

# Productivité et bénéfices environnementaux des cultures intercalaires agroforestières : état des connaissances au Québec

ALAIN COGLIASTRO<sup>1</sup>, DAVID RIVEST<sup>2</sup>, ALAIN OLIVIER<sup>3</sup>

1 Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal & Jardin botanique de Montréal, 4101 est rue Sherbrooke, Montréal (Québec) H1X 2B2;

2 Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2828 boulevard Laurier, local 640, Québec (Québec) G1V 0B9;

3 Département de phytologie, Université Laval. 2425 rue de l'Agriculture, Québec (Québec) G1V 0A6

Courriel : [alain.cogliastro@ville.montreal.qc.ca](mailto:alain.cogliastro@ville.montreal.qc.ca)

**Mots clés : complémentarité, compétition, productivité, bénéfices environnementaux, cultures intercalaires**

## Introduction

Depuis une trentaine d'années, de nombreuses études ainsi qu'une expérience de terrain grandissante ont montré que la présence d'arbres sur le territoire agricole permet de générer plusieurs services écosystémiques comme la séquestration du carbone, la conservation de la biodiversité et l'amélioration de la qualité de l'eau, du sol et des paysages. Les arbres hors forêts ont également un intérêt économique pour les populations rurales (FAO, 2001) et peuvent accroître la productivité globale des champs (Graves et al., 2007). De plus, la polyvalence de l'arbre en fait un outil qui coïncide bien avec les enjeux de l'agriculture multifonctionnelle d'aujourd'hui. En effet, l'agriculture est reconnue comme assumant un rôle essentiel dans la structuration du territoire et des paysages, autant que dans la garantie d'une production de denrées alimentaires (European Conference on Rural Development 1996, Groupe Polanyi 2008). Dans ce contexte, le potentiel des systèmes de culture intercalaire intégrant des arbres doit être étudié plus à fond au Québec (Rivest et Olivier, 2007).

## La culture intercalaire et l'agroforesterie

L'agroforesterie est l'exploitation des terres avec une association d'arbres et de cultures ou d'animaux (Dupraz et Liagre, 2008). Les systèmes de culture intercalaire, qui combinent sur un même site la production intensive d'arbres et de cultures, correspondent le mieux à cette définition. Il existe différentes modalités des systèmes de culture intercalaire où varient le nombre d'arbres installés et les espacements, ce qui modifie les effets de l'association. La culture intercalaire (CI) est dite « stable » quand elle intègre moins de 50 arbres/ha permettant une agriculture rentable tout au long du cycle de vie des arbres. Elle est dite « évolutive » (jusqu'à 200 arbres/ha) quand, au cours du temps, le rendement dépend d'abord surtout de celui de la culture pour ensuite graduellement dépendre de celui des arbres. La CI est « éphémère » (plus de 200/ha) lorsque les cultures ne sont possibles que les premières années de la présence des arbres (Dupraz et Liagre, 2008).

## Productivité

En analysant la productivité de différents systèmes de production agricoles, sylvicoles et intercalaires, Graves et al. (2007) concluaient qu'en combinant des arbres et des cultures sur 10 ha, on obtenait l'équivalent de ce qui serait produit sur 11 à 14 hectares lorsqu'on sépare les deux productions. Il y aurait un effet de synergie, de complémentarité. Les rendements les plus intéressants étaient associés à la présence d'arbres aux bois de haute valeur (noyer) ou d'arbres à croissance rapide (peuplier) desquels l'investissement est récupéré à plus court terme. En Ontario, Thevathasan et Gordon (2004) ont montré que la CI, en comparaison à la pratique conventionnelle, produisait autant de blé ou de soya, mais moins de maïs, une plante qui profite davantage de la lumière disponible. Soulignons que l'expérience a été conduite avec des arbres de 12 ans et 15 m d'espacement entre les rangs, alors qu'on recommanderait plutôt le double dans le cas de plusieurs grandes cultures. Plusieurs travaux conduits en Chine et aux États-Unis précisent en effet des espacements optimaux de 30m entre les rangs d'arbres. Au Québec, après une réduction de la densité des peupliers, on constatait une réduction de l'écart près de de productivité du soya mesurée à 2 m ou à 5 m du rang d'arbres (Rivest *et al.*, 2009).

## Bénéfices environnementaux

Un des bénéfices attendus de la présence des arbres concerne la capacité du système racinaire à prélever les éléments lessivés qui échappent à la culture. L'étude de Bergeron et al. (2011) conduite en Montérégie a permis de valider ce rôle de filet de sécurité des racines de peupliers en regard des nitrates et de l'azote organique dissous. Dans ce même système expérimental, la diversité des organismes microbiens et mycorhiziens du sol était plus grande en CI que

dans le cas où la culture agricole était absente (Chiffot et al., 2009; Lacombe et al., 2009). En Ontario, on a également dénombré un plus grand nombre de parasitoïdes et de détritivores dans les parcelles de CI en comparaison à la culture conventionnelle (Thevathasan et Gordon, 2004). Concernant la séquestration du carbone, une étude en Montérégie mesurait 77% plus de carbone organique du sol dans une CI en comparaison à un champ conventionnel (Bambrick et al., 2010) : en Ontario c'était une valeur de 41% supérieure qui était mesurée (Peichl et al., 2006). L'apport des litières aériennes et souterraines des arbres serait ici en cause : Bambrick et al. (2010) ont d'ailleurs mesuré de plus hautes valeurs d'azote du sol en CI qu'en culture conventionnelle sur un des sites étudiés.

