



Qualité et résilience du sol en systèmes agroforestiers et rétroactions sur la productivité du blé en contexte de déficit et d'excès d'eau

David RIVEST¹, Ph.D., spécialiste en agroforesterie
Louis-Mathieu GAGNON², B.Sc., étudiant à la maîtrise en agroforesterie
Alain OLIVIER², Ph.D., professeur en agroforesterie,
Christian MESSIER³, Ph.D., professeur en écologie

¹Agriculture et Agroalimentaire Canada

²Université Laval

³Centre d'étude de la forêt (CEF)

RÉSUMÉ

Hypothèse de recherche

Les systèmes agroforestiers (SAF) apparaissent comme une alternative tout indiquée aux systèmes agricoles conventionnels (SAC) pour atténuer les effets négatifs des changements climatiques anticipés sur la qualité des sols et les rendements des cultures agricoles. Nous avons émis l'hypothèse que, comparativement aux SAC, les SAF améliorent la qualité des sols et leur résilience à des perturbations ou stress hydriques, ce qui peut avoir un effet rétroactif positif sur la productivité des cultures agricoles et leur tolérance à certains stress abiotiques sévères comme la sécheresse.

Méthode

Nous avons récolté des sols en SAF et en SAC sur deux sites, l'un situé à Rivière-Ouelle (Bas-Saint-Laurent) et l'autre à Saint-Paulin (Mauricie). Le site de Rivière-Ouelle intègre un système de haie brise-vent de 19 ans implanté sur une argile limoneuse. Le site de Saint-Paulin intègre quant à lui un système de culture intercalaire de 9 ans implanté sur un loam sableux. La qualité biophysique des sols échantillonnés a été analysée à l'aide d'un nombre minimal de variables (C et N totaux, P extractible, N minéralisable, pH, biomasse microbienne, respiration basale et qCO_2). Nous avons aussi évalué la capacité de résilience microbienne des sols grâce à une expérience en laboratoire, où les sols ont été soumis à différents stress de séchage/réhumectation. Parallèlement, une proportion de chaque échantillon de sol récolté sur les deux sites a été utilisée comme substrat de production pour une expérience de culture de blé en serre. Le blé a été cultivé jusqu'à sa pleine maturité. Dans cette expérience en serre, nous avons soumis les pots de blé à trois traitements d'irrigation initiés au stade de l'épiaison du blé : 1) irrigation optimale du blé; 2) arrêt de l'irrigation pendant 10 jours (sécheresse); 3) inondation en continu du pot pendant 10 jours.

Principaux résultats

Sur le site de Rivière-Ouelle, la résilience de la biomasse microbienne dans le SAF était significativement supérieure à celle dans le SAC. De plus, la biomasse aérienne du blé cultivé sur le sol du SAF était significativement supérieure à celle du blé cultivé sur le sol du SAC, dans les trois traitements d'irrigation. Sur le site de Saint-Paulin, une augmentation significative du P extractible et du N minéralisable a été observée dans le SAF, comparativement au SAC. On y a aussi observé une diminution significative du quotient métabolique (qCO_2) dans le SAF, indiquant une plus grande efficacité d'utilisation du carbone disponible du sol par les communautés microbiennes. Sur le site de Saint-Paulin, une augmentation significative de la biomasse aérienne et du rendement en grain du blé a été mesurée dans les pots intégrant le sol du SAF, mais seulement dans le traitement de sécheresse. Les résultats suggèrent que les sols des SAF ont le potentiel d'atténuer les effets négatifs de la sécheresse sur la productivité des cultures agricoles.

Notes



Qualité et résilience du sol en systèmes agroforestiers : effets sur la productivité du blé en contexte de déficit et d'excès d'eau

