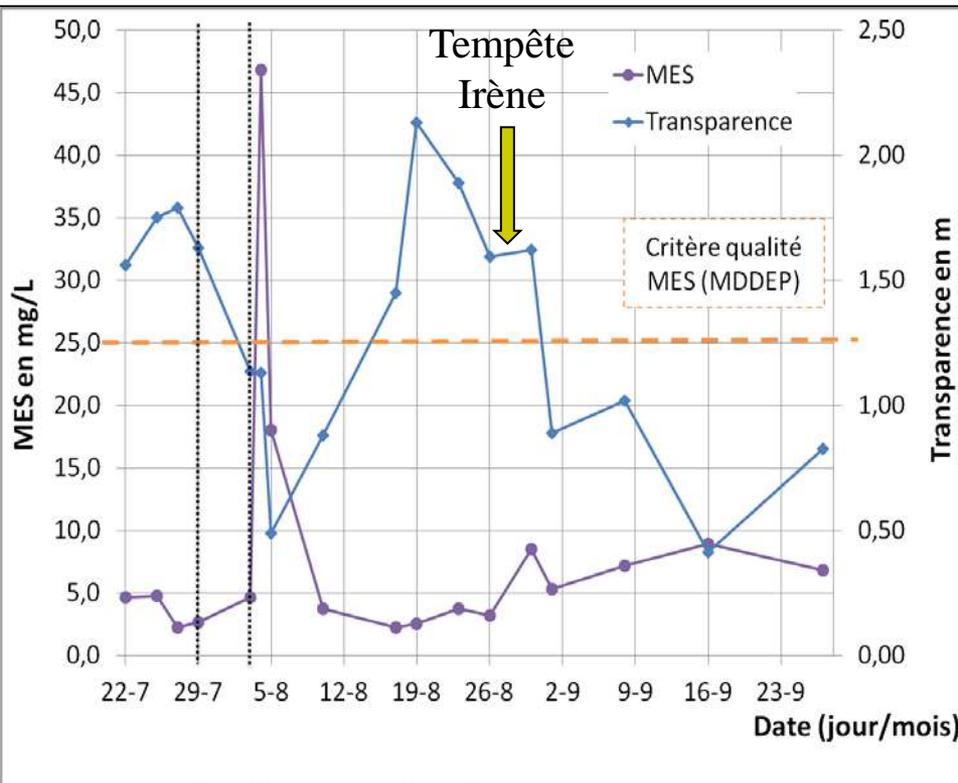
Sédiments dragués, Humidité =75%



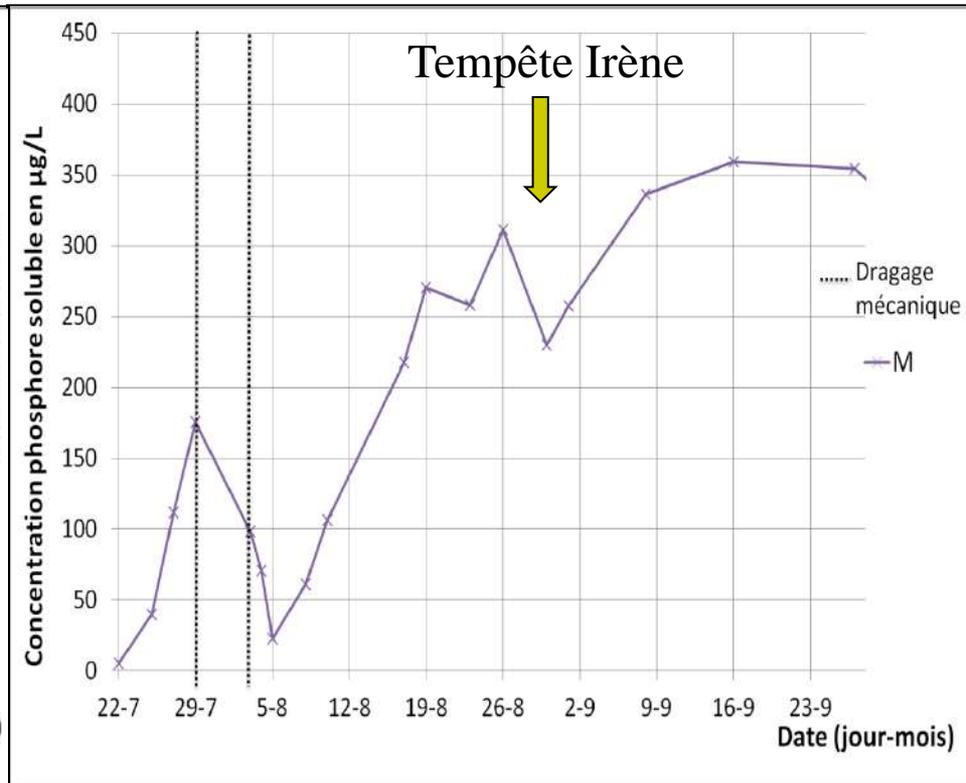
2 jours après le dragage mécanique – haute turbidité

