



## Les cultures intensives de saules sur courtes rotations : des systèmes agronomiques pour solutionner des problèmes environnementaux

Michel LABRECQUE<sup>1</sup>, M.Sc., conservateur-professeur associé,  
et Werther GUIDI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut de recherche en biologie végétale,  
Université de Montréal et Jardin botanique de Montréal,  
4101 est rue Sherbrooke, Montréal (Québec) H1X 2B2

**Mots clés** : culture intensive sur courtes rotations, saules, biomasse, boues usées, lisiers

### INTRODUCTION

La culture intensive sur courtes rotations (CICR) de plantes ligneuses constitue une technologie spécifique de production à haute densité qui utilise des méthodes agricoles afin de maximiser la productivité. Suivant ce mode de culture, les parties aériennes des plantes sont récoltées sur des cycles courts de deux, trois ou quatre ans selon les rendements en laissant au sol les souches et leurs racines et permettant l'émergence de rejets qui pourront être récoltés à leur tour quelques années plus tard. L'opération peut se répéter plusieurs fois (jusqu'à 7 ou 8 cycles selon les régions) tout au long de la vie productive d'une plantation. Depuis près de 20 ans, des travaux de recherche sur les CICR de saules sont conduits à l'Institut de recherche en biologie végétale (IRBV). Ceci a permis de démontrer que, dans des bonnes conditions, des rendements annuels appréciables de plus de 15 tonnes sèches par hectare pouvaient être obtenus et maintenus d'un cycle à l'autre (Labrecque et Teodorescu 2003, 2005; Volk *et al.*, 2011; Guidi et Labrecque, 2012).

Au départ, tant en Europe qu'en Amérique du Nord, les CICR de saules étaient principalement destinées à la production de biomasse énergétique (Sennerby-Forsse *et al.*, 1992). Au cours des dernières années, on a envisagé d'exploiter leur formidable potentiel de croissance pour des contextes davantage liés à des problématiques environnementales (Kuzovskina et Volk, 2009), cherchant ainsi à utiliser les CICR de saules pour engendrer des bénéfices environnementaux (Lockwell *et al.*, 2012).

C'est donc dans cette perspective que plusieurs études ont été entreprises et conduites par notre équipe de recherche au cours des récentes années.

### TRAITEMENT DES EAUX USÉES

Dans le cadre d'un projet de Laboratoire rural, une étude a été amorcée en 2008 afin d'étudier la capacité d'une plantation de saules en CICR pour traiter une partie des eaux usées de la Municipalité de Saint-Roch-de-l'Achigan en utilisant la biomasse produite pour le chauffage de l'école du village. Tout en réalisant une belle boucle environnementale, il s'est avéré que, sous ces conditions, les saules étaient non seulement très efficaces pour retenir les nutriments apportés par les eaux usées, mais atteignaient des rendements en biomasse jamais rapportés au Canada. Les résultats démontrent également que des volumes dépassant 6000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> d'eau usée pouvaient être appliqués sans impact négatif pour l'environnement.

## **TRAITEMENT DES LISIERS DE PORCS**

L'épandage excessif de lisiers et la conséquence néfaste pour l'environnement de l'enrichissement en azote et en phosphore des plans d'eau (Carpenter, 1998; Redding, 2001; Wang, 2004), nous ont aussi amenés à proposer d'utiliser des plantations de saules pour le traitement de ces déchets. L'épandage de lisier apportant aux plantations des doses croissantes jusqu'à 600 kg de N ha<sup>-1</sup> a été expérimenté. Nous en avons conclu que l'application de lisier de porc pouvait stimuler la croissance des saules et permettre d'atteindre, après seulement deux saisons de croissance, des rendements de l'ordre de 33 t/ha. L'application de lisier, même avec des niveaux aussi élevés que ceux testés, n'a pas entraîné de lessivage d'azote ou de phosphore de façon significative. Nous sommes cependant conscients que l'application répétée de lisier constituerait sans doute un plus grand risque pour l'environnement (Cavanagh *et al.*, 2011).

## **BANDES RIVERAINES**

Plus récemment, un projet visant à étudier l'impact de bandes riveraines faites de saules plantés selon différentes densités a été entrepris afin d'étudier leur rôle possible dans l'interception de fertilisants et des pesticides (notamment du glyphosate) utilisés en agriculture. L'étude interdisciplinaire s'intéresse tant au suivi dans le sol, la plante de même que dans les cours d'eau et comporte un volet socio-économique.

Dans maintes régions au Québec, des plantations de saules ont été établies. Reste que l'exploitation sur une base commerciale de celles-ci tarde à réellement exploser. C'est une question de marché qui freine ce développement, les utilisateurs de biomasse ligneuse n'étant pas encore au rendez-vous.

## **RÉFÉRENCES**

- Cavanagh, A., M.O. Gasser et M. Labrecque. 2011. Pig slurry as fertilizer on willow plantation. *Biomass and Bioenergy* Volume 35 (10): 4165-4173.
- Guidi W. et M. Labrecque. 2012 Il salice nel controllo del degrado ambientale: L'esperienza canadese nell'ambito delle fitotecnologie. *Sherwood* 184: 41-45
- Kuzovkina, Y.A. et T.A. Volk. 2009. The characterization of willow (*Salix* L.) varieties for use in ecological engineering applications: coordination of structure, function and autecology. *Ecological Engineering* 35, 1178-1189.
- Labrecque, M. et T.I. Teodorescu. 2003. Biomass yield and nutrient uptake of *Salix* clones after two 3-year coppice rotations on southern Quebec, Canada. *Biomass and Bioenergy* 25 (2): 135-146.
- Labrecque, M. et T.I. Teodorescu. 2005. Field performance and biomass production of 12 willow and poplars in short-rotation coppice in southern Quebec (Canada). *Biomass and Bioenergy* 29 (1): 1-9.
- Lockwell, J., W. Guidi et M. Labrecque. 2012. Soil carbon sequestration potential of willows in short-rotation coppice established on abandoned farm lands. *Plant and Soil* Volume 360 (1): 299-318.
- Sennerby-Forsse, L., A. Ferm et A. Kauppi. 1992. Coppicing ability and sustainability. In: Mitchell C., J. Ford-Robertson, T. Hinckley and L. Sennerby-Forsse (Eds.), *Ecophysiology of short rotation forest crops*. Elsevier, London, pp. 146-184.
- Volk, T.A., L.P. Abrahamson, K.D. Cameron, P. Castellano, T. Corbin, E. Fabio, G. Johnson, Y. Kuzovskina-Eischen, M. Labrecque, R. Miller, D. Sidders, L.B. Smart, S. Staver, G.R. Tanosz et K. Van Rees. 2011. Yields of willow biomass crops across a range of sites in North America. *Aspects of Applied Biology* 112: 67-74.

# **Cultures intensives de saules sur courtes rotations : des systèmes agronomiques pour solutionner des problèmes environnementaux**

**Michel Labrecque**

**Chef de division recherche, Jardin botanique de Montréal**

**Chercheur, IRBV**

**Professeur associé, Université de Montréal**



Institut de recherche  
en biologie végétale



# Collaborateurs

## Collaborateurs scientifiques

- Nicolas Bélanger, UQAM
- François Courchesne, UdeM
- Stéphane Daigle, IRBV
- Marc Olivier Gasser, IRDA
- Philippe Juneau, UQAM
- Hafssa Kadri, IRBV
- Marc M. Lucotte, UQAM
- Frédéric Pitre, IRBV
- Larry Smart, Cornell University
- Marc St-Arnaud, IRBV
- Traian Ion Teodorescu, IRBV
- Adela Voicu, IRBV

## Étudiants

- Laurence Bissonnette, MSc
- Annie Cavanagh, MSc
- Maud Fillion, MSc
- Marcelo Gomes
- Rémy Fluet, MSc
- Werther Guidi, post doc
- Louise Hénault-Éthier, PhD
- Ahmed Jerbi, MSc
- Aurelien Lauron-Moreau, PhD
- Rosalie Lefebvre, MSc
- Thomas J. Pray, MSc



# Des opportunités pour les cultures énergétiques

- Besoin de stimuler les économies régionales.
- Grande disponibilité de terres en friche ou marginales pour l'agriculture.
- Possibilité de répondre à certains besoins en ressources pour lesquels la demande est croissante.
- Possibilité d'utiliser les cultures énergétiques pour solutionner des problèmes environnementaux régionaux.