David Rivest, Louis-Mathieu Gagnon, Alain Olivier et Christian Messier

Journée Scientifique en agroforesterie, 7 février 2013



S'adapter face aux changements climatiques



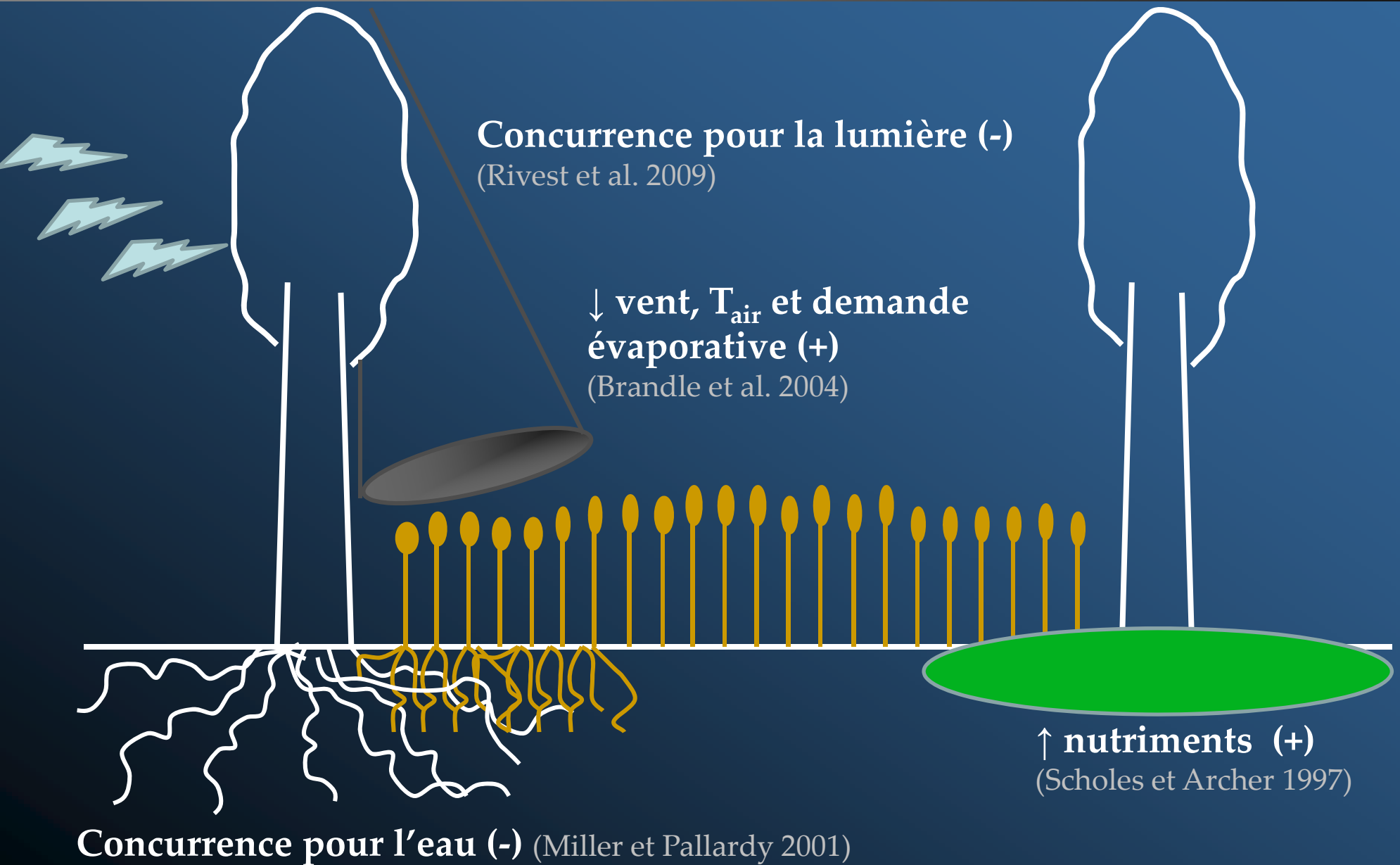
- **Maintenir la productivité, tout en améliorant l'agroenvironnement**
(Tilman et al. 2002; Howden et al. 2007)
- **Augmenter la résilience des agroécosystèmes par l'agroforesterie**
(Malézieux et al. 2009; Schoeneberger et al. 2012)

L'arbre change les propriétés biochimiques du sol



- ↑ biomasse microbienne et minéralisation de N
(Kaur et al. 2000; Wojewoda et Russel 2003)
- ↑ diversité microbienne et des mychorizes
(Lacombe et al. 2009; Bainard et al. 2012)
- H1: les systèmes agroforestiers augmentent la résilience microbienne

Productivité = interactions (+) - interactions (-)



- H2: les sols agroforestiers ont un effet positif sur la productivité des cultures comparativement aux sols de systèmes agricoles conventionnels
- L'effet du sol agroforestier sur la productivité des cultures peut-il varier en présence de stress hydriques sévères dans le sol ?
- La sécheresse et l'excès en eau : des stress majeurs dont la sévérité et la fréquence sont appelées à croître
(IPCC 2007; Tubiello et al. 2007)