### Contraintes

Dans une association peupliers-céréales d'hiver en France, on constatait que sous la culture, les racines étaient principalement en profondeur (1,5-2m), surtout au milieu de l'allée cultivée, à 8m des arbres, ce qui était inattendu (Mulia et Dupraz, 2006). D'autre part, la capacité du cernage racinaire des arbres à augmenter la productivité des cultures en limitant la compétition souterraine interspécifique a été rapportée (Hou et al., 2003). Plusieurs questions concernant les systèmes racinaires des arbres restent à élucider.

Si on reconnaît l'importance de la place de l'arbre dans le paysage agricole, l'ensemble des politiques et programmes agricoles doit être revu. En Europe, de grands pas ont été franchis à ce sujet (Tartera et al., sous presse).

### Références

- Bambrick, A.D., J.K. Whalen, R.L. Bradley, A. Cogliastro, A.M. Gordon, A. Olivier et N.V. Thevathasan. 2010. Spatial heterogeneity of soil organic carbon in tree-based intercropping systems in Quebec and Ontario, Canada *Agrofor Sys* 79: 343-353.
- Bergeron, M., S. Lacombe, R.L. Bradley, J. Whalen, A. Cogliastro, M.-F. Jutras et P. Arp. 2011. Reduced soil nutrient leaching following the establishment of tree-based intercropping systems in eastern Canada. *Agrofor Sys* 83: 321-330.
- Chiffot, V., D. Rivest, A. Olivier, A. Cogliastro et D. Khasa. 2009. Molecular analysis of arbuscular mycorrhizal community structure and spores distribution in tree-based intercropping and forest systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 131: 32-39.
- Dupraz, C. et F. Liagre. 2008. *Agroforesterie. Des arbres et des cultures.* Éditions France Agricole, Paris.
- FAO. 2001. Les arbres hors-forêt, vers une meilleure prise en compte. *Cahier FAO Conservation* 35, ISBN # 92-5-204656-9,
- Graves, A.R., P.J. Burgess, J.H.N. Palma, F. Herzog, G. Moreno, M. Bertomeu, C. Dupraz, F. Liagre, K. Keesman, W. van der Werf, A.K. de Nooy et J.P. van den Briel. 2007. Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. *Ecol. Eng.* 29: 434-449.
- Hou, Q., J. Brandle, K. Hubbard, M. Schoeneberger, C. Nieto et C. Francis. 2003. Alteration of soil water content consequent to rootpruning at a windbreak/crop interface in Nebraska, USA. *Agrofor Sys* 57: 137-147.
- Lacombe, S., R.L. Bradley, C. Hamel et C. Beaulieu. 2009. Do tree-based intercropping systems increase the diversity and stability of soil microbial communities? *Agric. Ecosyst. Environ.* 131: 25-31.
- Mulia, R. et C. Dupraz. 2006. Unusual fine root distributions of two deciduous tree species in southern France: What consequences for modelling of tree root dynamics ? *Plant and Soil* 281: 71-85.
- Peichl, M., N. Thevathasan, A. Gordon, J. Huss et R. Abohassan. 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems in southern Ontario, Canada. *Agroforest Syst* 66: 243-257.
- Rivest, D., A. Cogliastro, A. Vanasse et A. Olivier. 2009. Production of soybean associated with different hybrid poplar clones in a tree-based intercropping system in southwestern Québec, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131: 51-60.
- Rivest, D. et A. Olivier. 2007. Cultures intercalaires avec arbres feuillus : quel potentiel pour le Québec ? *For. Chron.* 83: 526-538.
- Tartera, C., D. Rivest, A. Olivier, F. Liagre et A. Cogliastro. 2012. Agroforesterie en développement : parcours comparés du Québec et de la France. *For. Chron.* 88 (1) : 21-29
- Thevathasan, N.V. et A.M. Gordon. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agrofor Sys* 61: 257-268.



## Productivité et bénéfices environnementaux des cultures intercalaires agroforestières : état des connaissances au Québec



Alain Cogliastro, David Rivest, Alain Olivier  
IRBV- Jardin botanique, Agriculture Canada, Université Laval



Journée d'information  
scientifique - Grandes cultures  
Ensemble pour la diffusion  
de la recherche agronomique