# Pourquoi les saules?

- **Bien adaptés aux conditions pédoclimatiques**
- **Faibles exigences (sols lourds, peu fertiles...)**
- **Facilité d'implantation**
- **Rapidité de croissance**
- **Production de rejets après la taille**
- **Diversité d'espèces et de cultivars**



# Culture intensive sur courtes rotations

- Haute densité de plantation (18 000/ha)
- Recépage selon des cycles très courts (2, 3, 4 ans)









# Rendements potentiels





## Évolution des rendements d'une plantation de *S. viminalis* à Huntingdon, Qc au cours de 5 cycles

	Tonnes/ha
<b>Première rotation (1995-1997)</b>	45,3
Rendement annuel moyen	15,1
<b>Seconde rotation (1998-2001)</b>	88,1
Rendement annuel moyen	
<b>Troisième rotation (2002-2004)</b>	51,7
Rendement annuel moyen	17,2
<b>Quatrième rotation (2005-2008)</b>	67,4
Rendement annuel moyen	16,9
<b>Cinquième rotation (2009-2011)</b>	42,0
Rendement annuel moyen	14,0

# Impacts sur l'environnement



- Le mode de culture permet d'intégrer facilement le recyclage de résidus organiques et ainsi de valoriser localement ces « déchets ».
- Les saules bénéficient d'un important système racinaire hautement densifié dont la majorité des racines se situe dans les couches superficielles (0-15 cm) (*Volk 2002; Rytter and Hansson 1996*).

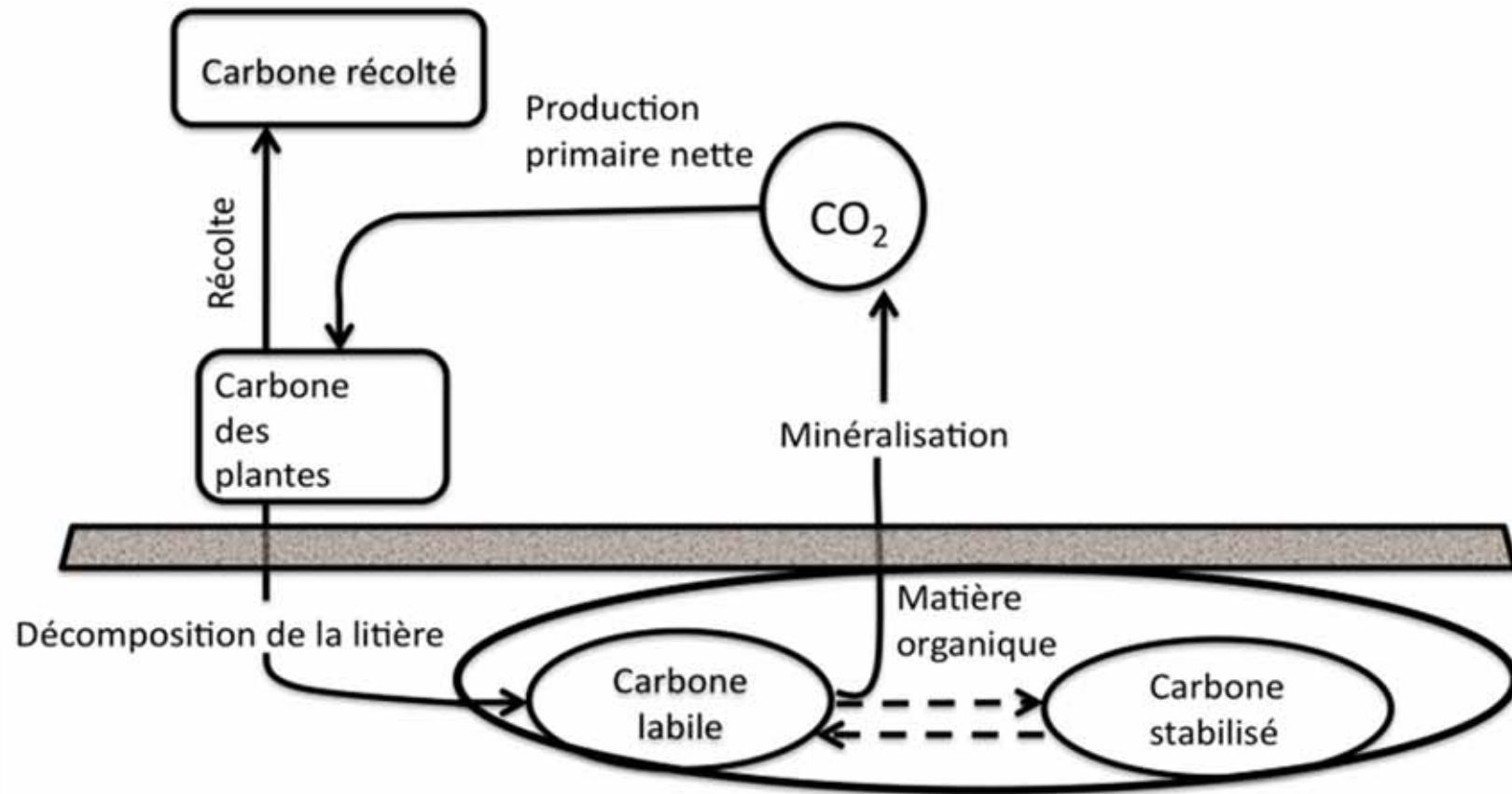


# Évaluation du potentiel de séquestration de carbone dans le sol des CICR de saules dans le sud du Québec

Jérémie Lockwell, MSc.

- Comparer et suivre la dynamique du carbone dans le sol de plantations de saules en CICR vs champ agricole.
- Étudier les différences entre des plantations de saules récemment établies et vieilles de 9 ans.