Méthodologie - sites et échantillonnage des sols

Rivière-Ouelle

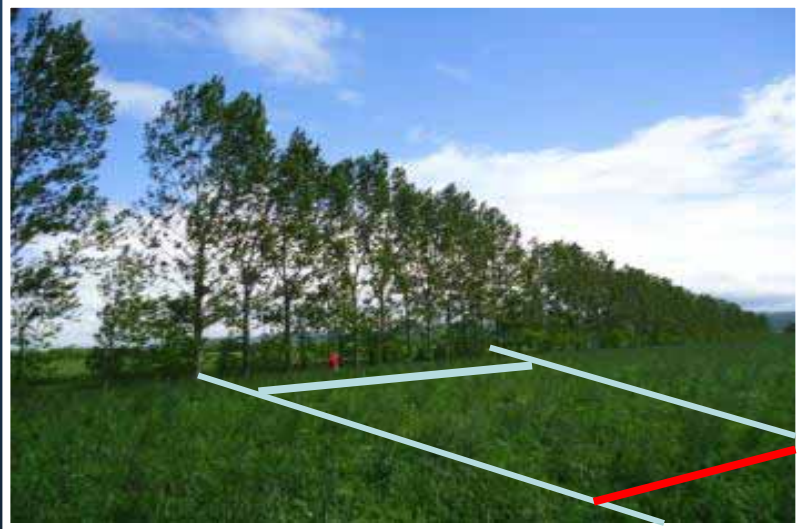


St-Paulin

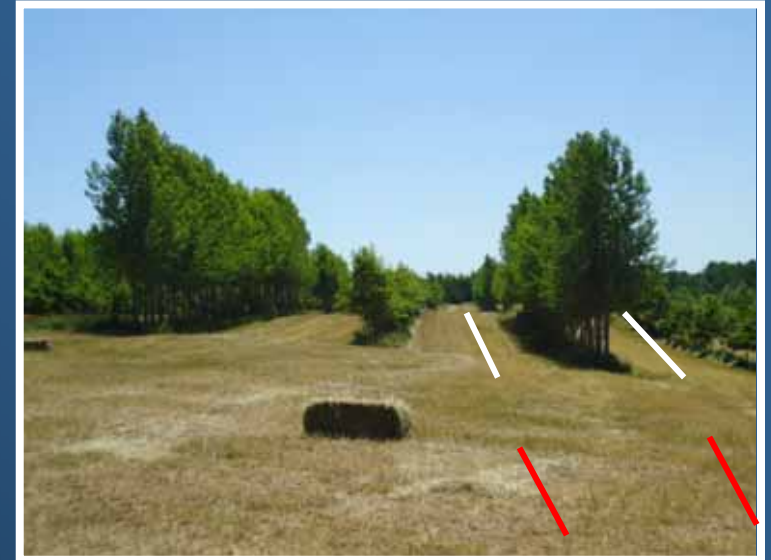


Méthodologie - sites et échantillonnage des sols

Rivière-Ouelle



St-Paulin



Gleysol orthique, loam argileux (pH 6,2)
Brise-vent 1994
Peulier (DHP = 42 cm) et
frêne rouge (12 cm)
Maïs-blé-orge-blé-prairie (5 ans)
4 blocs x 2 dist x 2 composites (35 L)

Brunisol dystrique, sable loameux (pH 5,4)
Système de culture intercalaire 2004
Peulier (13 cm) et chêne rouge (4 cm)
Avoine-sarrasin (2 ans)-canola-
sarrasin-prairie (4 ans)
4 blocs x 2 dist x 2 composites (35 L)

Méthodologie – propriétés biochimiques mesurées

- C et N totaux (*Vario Macro*)
- P extractible (*Bray, ICP*)
- N minéralisable (*30 j incubation aérobie, flow injection*)
- pH_{eau}
- Respiration basale (*micro GC*)
- Biomasse microbienne C
(*SIR, Anderson et Domsch 1978; Bradley et Fyles 1995*)
- Quotient métabolique ($q\text{CO}_2$) (*Anderson 2003*)



Méthodologie - résilience microbienne

- (1) 72 h à 40 °C → réhumectation
- (2) témoin non séché
- (3) biomasse microbienne (BM) 0, 24 et 48 h après la réhumectation (Royer-Tardif et al. 2010)



$$\text{Indice de résilience microbienne} = - \left(-100 \left[\frac{C_0 - P_0}{C_0} \right] - 100 \left[\frac{C_x - P_x}{C_x} \right] \right)$$

Où C_0 = BM témoin, P_0 = BM sol perturbé à temps 0

C_x = BM témoin, P_x = BM sol perturbé 24 et 48 h après la perturbation

(Banning et Murphy 2008)

Méthodologie – expérience en serre

- 5 L de sol/pot (23 x 22 cm) + fertilisant (17 mg N, 8 mg P₂O₅, 8 mg K₂O)
- 12 plants de blé par pot, cv SS Blomidon
- 2 sites (Rivière-Ouelle et St-Paulin)
- 2 types de sol (agroforesterie vs agriculture conventionnelle)
- 3 traitements de stress hydrique dans les pots
 - (1) témoin: min. à 65-70 % capacité au champ
 - (2) sécheresse: ≠ irrigation pendant 10 jours
 - (3) inondation: saturation en eau pendant 10 jours
- ** Trait 2 et 3 initiés au début de floraison et arrêtés au début du remplissage des grains



Résultats – propriétés biochimiques du sol

	Rivière-Ouelle			St-Paulin		
	Système agrofor.	Agriculture convent.	<i>P</i>	Système agrofor.	Agriculture convent.	<i>P</i>
C total (mg g ⁻¹)	20.7	25.2	****	22.5	19.7	
N total (mg g ⁻¹)	2.7	3.2	****	2.2	1.9	*
P extractible (μg g ⁻¹)	57.3	50.2	*	102.1	93.7	***
N minéralisable (μg g ⁻¹ j ⁻¹)	58.7	55.7		44.3	31.5	**
pH (eau)	6.2	6.3		5.3	5.5	**
Biomasse microbienne (mg C g ⁻¹)	0.7	0.6		0.3	0.3	
Respiration basale (mg CO ₂ -C g ⁻¹ h ⁻¹)	1.1	1.3		0.8	0.9	
Quotient métabolique qCO_2 (mg CO ₂ -C g C _{mic} ⁻¹ h ⁻¹)	1.6	2.2	*	2.6	3.0	**