Drummondville  
23 février 2012 –

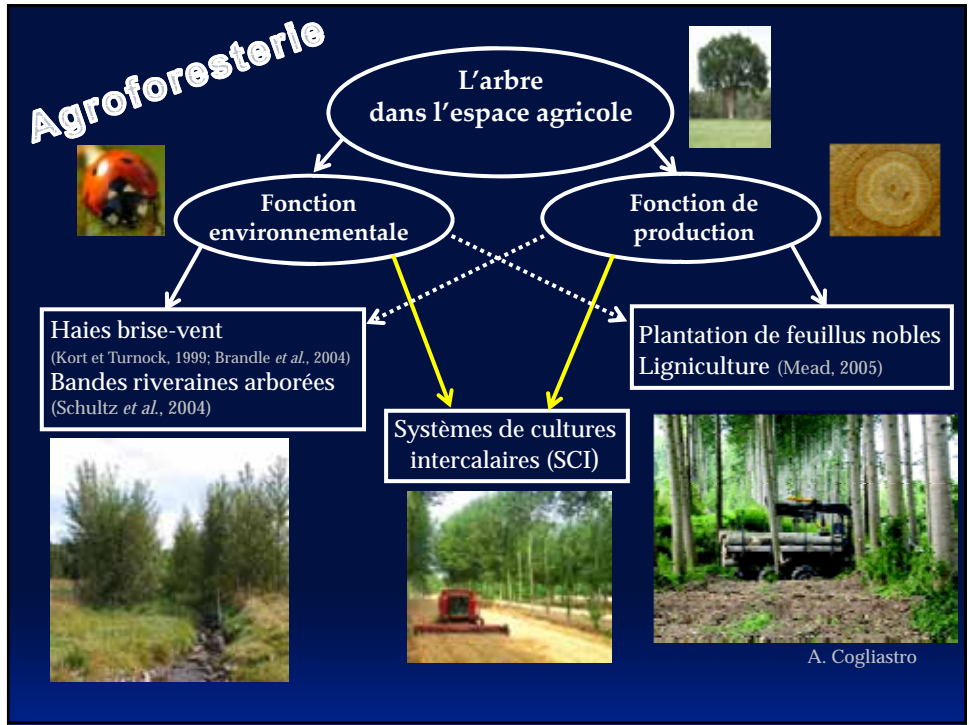


## Déroulement

- La nécessité des cultures intercalaires
- La place actuelle de l'agroforesterie
- Mécanismes... et effets mesurés - résultats



Photo Dupraz et Liagre



## Production

Besoins croissants en bois

Volonté de conserver certaines forêts naturelles  
(Commission Coulombe, 2004)

Potentiel des SCI

Commonwealth Plywood

D. Rivest

Dupraz et Liagre





## Environnement

### Spécialisation spatiale de l'agriculture

**Perte de la qualité des paysages, de l'air, de l'eau, des sols et de la diversité biologique** (Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois 2008)



### Associer arbres-cultures c'est diversifier

Diversité ↗ et productivité ↗


Naeem, Shahid, et al.

"Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems."




*Nature* 368.6473 (1994): 734

La production n'augmente pas de manière consistante avec le nb d'espèces : il s'agit davantage de diversifier les attributs fonctionnels que le nb d'espèces





- l'ajout d'une plante ligneuse longévive,
- de forte dimension (aérien-souterrain)
- grande complexité structurale
- en association - facilitation



## Mécanismes de facilitation

Résultat de l'association

1. Accroître l'efficacité du cycle nutritif
2. Améliorer la structure du sol (+ eau & + él. nutritifs)
3. Améliorer le statut hydrique (ombrage ou pompe)
4. Réduction des pertes (insectes, maladies, mauvaises herbes)











Équipe  
Agroforesterie OURANOS

A.Olivier, U-Laval  
A.Cogliastro, U-Montréal  
C.Messier, UQAM  
A.Paquette, UQAM  
J.J.Réveret, UQAM  
A.Rousseau, INRS  
T.Works, UQAM

- Production
- Racines
- Eau
- Lumière
- BSE
- Entomofaune

+ Équipe (2012-2015)  
Agroforesterie Pancanadienne  
Agriculture Greenhouse Gas Program (AGGP)  
Alberta, Ontario, Québec

### Hi-sAFe en schéma

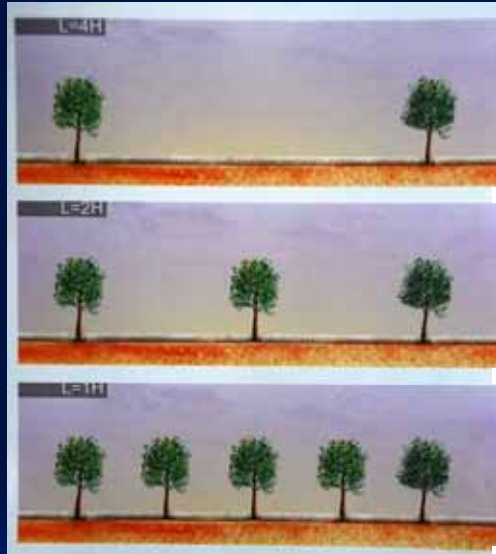


Schéma: Dr. Grégoire Talbot

- Croissance arbres (individu centré)
- Croissance cultures (instances de STICS)
- Gestion explicite 3D des interactions :
  - lumière
  - eau
  - (azote: en construction!)