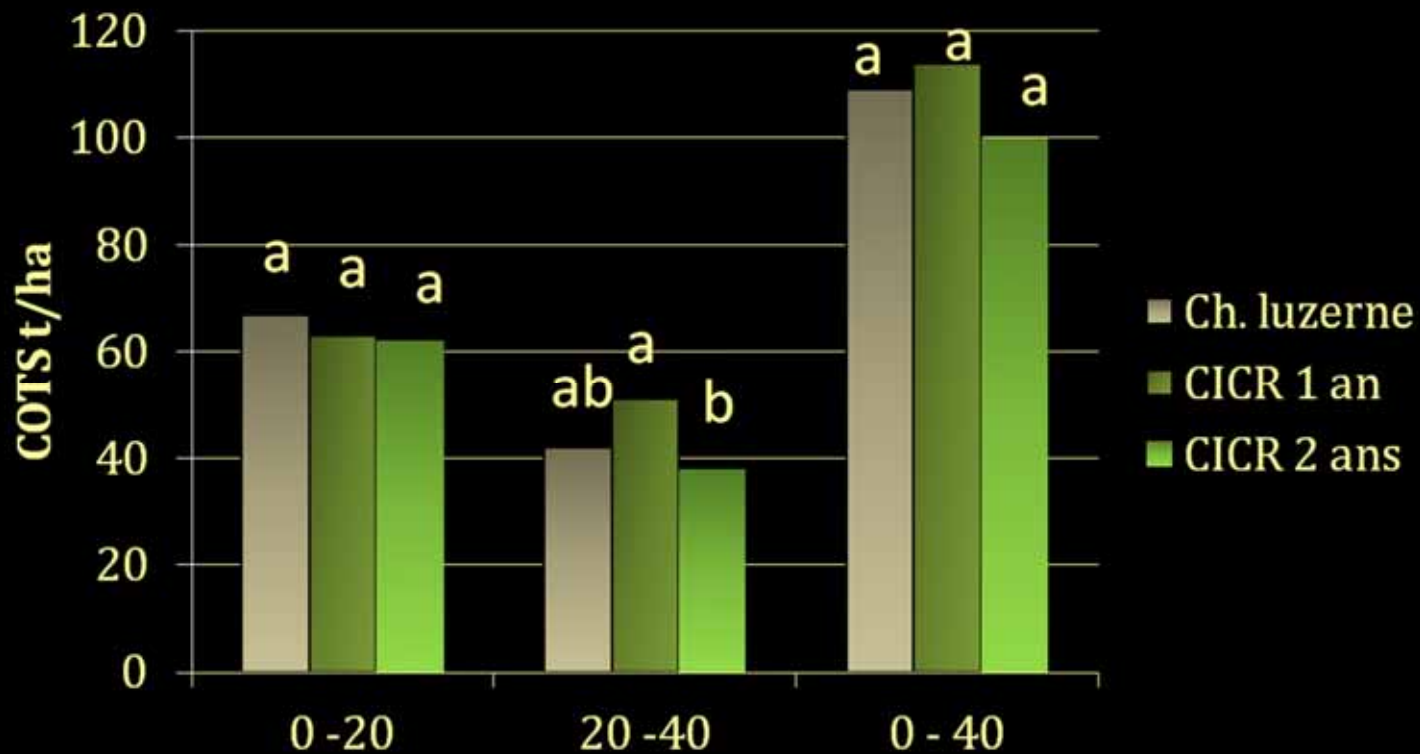




**Figure 1. Représentation schématique du cycle du carbone dans les sols agricoles. Redessinée à partir d'une étude de Janzen et al. (1997)**

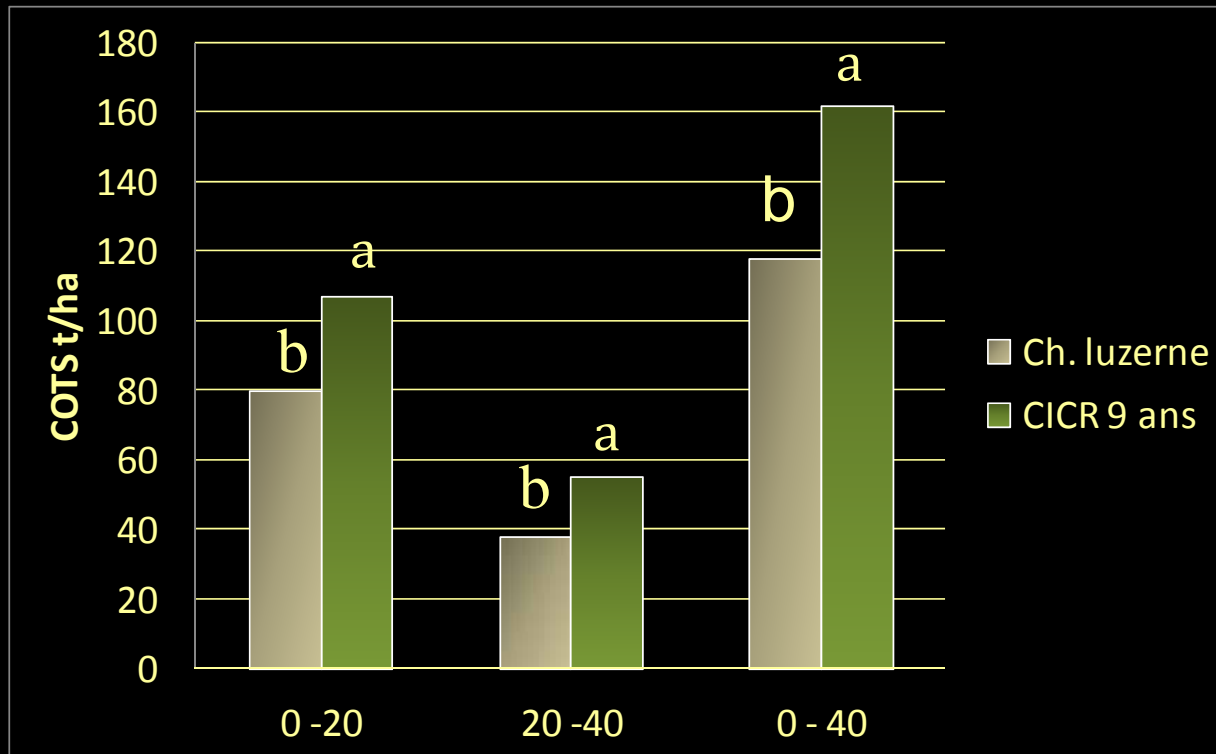


# Comparaison du COTS suivant la mise en place de saules en CICR



Lockwell et al. 2012. Plant and Soil, 360 (1): 299-318

## Comparaison du COTS après 9 ans de CICR de saules



- Peu de différence observée entre les champs agricoles vs jeunes CICR.
- Dans les plus vieilles plantations on observe une augmentation significative du carbone organique du sol . Important pour mieux juger du rôle des CICR de saules comme puits de C.

# Les CICR de saules pour le traitement des lisiers de porc

Annie Cavanagh, MSc.

- Étudier l'effet des apports en lisier et en engrais minéraux sur les rendements en biomasse ainsi que sur les prélèvements nutritionnels des saules.
- Juger de l'impact sur l'environnement