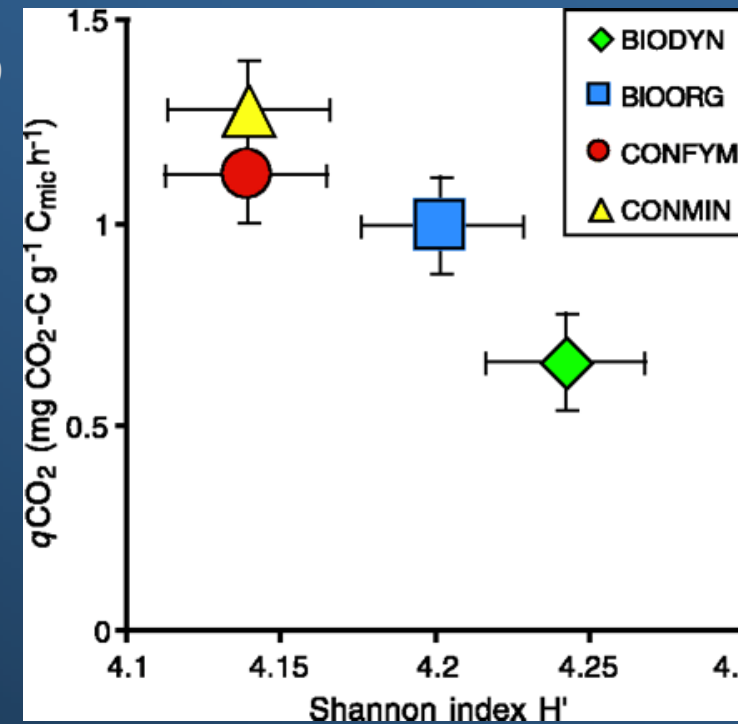
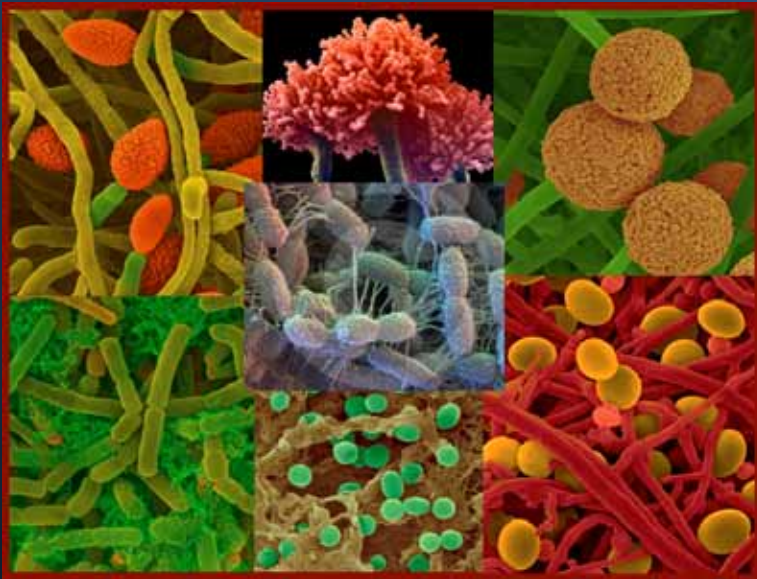
* $P < 0.1$ ** $P < 0.05$ *** $P < 0.01$ **** $P < 0.001$

Discussion - Quotient métabolique qCO_2

$\downarrow qCO_2$ agroforesterie $\rightarrow \uparrow$ efficacité d'utilisation du C (*Anderson 2003*)