Résultats Dragage mécanique

MES et transparence

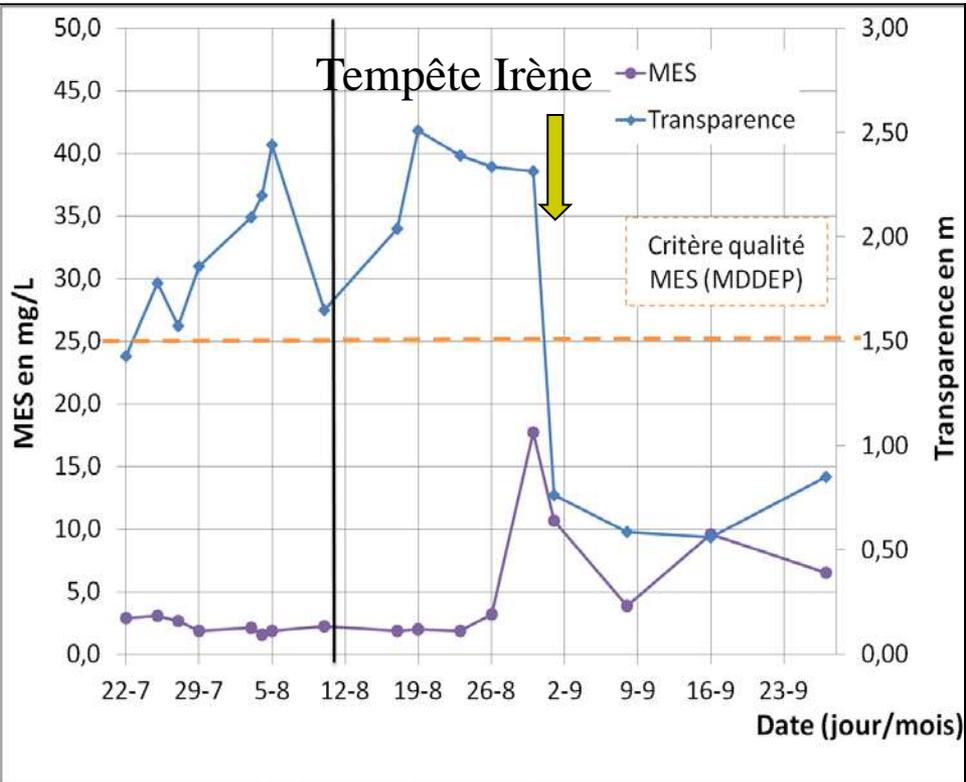


[P_{soluble}] moyenne

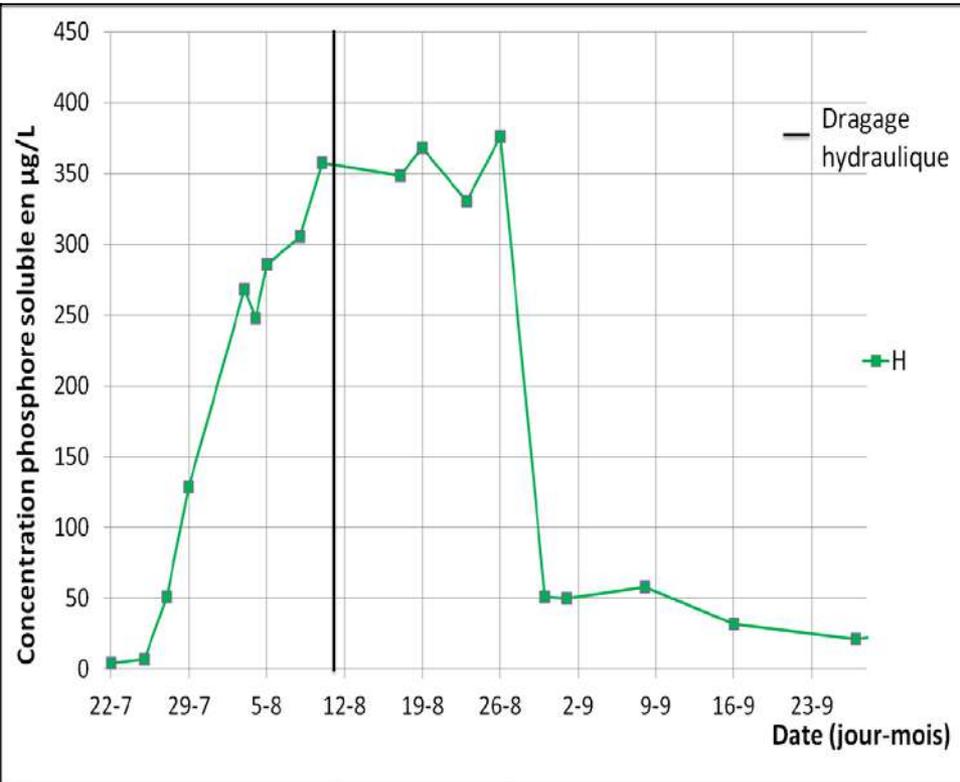


Résultats Dragage hydraulique

MES et transparence

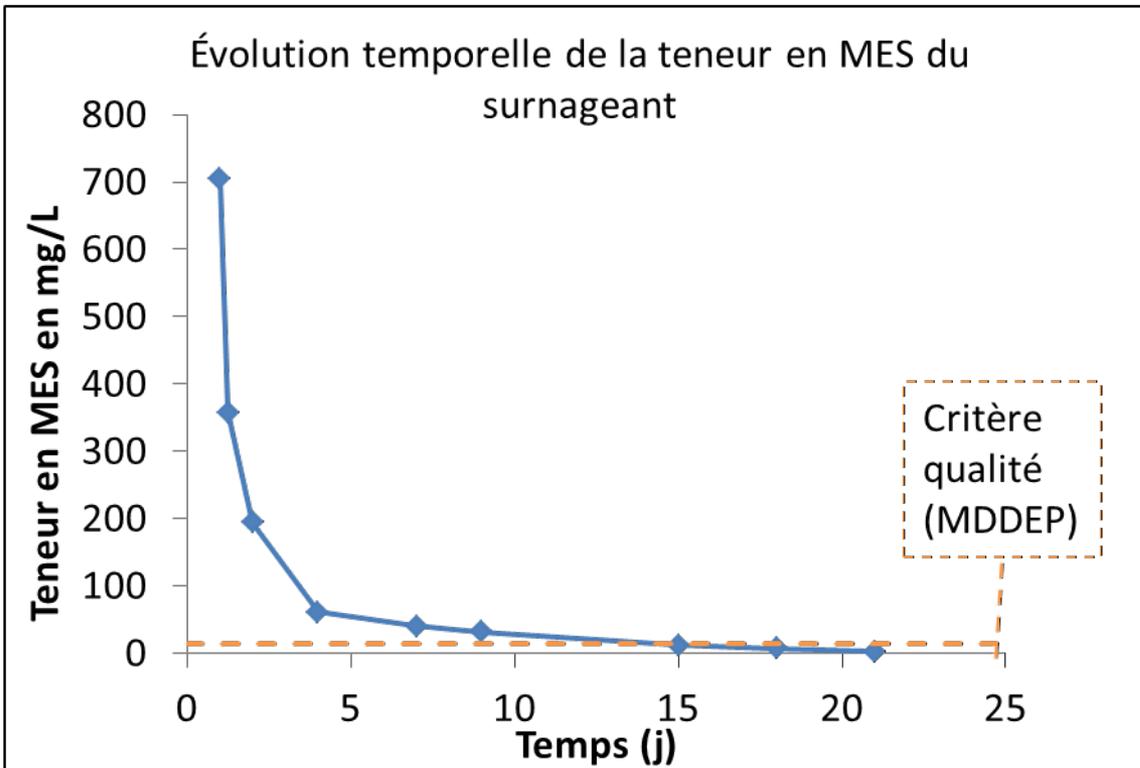


[P_{soluble}] moyenne dans l'enclos H



Séparation liquide-solide

Décantation libre avec les sédiments du dragage mécanique



Après 15 jours:

- teneur en MES < CQ
 $12 < 14 \text{ mg/L}$
- $[P_{\text{soluble}}] < 10 \mu\text{g/L}$
- métaux < LD



Phase liquide peut être retournée au lac

Séparation solide - liquide

- Coagulation/floculation avec polymère
- Analyse de sédiments traités

Contaminant	Concentration après décantation en mg/kg	Seuils de niveau B pour sols contaminés en mg/kg *
Phosphore	810	-
Cadmium	2,7	20
Plomb	89	1000
Zinc	221	1500
Cuivre	57	500
Nickel	71	500
Chrome	57,5	800



Sédiments dragage hydraulique



Ajout du polymère et mélange



sédiments recyclables?

Comparaison et conclusions

Traitement	Efficacité réduction en P soluble (%)
Coagulation et recouvrement actif	95
Dragage hydraulique	88
Recouvrement actif	71
Coagulation	0
Dragage mécanique	0

Traitement	Durabilité en années
Dragage hydraulique	> 100
Dragage mécanique	> 100
Coagulation et recouvrement actif	≈ 30
Recouvrement actif	≈ 30
Coagulation seule	≈ 0

Traitement <i>in situ</i>	Poste	Coût \$/m ²	Coût total par traitement (\$/m ²)
Coagulation + recouvrement actif	Matériaux (transport inclus)	6,70	9,70
	Réalisation	3,00	
Dragage hydraulique + traitement des sédiments dragués hydrauliquement	Dragage	6,30	11,15
	Coagulation-filtration des sédiments	4,85	
Dragage mécanique + traitement des sédiments dragués mécaniquement	Dragage	8,13	9,09
	Décantation	0,96	



Merci!



DESSAU