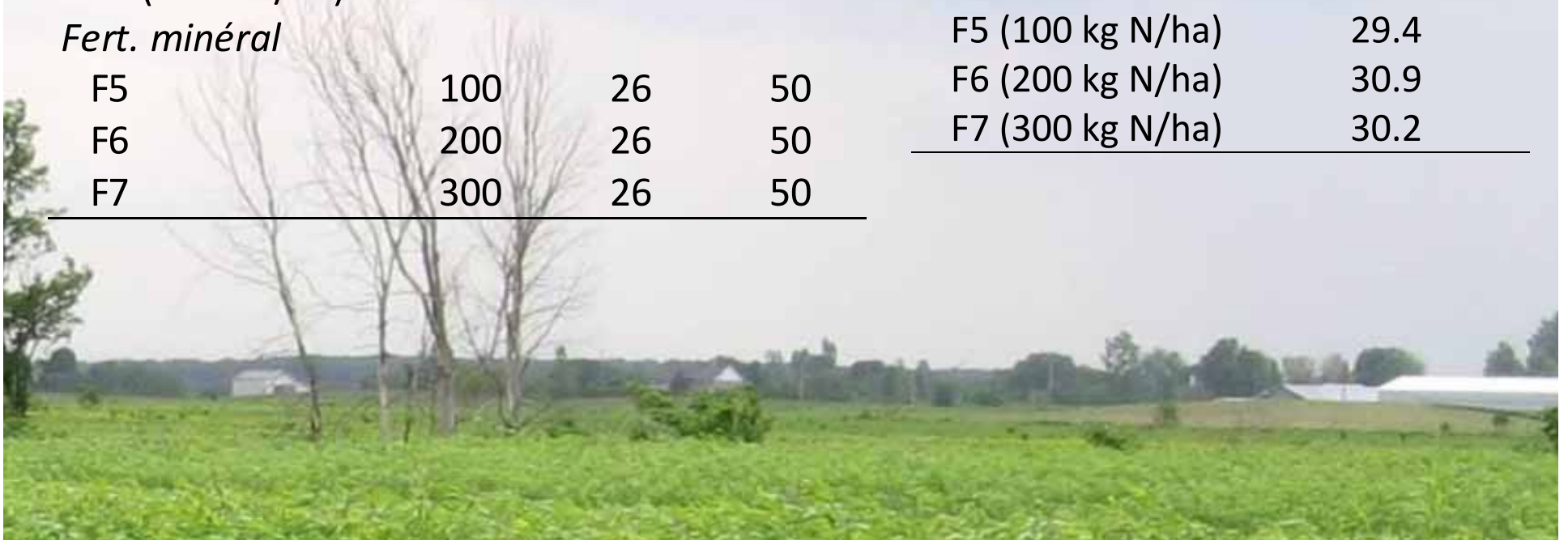


**Quantités de nutriments ajoutées au sol selon les divers traitements.**

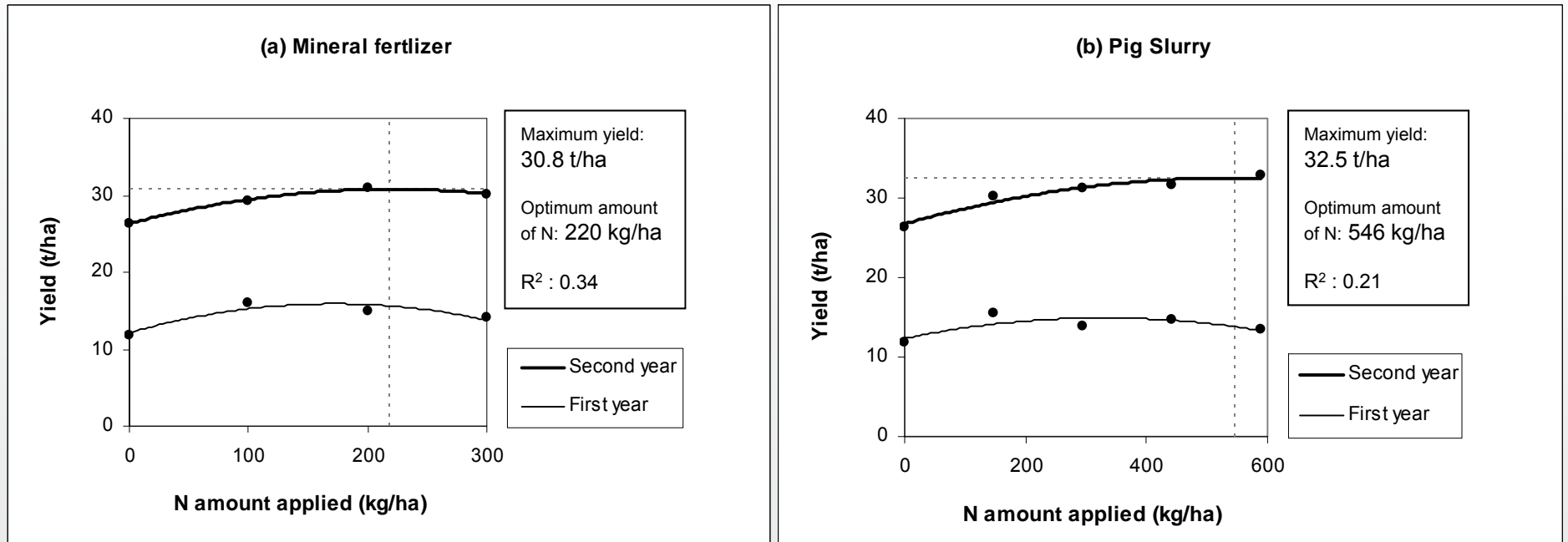
Traitement	Qtés appliquées (kg/ha)		
	N	P	K
F0 : témoin	0	26	50
<i>Lisier</i>			
F1 (30 m <sup>3</sup> /ha)	148	32	75
F2 (60 m <sup>3</sup> /ha)	295	64	150
F3 (90 m <sup>3</sup> /ha)	443	96	225
F4 (120 m <sup>3</sup> /ha)	590	127	300
<i>Fert. minéral</i>			
F5	100	26	50
F6	200	26	50
F7	300	26	50

**Rendements en (t/ha) après deux saisons en fonction des traitements.**

Traitement	Biomasse (t/ha)
F0 : Témoin	26.4
<i>Lisier</i>	
F1 (148 kg N/ha)	30.3
F2 (295 kg N/ha)	31.3
F3 (443 kg N/ha)	31.6
F4 (590 kg N/ha)	32.9
<i>Fert. minéral</i>	
F5 (100 kg N/ha)	29.4
F6 (200 kg N/ha)	30.9
F7 (300 kg N/ha)	30.2



# Willow dry matter yields as a function of the N amount applied with mineral fertilizer (a) or pig slurry (b) for the first and second growing seasons



Cavanagh et al. 2011. Biomass and Bioenergy



## Concentration of nitrate and total phosphorus collected in lysimeters during the second growing season.

<b>Nitrogen</b>		<b>Dates</b>						
		19 April	1 May	14 May	12 June	2 July	15 July	29 July
Treatment	N applied (kg/ha)	N-NO <sub>3</sub> (mg/L)						
Control	0	0.87	1.30	0.51	0.24	0.34	0.16	0.13
Pig slurry	590	17.5	19.0	16.1	9.2	7.5	6.1	6.1
Mineral fertilizer	300	19.0	17.5	17.8	9.5	7.4	6.8	5.5

<b>Phosphorus</b>		<b>Dates</b>						
		19 April	1 May	14 May	12 June	2 July	15 July	29 July
Treatment	P applied (kg/ha)	P (µg/L)						
Control	26	27	23	27	26	36	44	46
Pig slurry	127	29	34	34	35	40	54	50
Mineral fertilizer	26	34	27	42	24	47	73	64



# En résumé

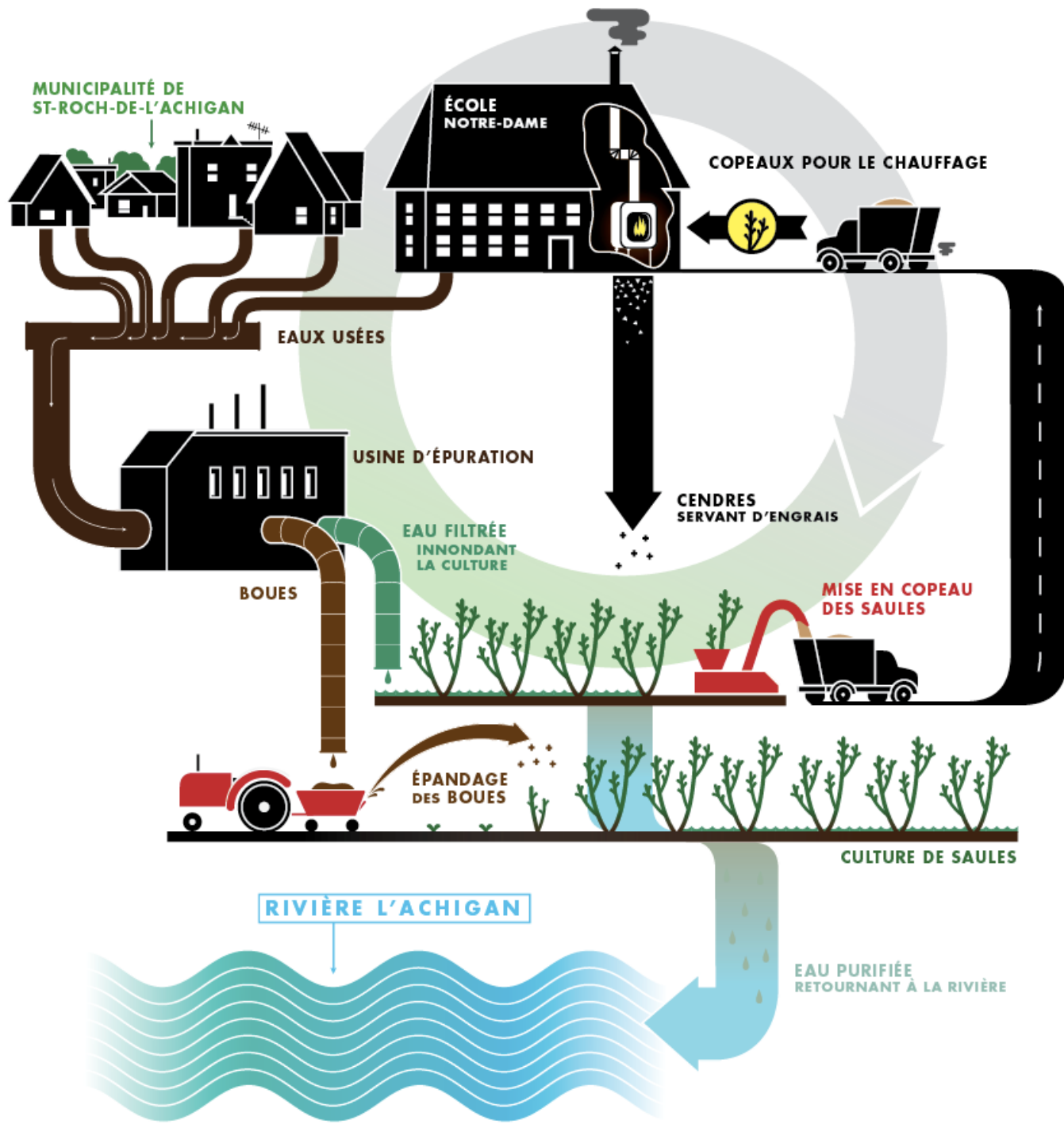
- Les lisiers de porc constituent un bon engrais pour les saules en CICR.
- Des rendements jusqu'à 33 tms/ha ont été obtenus après deux ans, c'est énorme!
- Dans les sol, une légère augmentation des teneurs en nitrates résiduelles, qui s'accroît avec la dose.
- Dans l'eau du sol des parcelles fertilisées avec les plus fortes doses, les nitrates excèdent les limites en début de saison.
- Le P demeure sous le seuil critique.