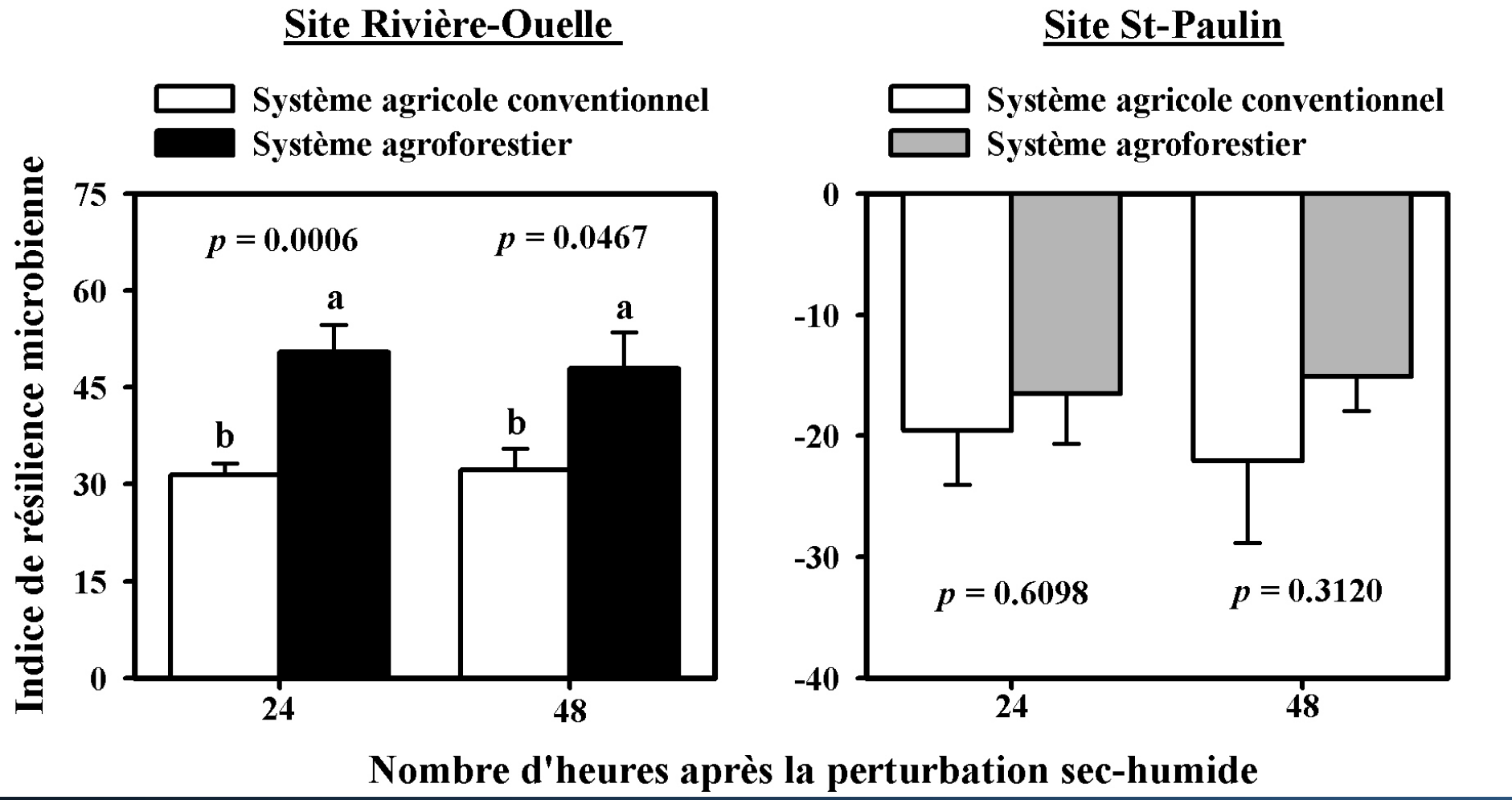
$\downarrow qCO_2 \rightarrow \uparrow$ productivité végétale (*Hungria et al. 2011*)

$\downarrow qCO_2 \rightarrow \uparrow$ diversité microbienne (*Maeder et al. 2002*)



\uparrow diversité microbienne et des mychorizes en systèmes agroforestiers
(*Lacombe et al. 2009; Bainard et al. 2012*)