## L'Intercalaire -



**Densités variables**  
 Agroforesterie stable  
 20-50 arbres/ha  
 40 m X 12 m  
 20 m X 10 m

Agroforesterie évolutive  
 50-200 arbres/ha  
 12 m X 4 m

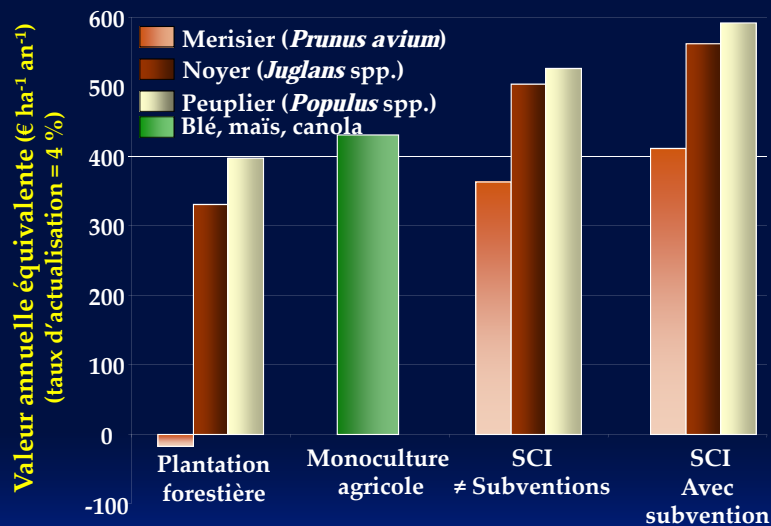
Agroforesterie éphémère  
 >200 arbres/ha  
 7 m X 7 m



C. Dupraz et F. Liagre, 2008

## Rentabilité de SCI (113 arbres ha<sup>-1</sup>), comparativement à la plantation d'arbres et à la monoculture agricole en France (n = 20 sites)

(Graves *et al.*, 2007)