# Des saules en CICR pour le traitement des eaux



- Projets de mémoire de maîtrise de:
  - Rémy Fluet
  - Ahmed Jerbi



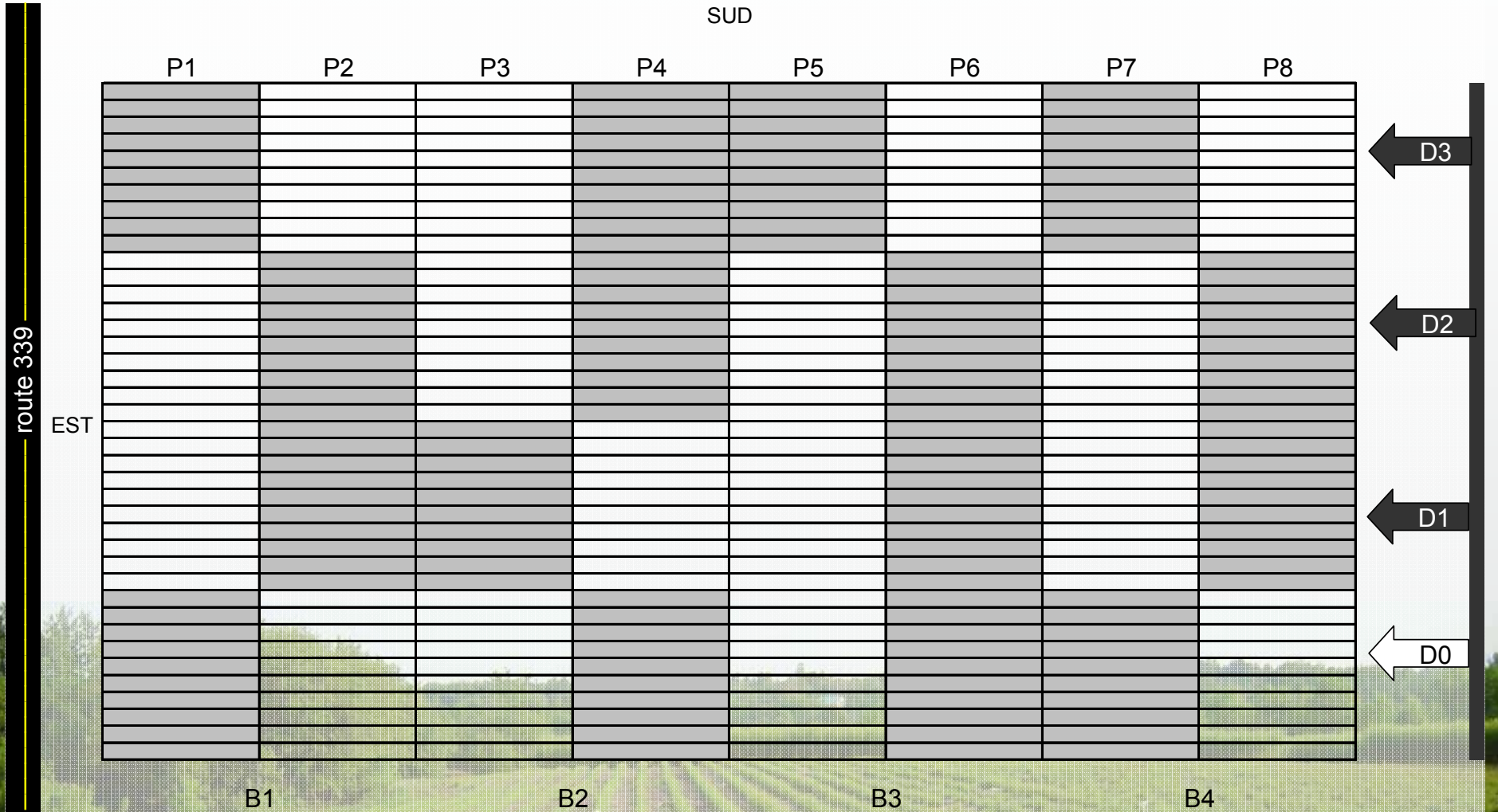


Espèce en expérimentation: *Salix miyabeana* plantée en 2008  
 Surface totale: 7200 m<sup>2</sup> (72 m largeur X 100 m longueur)  
 Surface d'un bloc: 1800 m<sup>2</sup> (72 m X 25 m)  
 Surface d'une parcelle: 225 m<sup>2</sup> (18 m X 12,5 m)  
 Nombre de parcelles: 32, Nombre de blocs: 4  
 Nombre de rangs en expérimentation: 40 espacés de 1,8 m

Doses d'irrigation annuelles:  
 2009: D0=témoin sans irrigation, D1=3002 m<sup>3</sup>/ha, D2=3930 m<sup>3</sup>/ha, D3=5827 m<sup>3</sup>/ha  
 2010: D0=témoin sans irrigation, D1=4000 m<sup>3</sup>/ha, D2=6000 m<sup>3</sup>/ha, D3=9000 m<sup>3</sup>/ha

 : parcelles fertilisées  
 : parcelles non-fertilisées

SUD



## Characteristics of the wastewater

	Units	Values
pH		7.72
Tot N	mg/l	10.7
N-NH4	mg/l	0.004
N-NO3	mg/l	9.12
Tot P	mg/l	0.285
K	mg/l	7.84
Ca	mg/l	75.9
Mg	mg/l	24.4
Na	mg/l	143
Al	mg/l	0.08
B	mg/l	0.098
Cu	mg/l	0.005
Fe	mg/l	0.004
Zn	mg/l	0.021
Mn	mg/l	0.001
Mo	mg/l	< 0
Cd	mg/l	< 0
Cr	mg/l	< 0
Co	mg/l	< 0
Pb	mg/l	< 0
Ni	mg/l	0.002

- Wastewater (effluent after sedimentation) came from the municipal treatment plant located approx. 1 km away