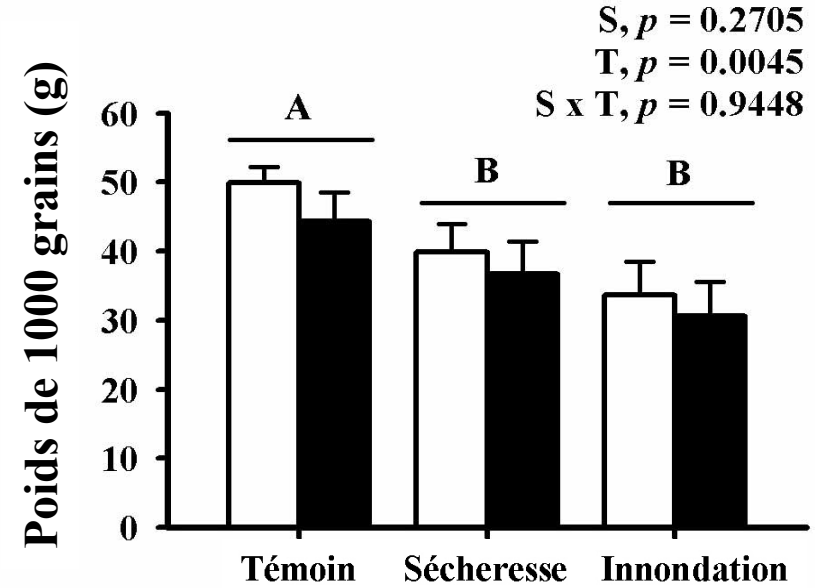
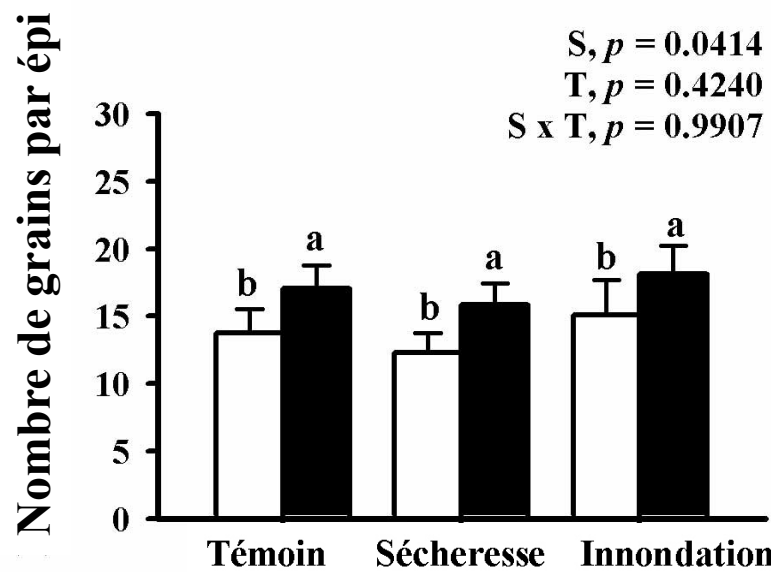
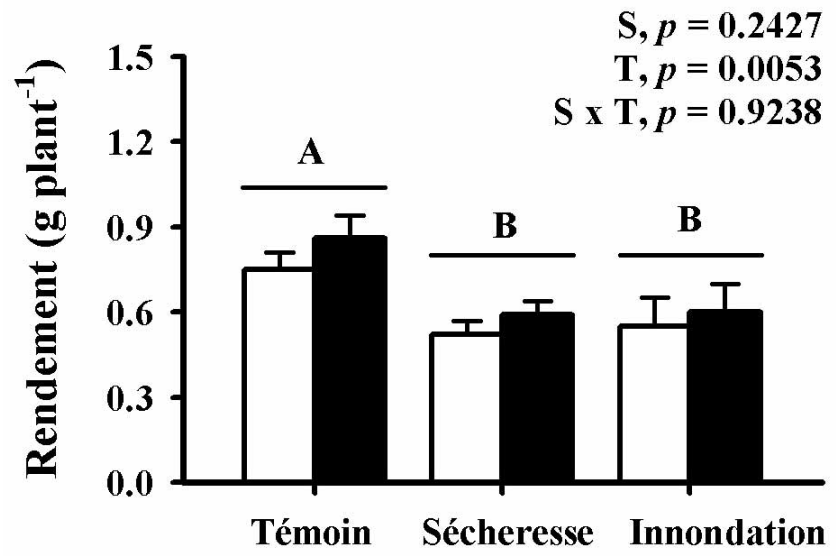
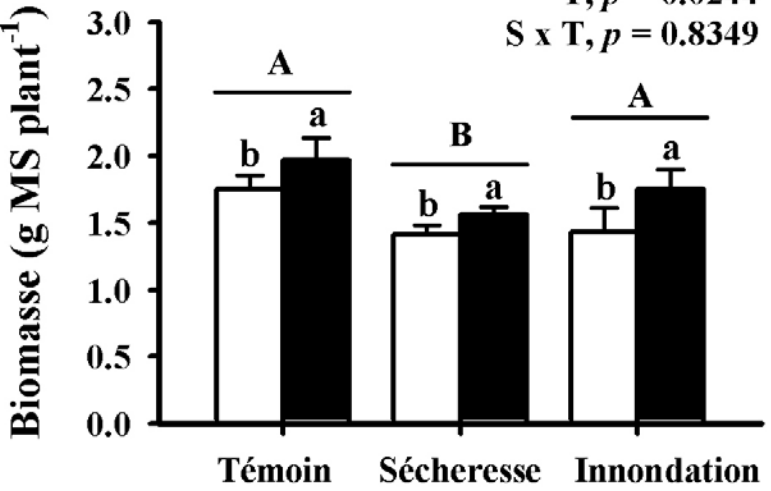
Résultats – résilience microbienne



- Forte relation négative avec qCO_2
- Relation diversité - résilience (Chaer et al. 2009)
- ↓ effet « arbre » en sol léger (Lacombe et al. 2009)
- ↑ ratio champignon/bactérie (Royer-Tardif et al. 2010)

