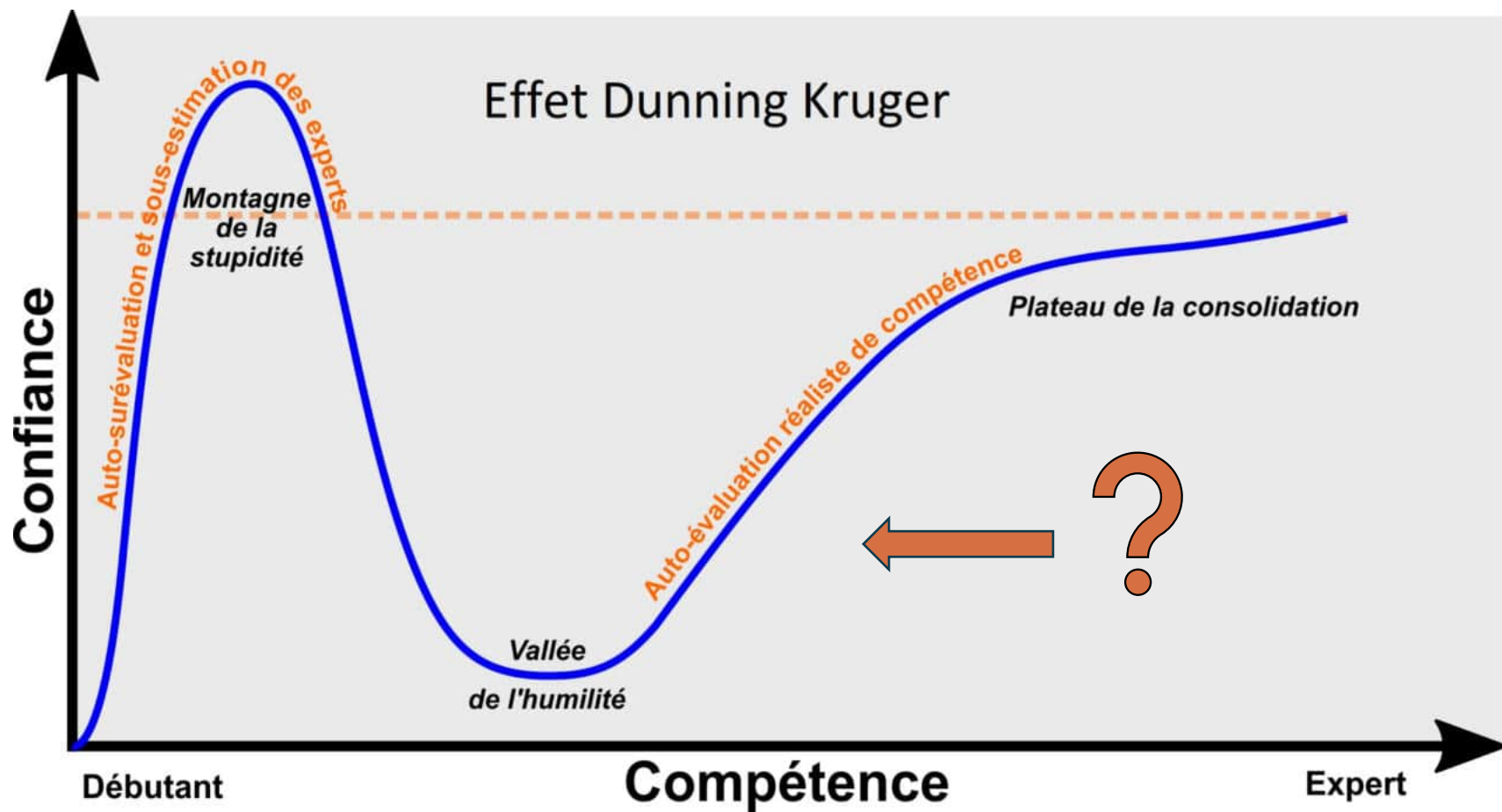


CULTURES DE COUVERTURE, AZOTE ET
STRUCTURE DU SOL;
QUELQUES ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION
Sylvie Thibaudeau, agr.
CCAE Bassin la Guerre
Terre à terre agronomes conseils