**Juillet 2008**



***Juillet 2009***



**Août 2010**





**Novembre 2010**



**Avril 2011**



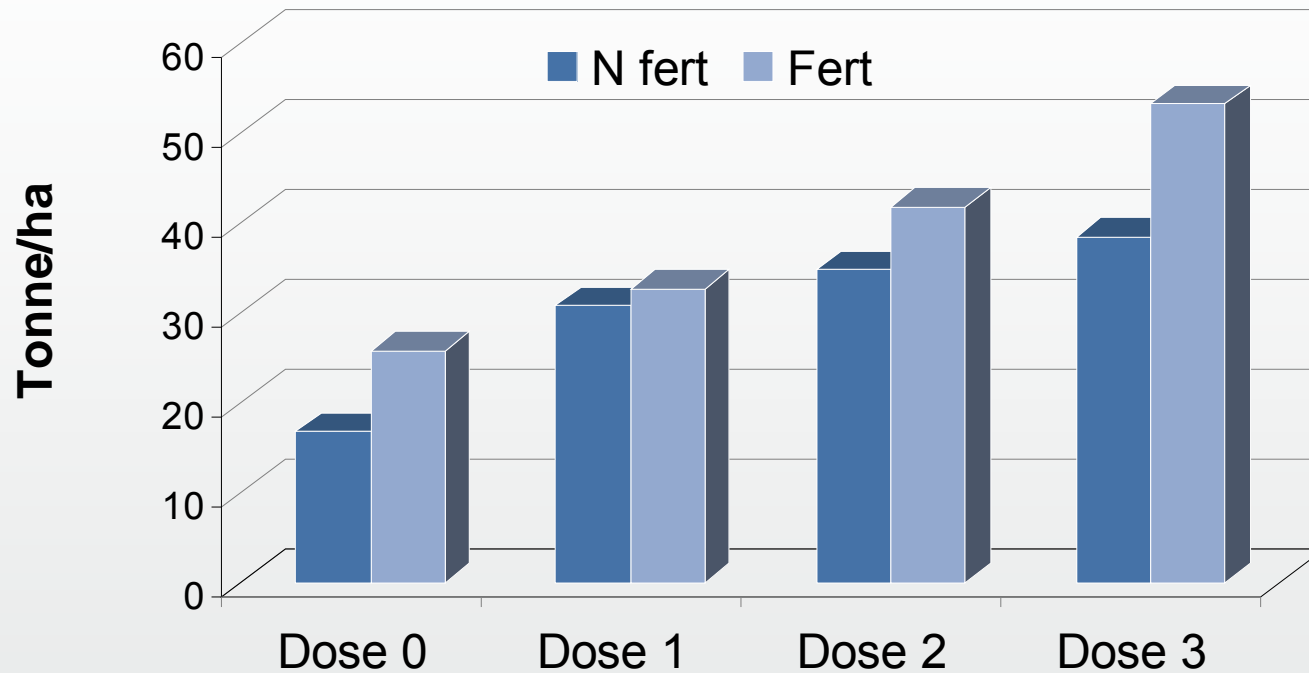
**Mai 2011**





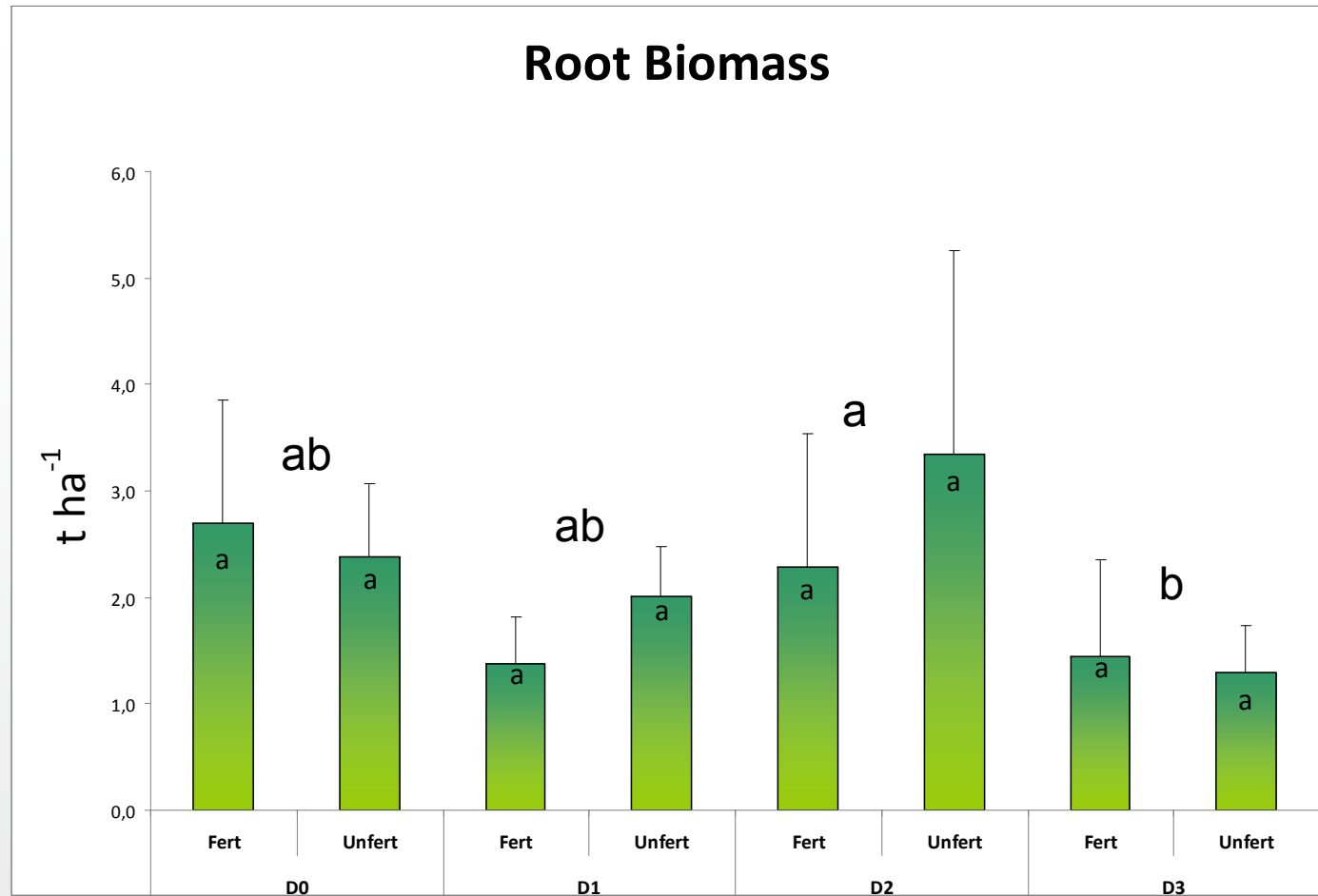


## Rendement de *S. miyabeana* SX67 après deux ans



**La plus forte dose d'irrigation (9000 m<sup>3</sup>/ha) entraîne une production annuelle moyenne de plus de 26 tonnes sèches!**





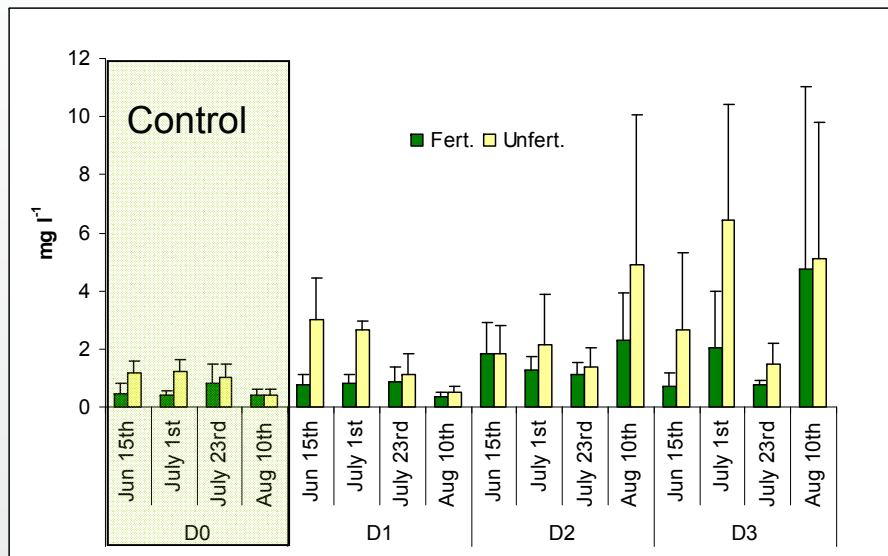
#### FINDING 1:

- Root dry biomass was on average 2.1 t ha<sup>-1</sup>
- Total root biomass was affected by irrigation ( $p = 0.002$ ) but not by the fertilization ( $p = 0.276$ ) treatment
- Under D2 irrigation treatment we found the highest total root biomass (2.8 t ha<sup>-1</sup>) whereas under D3 we found the lowest root biomass (1.3 t ha<sup>-1</sup>)