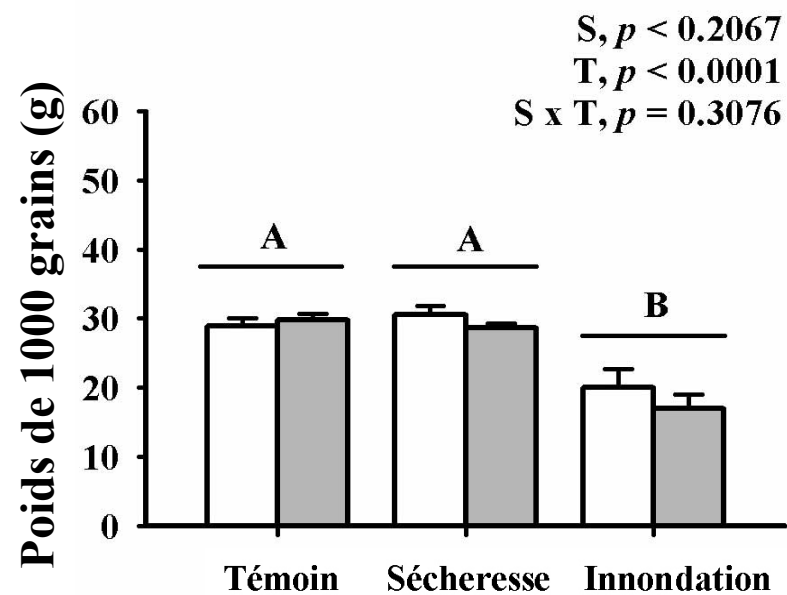
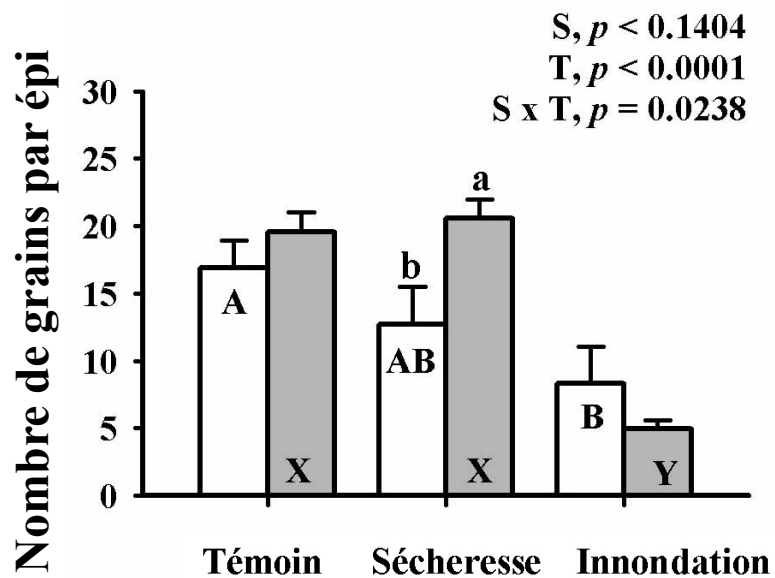
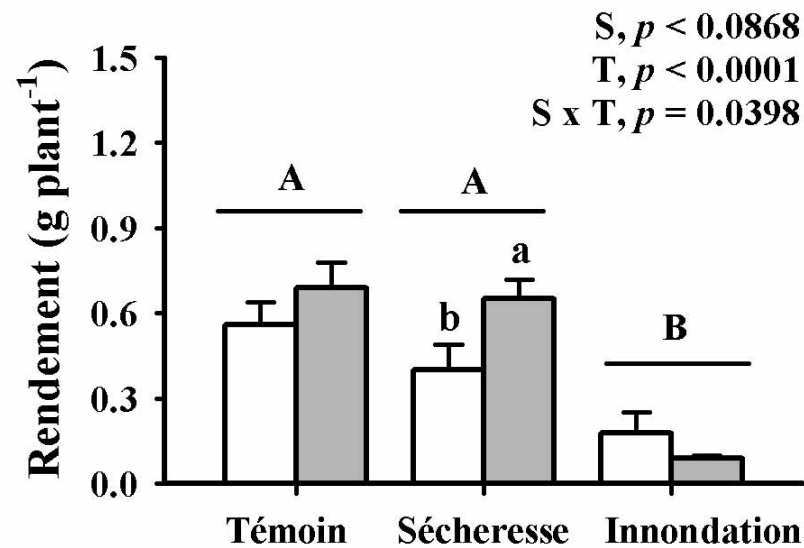
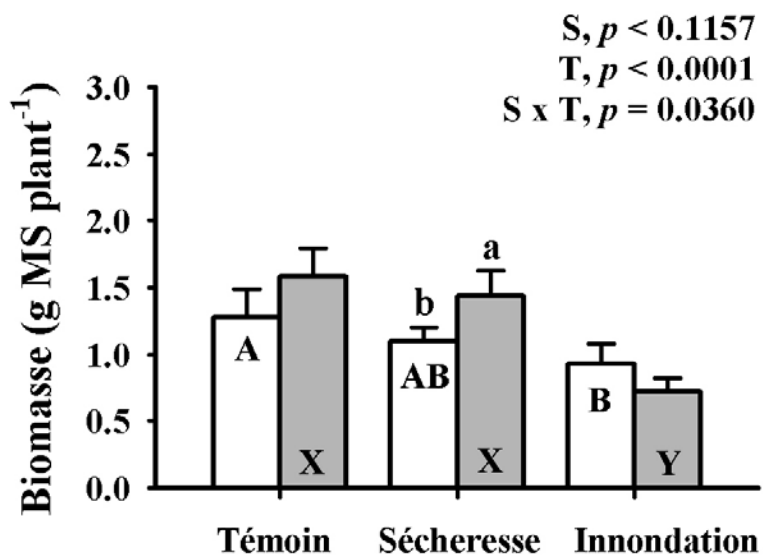
Site Rivière-Ouelle