OBJECTIF



PLAN DE LA PRÉSENTATION

Résultats de projets cultures de couverture

PLAN DE LA PRÉSENTATION

Résultats de projets cultures de couverture

Lien CC / azote / structure du sol

PLAN DE LA PRÉSENTATION

Résultats de projets cultures de couverture

Lien CC / azote / structure du sol

Hypothèses/Conclusions/Pistes de réflexion

PLAN DE LA PRÉSENTATION

Résultats de projets cultures de couverture

Lien CC / azote / structure du sol

Hypothèses/Conclusions/Pistes de réflexion


Introduction: biologie du sol (fil conducteur)

INTRODUCTION : mise à jour sur la biologie du sol

Microorganismes du sol


- Structure du sol et compaction
- Cycle de l'azote et autres éléments fertilisants

59% de toute la biodiversité de la planète est associée aux sols

ORGANISME	NOMBRE PAR GRAMME DE SOL (1 CUILLÈRE À THÉ DE SOL) 	BIOMASSE (LIVRES/ACRE SUR 6 POUCES ÉPAISSEUR)
Vers de terre	---	100 – 1500
Mites	1 - 10	5 – 150
Nématodes	10 - 100	10 - 150
Protozoaires	Jusqu'à 100 000	20 - 200
Algues	Jusqu'à 100 000	10 - 500
Champignons	Jusqu'à 1 000 000	1 000 – 15 000 *
Actinomycètes	Jusqu'à 100 000 000	400 – 5 000
Bactéries	Jusqu'à 1 000 000 000 **	400 – 5 000

* Les champignons représentent la plus grosse biomasse (en poids)

** Les bactéries sont les plus nombreuses (en nombre)

A close-up photograph of a hand holding a plant with a large, dark, clumpy mass of soil attached to its roots. The plant has green leaves and a thick stem. The background is a vast, green field of similar plants under a clear sky. The text is overlaid on the upper left portion of the image.

30% du carbone capté par la photosynthèse est transféré au sol par les racines sous formes de sucres, enzymes, protéines, etc... qui nourrissent les microorganismes du sol.

Microbes improve soil structure

“The susceptibility of soils to compaction is the direct result of a biological problem: decreased amounts of roots, hyphae and their secretions in the soil”