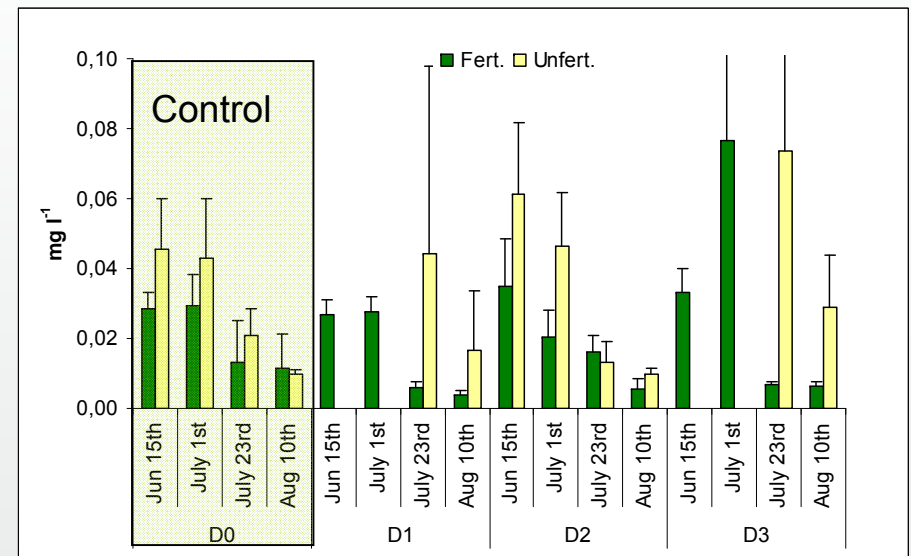


# Concentration of N and P in the leachate collected on four dates during the second growing season (2010)

## Total N



## Total P



# En résumé

- Permet le traitement de l'effluent
- Diminue la décharge à la rivière
- Favorise une grande production de biomasse
- Permet la production d'un combustible de source renouvelable et la substitution d'un combustible fossile
- La création d'activités économiques à l'échelle de la région



# Projet SABRE

## *Salix en Agriculture pour des Bandes Riveraines Énergétiques*

- Marc Lucotte Géotop-UQAM Géochimie Environnementale
- Michel Labrecque IRBV Biomasse énergétique
- Philippe Juneau UQAM Écotoxicologie
- Laurent Lepage UQAM Aspects socio-économiques



# Objectif général

- Déterminer les bénéfices environnementaux et l'acceptabilité socio-économique de bandes riveraines constituées de saules



# Effacité des bandes riveraines pour mitiger les flux agro-chimiques

Comportement des nutriments, des métaux et du glyphosate dissous lors du passage à travers la bande riveraine