Système agricole conventionnel
 Système agroforestier



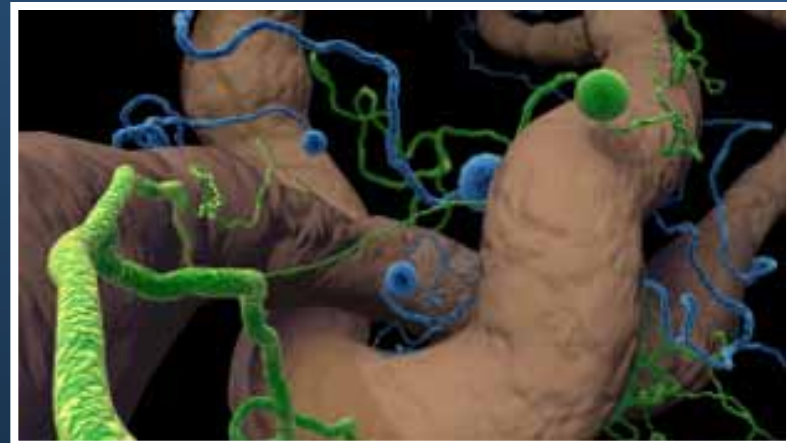
Site St-Paulin

 Système agricole conventionnel
 Système agroforestier



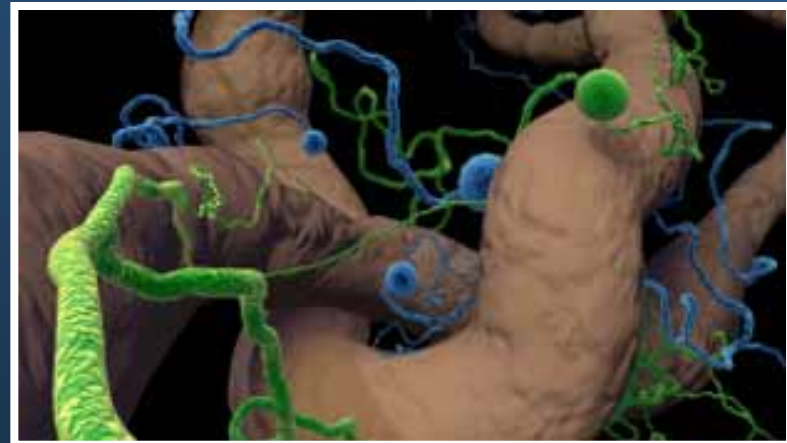
Rivière-Ouelle

- ↑ biomasse et nb grains/épis en sol agroforestier : forte relation positive avec le P extractible
- Autres facteurs édaphiques non étudiés: bases échangeables (Moreno et al. 2007), diversité microbienne (Loreau 2001), activité enzymatique (Mungai et al. 2005), composition et abondance de mychorizes (Plenchette et al. 2005)



St-Paulin

- ↑ biomasse, rendement et nb grains/épis en sol agroforestier, dans le trait. "sécheresse" seulement : faible relation avec les propriétés du sol mesurées
- Peut être dû à ↑ abondance et diversité de mychorizes (*Bainard et al. 2011*) dont les effets positifs sont accrus en situation de déficit en eau (*Al-Karaki et al. 2004*)



Discussion – productivité du blé

- ↓ poids 1000 grains : stress hydrique pendant anthèse peut accélérer la sénescence des feuilles, ↓ le prélèvement des nutriments et ↓ la durée de la photosynthèse post-anthèse et du remplissage des grains (*Gupta et al. 2001*)
- ↓ poids 1000 grains : impact plus sévère du trait. "inondation" sur le site St-Paulin (-77 %) vs Rivière-Ouelle (-28 %). Peut être dû à une plus faible disponibilité des nutriments (*Huang et al. 1994*)



Conclusion

- Les systèmes agroforestiers peuvent \uparrow la résilience microbienne des sols, en particulier dans les sols lourds et avec arbres matures
- L'impact positif de l'arbre sur certaines propriétés du sol peut avoir un effet favorable à la productivité des cultures et leur tolérance à la sécheresse



Conclusion

- Les relations entre les propriétés biochimiques et la résilience du sol ou la productivité du blé sont complexes et dépendent beaucoup du contexte
- Recherches futures: isoler l'effet de la richesse des sites



*Merci de votre
attention !*

Crédits photos et images :

C. Dupraz, F. Liagre, D. Rivest, USDA