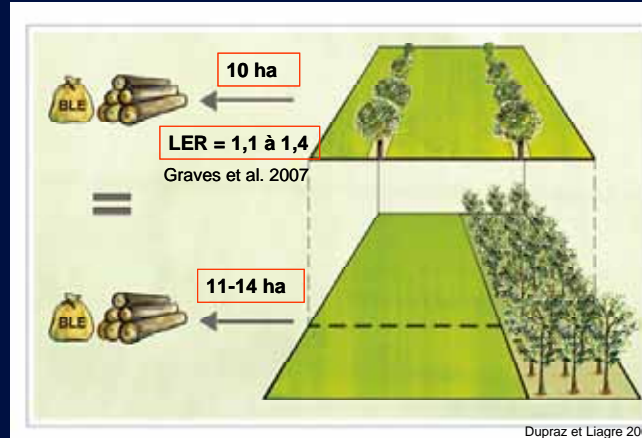




## Productivité

SCI

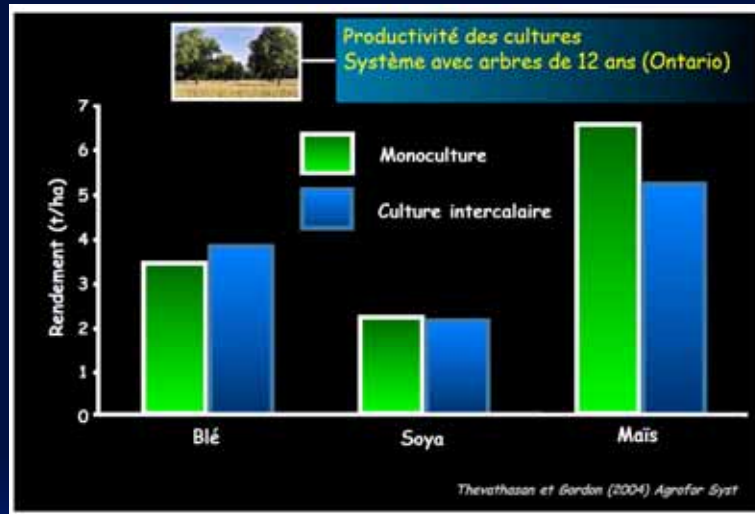
Conventionnel

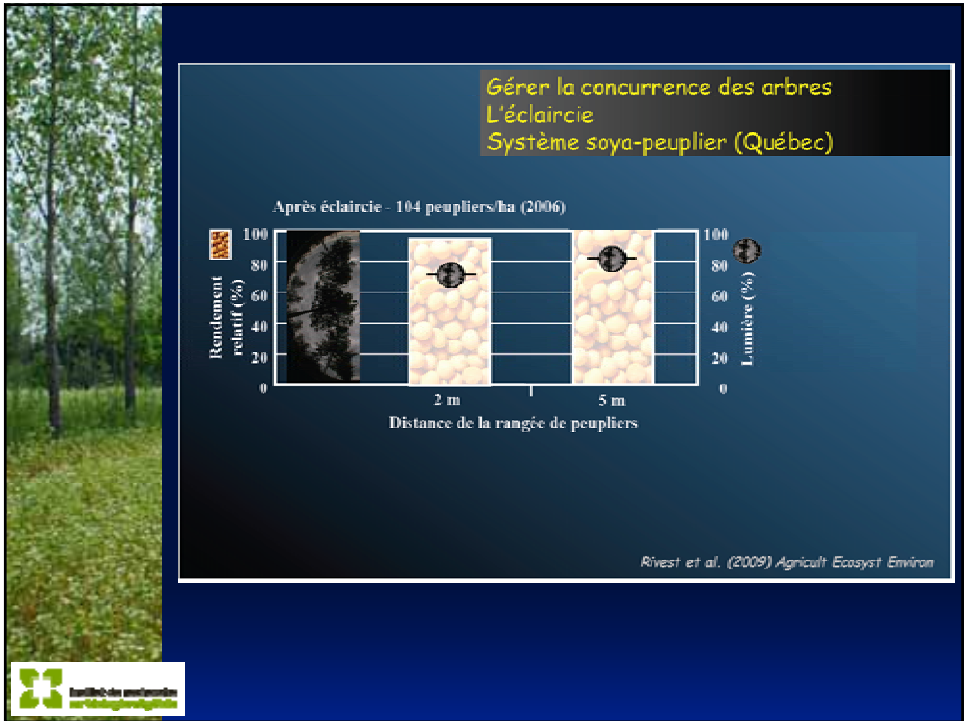
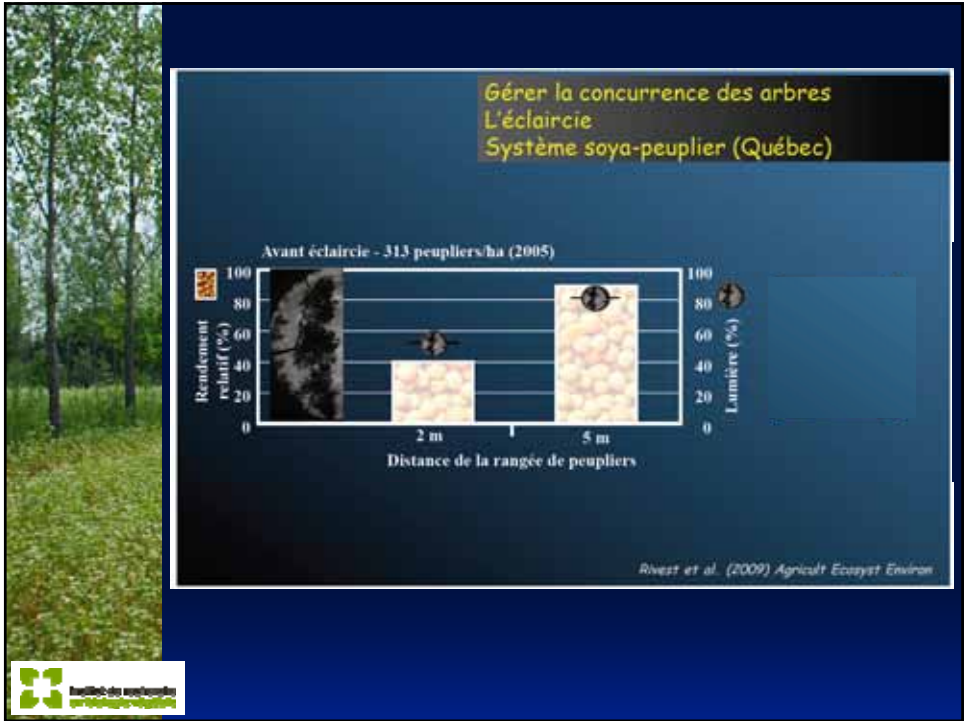