- Louise Hénault-Ethier, étudiante PhD



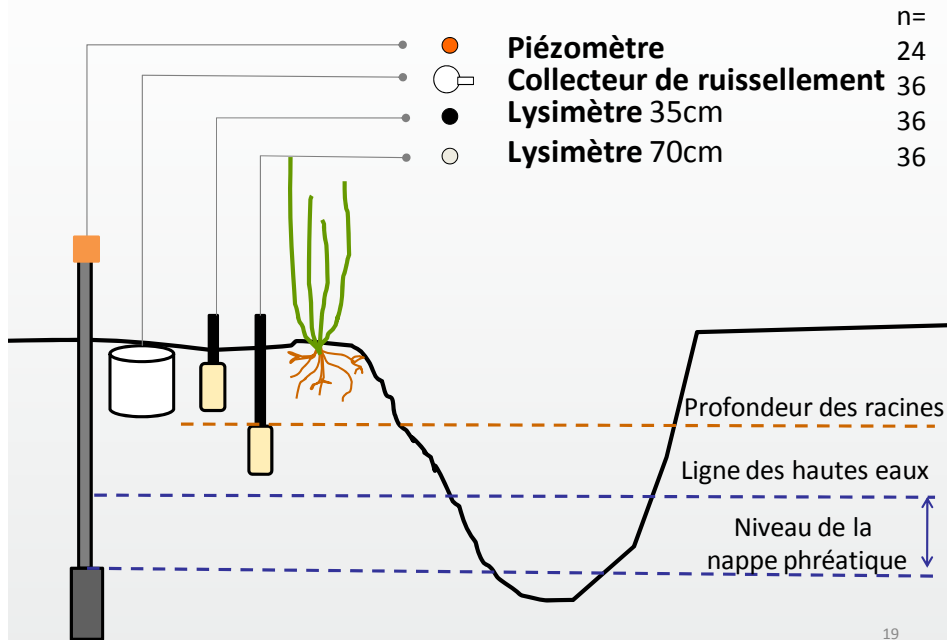
CERVEAU



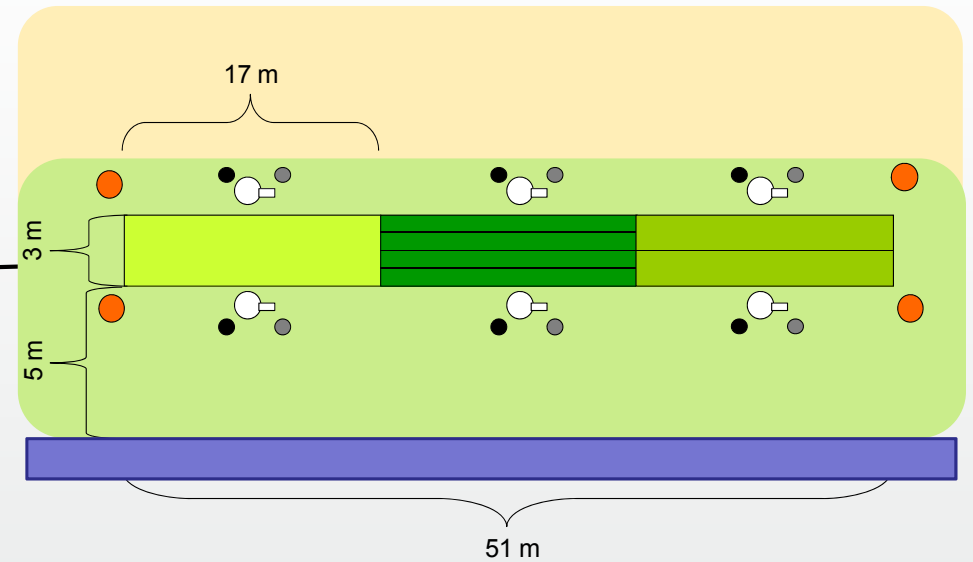
# Méthodologie

## Échantillonnage de l'eau

Coupe transversale



Vue aérienne



19

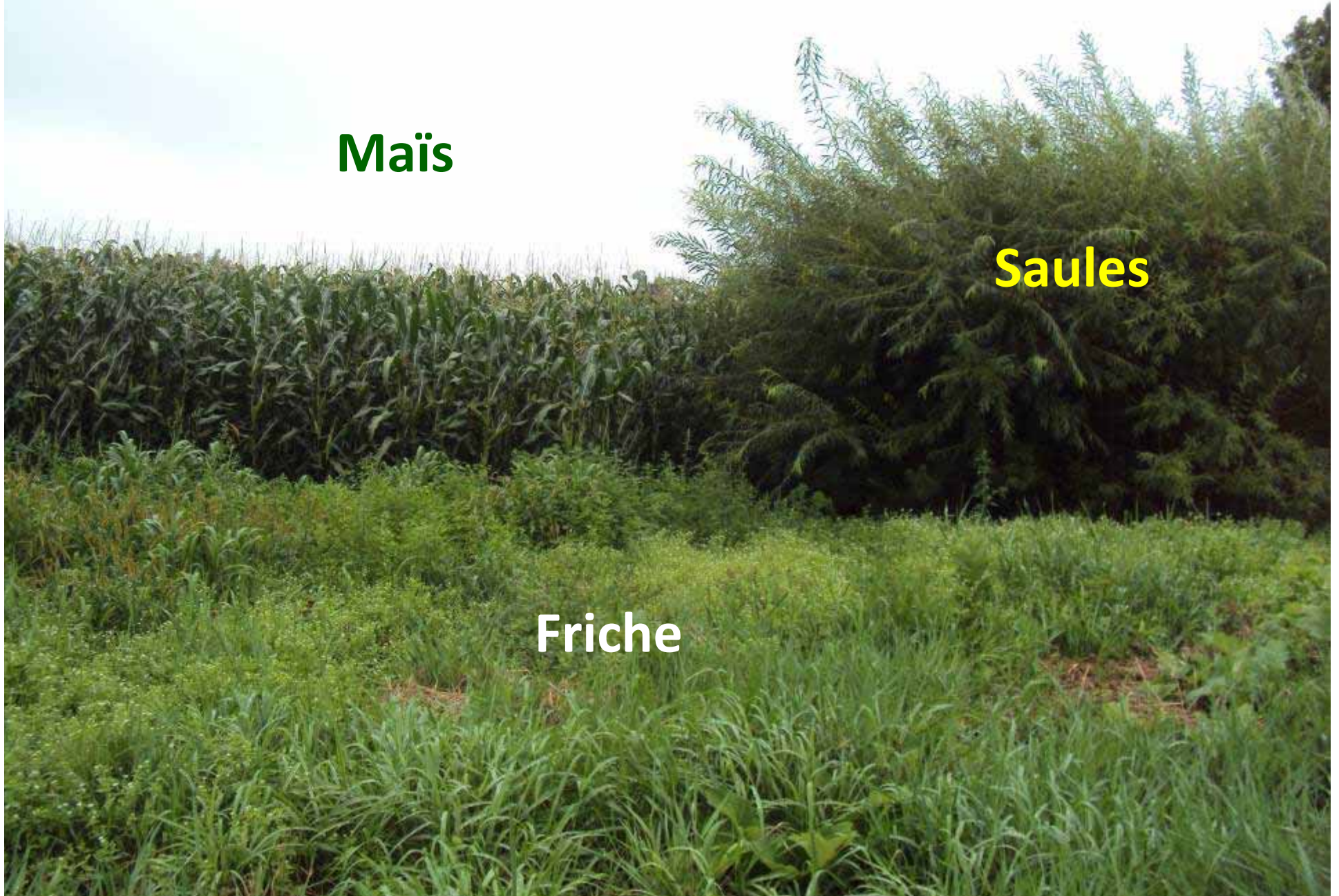


# Dispositif expérimental

**Maïs**

**Saules**

**Friche**







# Méthodologie

Analyses physico-chimiques de l'eau

Glyphosate

Métaux  
dissous

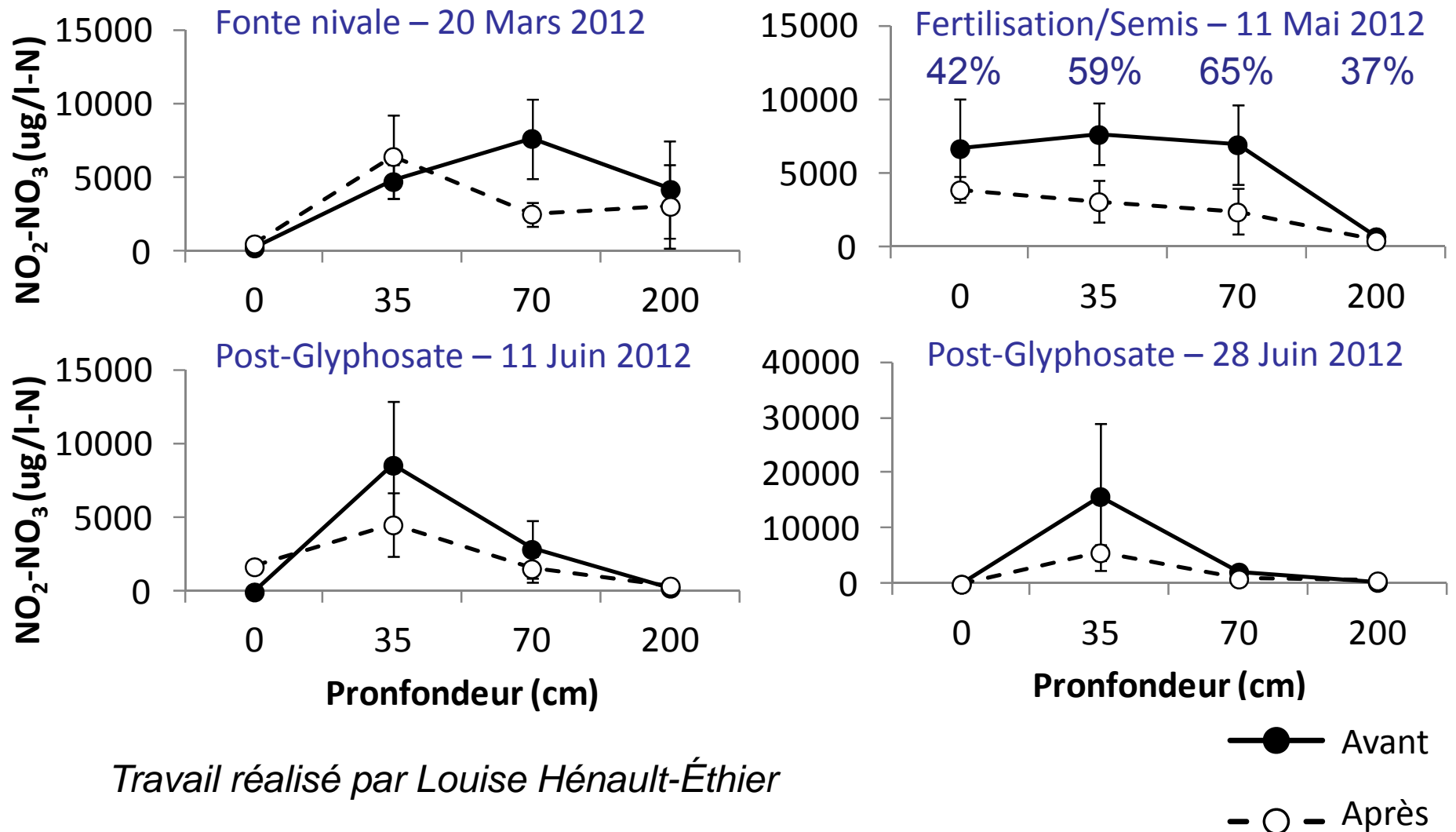
COD

Nutriments  
totaux

Nutriments  
dissous



Figure. Comparaison de la concentration des nitrates-nitrites dans les eaux récoltées à 4 profondeurs avant et après la bonde riveraine de saules  
Boisbriand



Travail réalisé par Louise Hénault-Éthier

# Conclusions

- Les cultures de saules pour des fins énergétiques au Québec ont un réel potentiel.
- De hauts rendements peuvent être maintenus même après plusieurs rotations.
- Plusieurs projets à teneur environnementale ont été conduits avec succès.
- Les meilleurs projets de production de biomasse sont ceux qui permettent de générer localement des bénéfices environnementaux.





# REMERCIEMENTS

**Agro Énergie**

**Canadian Federal Interdepartmental Program on Energy Research and Development (PERD)**

**Caisses populaires Desjardins**

**Cogenor Lanaudière**

**Commission scolaire Les Samares**

**La Coop fédérée du Québec**

**Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ)**

**Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG)**

**Fédération des producteurs de porcs du Qc (FPPQ)**

**Program on Energy Research and Development (PERD)**

**Jardin botanique de Montréal**

**Hydro-Québec**

**Laboratoires ruraux de la Politique nationale de la ruralité 2007-2014**

**Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation  
du territoire (MAMROT)**

**Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec**

**Municipalité de Saint-Roch-de-l'Achigan**

**Technologie et Innovation du Réseau canadien d'innovation dans la biomasse**

**Ville de Boisbriand – CERVEAU**

# Notes



---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---