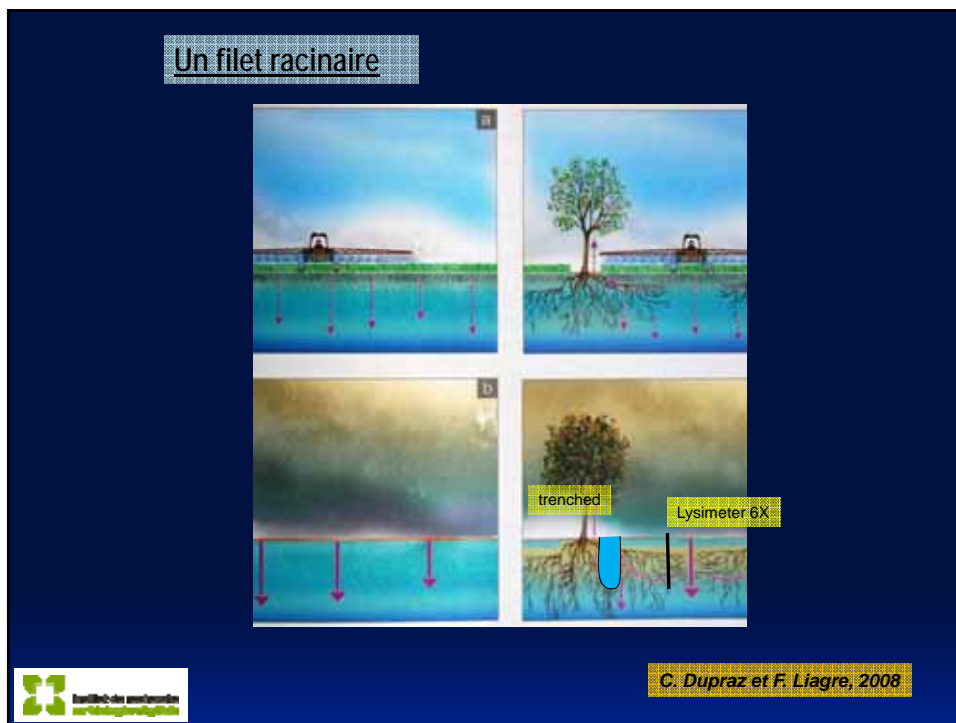
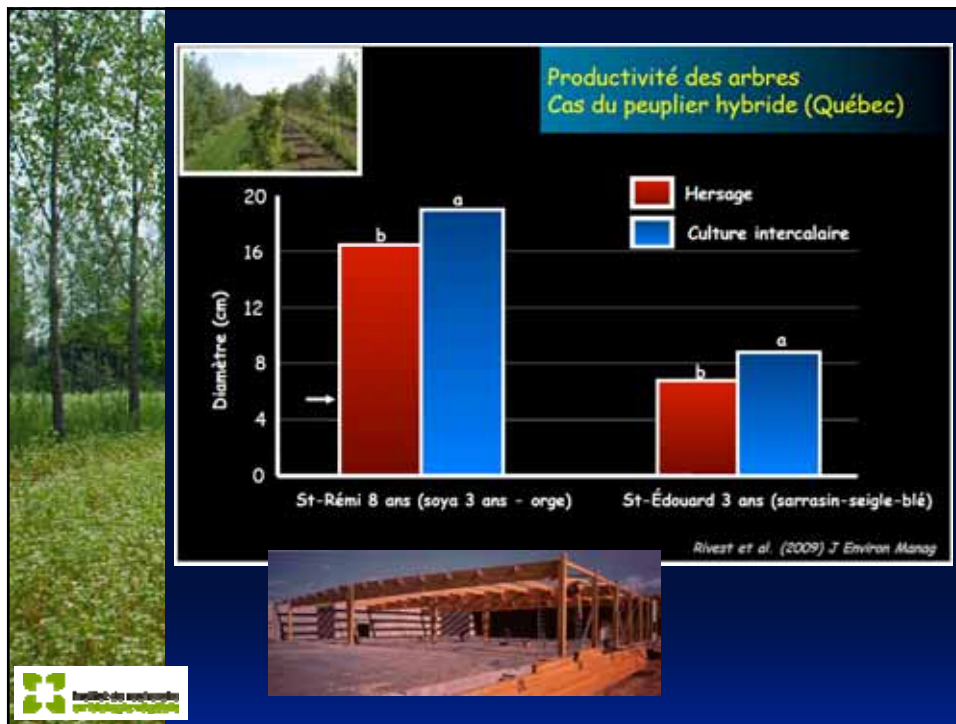
**LER = Land Equivalent Ratio**  
Superficie de sol nécessaire, en séparant arbres et cultures,  
pour obtenir la même production qu'un hectare de cultures associées



## Productivité







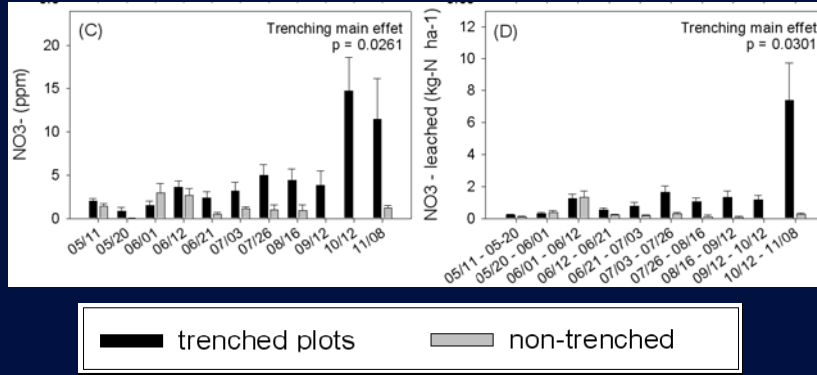


## Un filet racinaire... sous le soya

2006



Environnement



Sans racines

Avec racines



Bergeron, M., S. Lacombe, R.L. Bradley, J. Whalen, A. Cogliastro, M.-F. Jutras et P. Arp. 2011.. *Agrofor Sys* 83: 321-330.

Environnement



## Des litières

C. Dupraz et F. Liagre, 2008

SCI produit une litière riche en lignine  
qui se décompose lentement et stabilise le C<sub>org</sub>Sol

### C<sub>org</sub> (SOC) et Azote<sub>total</sub> (N) des sols

Treatment	St. Paulin (4 years)		St. Edouard (4 years)		St. Remi (8 years)	
	SOC (Mg C ha <sup>-1</sup> )	SE <sup>a</sup>	SOC (Mg C ha <sup>-1</sup> )	SE	SOC (Mg C ha <sup>-1</sup> )	SE
SCI	66.9a	10.7	76.9a	2.0	77.1a	3.9
conventionnelle	66.3a	1.3	80.1a	6.0	43.5b	7.6
Treatment	Total N (Mg N ha <sup>-1</sup> )	SE <sup>a</sup>	Total N (Mg N ha <sup>-1</sup> )	SE	Total N (Mg N ha <sup>-1</sup> )	SE
SCI	7.30a	0.89	6.02a	0.23	9.87a	0.40
conventionnelle	6.73a	1.05	6.83a	0.61	5.28b	0.93



Bambrick AD, Whalen JK, Bradley RL, Cogliastro A, Gordon AM, Olivier A, •  
Thevathasan NV (2010) Spatial heterogeneity of soil organic carbon in tree-based  
intercropping systems in Quebec and Ontario, Canada Agroforestry Systems 79: 343-353.

## Environnement

### Vers de terre

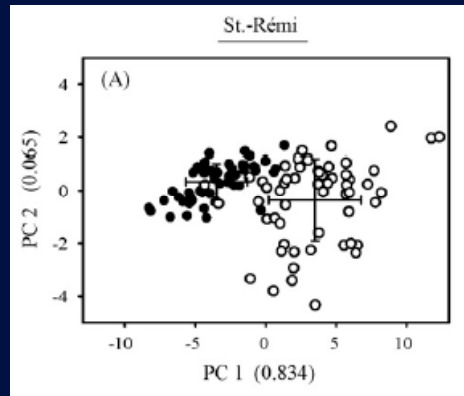
Comparaison du nombre moyen (no. m<sup>2</sup>) et biomasse (g m<sup>2</sup>) ;  
culture intercalaire vs conventionnelle maïs (station recherche Guelph)

	Numbers (No. m <sup>-2</sup> )				Biomass (g·m <sup>-2</sup> )			
	Poplar	Maple	Ash	Corn	Poplar	Maple	Ash	Corn
<b>1997</b>								
Spring	394a(a)	57a(b)	379a(a)	11a(c)	457a(a)	440a(a)	735a(b)	6.07a(c)
Summer	119b(a)	42b(b)	61b(b)	4a(c)	245b(a)	89b(b)	153b(b)	4.54a(c)
Fall	257c(a)	196c(a)	268c(a)	30b(b)	345c(ab)	263a(b)	437c(a)	45.96 b(c)



Thevathasan NV, Gordon AM, Simpson JA, Reynolds PE, Price GW, Zhang P (2004)  
Biophysical and ecological interactions in a temperate tree-based intercropping  
system. J Crop Improve 12:339-363

Environnement



Organismes microbiens du sol



Lacombe et al. Agriculture, Ecosystems and Environment 131 (2009) 25–31

Environnement

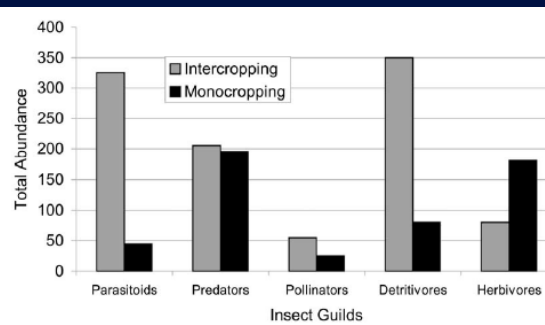
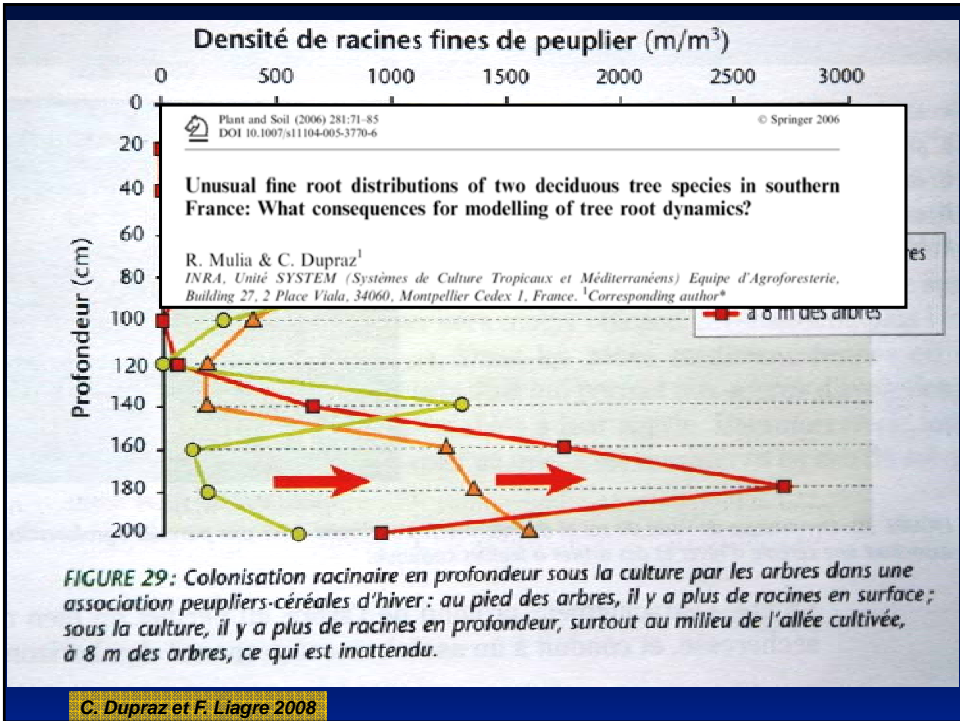
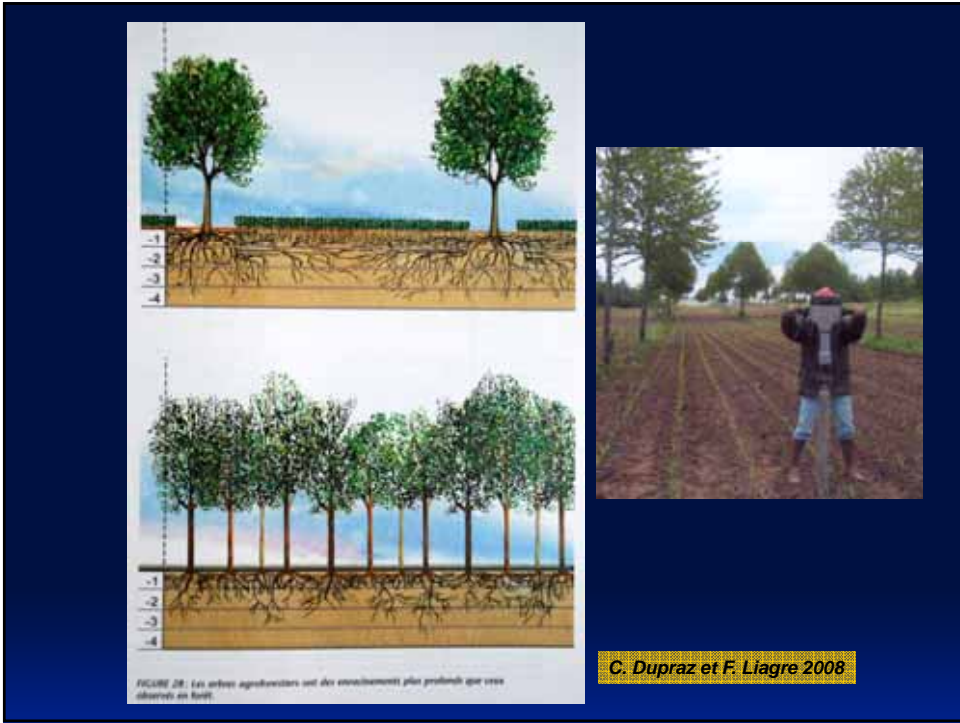


Figure 5. Total arthropod abundance in June samples (1999) in the tree-intercropped plots (12-year-old trees) and sole crop sites, Guelph, Ontario, Canada. Source: Middleton (2001)<sup>5</sup>.







## Arbres et cultures intercalaires : poussent-ils bien ensemble?

Gérer la concurrence des arbres : des exemples...

Le cernage racinaire des arbres (Hou et al. 2003)



Dupraz et Liagre



## Arbres et cultures intercalaires : poussent-ils bien ensemble?

Gérer la concurrence des arbres : des exemples...

L'élagage des arbres



Dupraz et Liagre





## Les espacements



Suite à des études dans des SCI tempérés en Chine, on préconise

- un espacement de 5-10m là où les arbres ont plus de valeur que la culture,
- 15-20 m là où les deux productions **ont une valeur égale et**
- **30-50 m** là où la culture intercalaire a plus de valeur que les arbres.



## En Europe des Aides directes

- Mesure agroforestière européenne 28 mai 2010
- Parcelles agroforestières (200 arbres /ha) sont éligibles aux aides compensatoires à la surface comme n'importe quelle parcelle agricole.

Tartera, C., D. Rivest, A. Olivier, F. Liagre et A. Cogliastro. 2012. Agroforesterie en développement : parcours comparés du Québec et de la France. For. Chron. 88 (1) : 21-29





## Perspectives d'avenir



### Défis liés à l'adoption de ces nouveaux systèmes au Québec

- Recherche et développement; optimiser l'intégration
- Développement d'un réseau de parcelles de démonstration
- Formation de spécialistes et diffusion de l'information
- Développement de programmes d'aide et de politiques favorisant le soutien aux producteurs
- Dynamiser le marché du bois de qualité



## Collaborateurs



Robert Bradley, U. Sherbrooke  
 Joann Whallen, U. McGill  
 Anne Vanasse, U. Laval  
 Damase Khasa, U. Laval  
 Simon Lacombe, M.Sc., CCAE  
 Vincent Chiflot, M.Sc., U. Laval  
 Cécile Tartera, CCS  
 Léa Bouttier, M.Sc. en cours UdeM  
 Alain Paquette, Ph.D., UQAM

Merci de  
 votre  
 attention

Appuis :  
 OURANOS  
 FQRNT-Actions  
 concertées,  
 PMVRMF Volet II –  
 Agence forestière de  
 la Montérégie,  
 CRSNG,  
 Réseau Ligniculture  
 Québec