J. Hoorman et al (2009) Ohioline Ohio State University Extension SAG-10

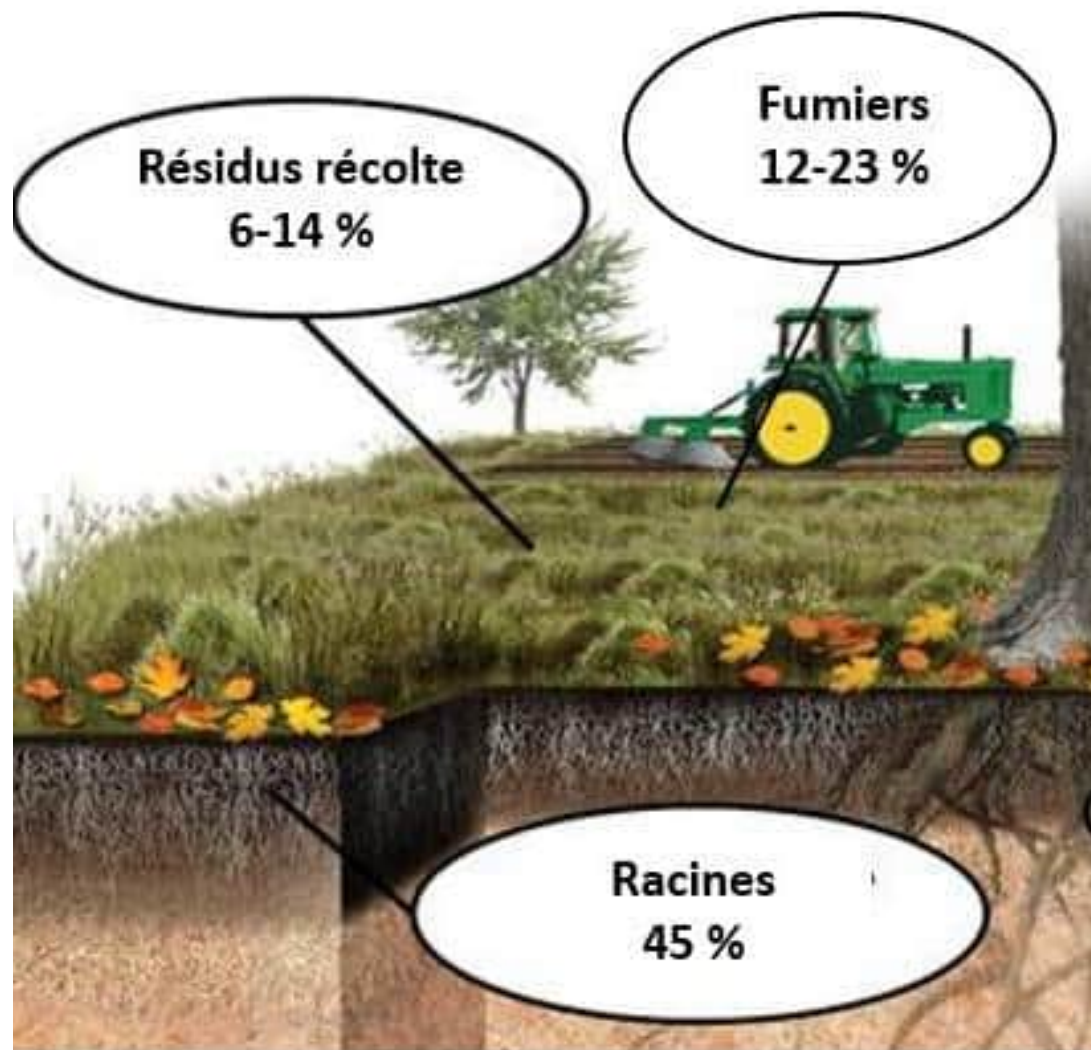
- Microaggregates (250um<) are predominant in compacted soil
- Microaggregates are glued together to form macroaggregates (>250 um)
 - Fungal hyphae & root secretions = ‘the glue’
 - Fungal hyphae & roots also form a web around glued aggregates
- Tilling breaks macro into microaggregates
- Bacteria constantly eat the ‘glue’, so it must be remade
- Tilled, bacteria-dominant soils have little ‘glue’

Hoorman et al (2011) Leading Edge 583-587

Fungi and roots fight compaction



Roots, fungal hyphae, and their secretions stabilize soil aggregates and promote good soil structure, thus preventing compaction.

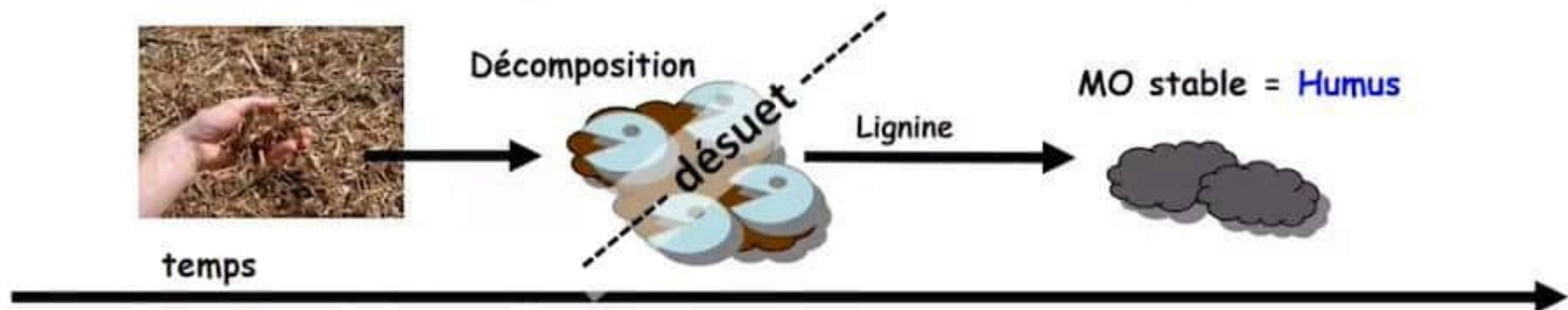


Les racines sont la meilleure source de matière organique stable

Source: Martin Chantigny, PhD
Centre de recherche et de développement de Québec, AAC

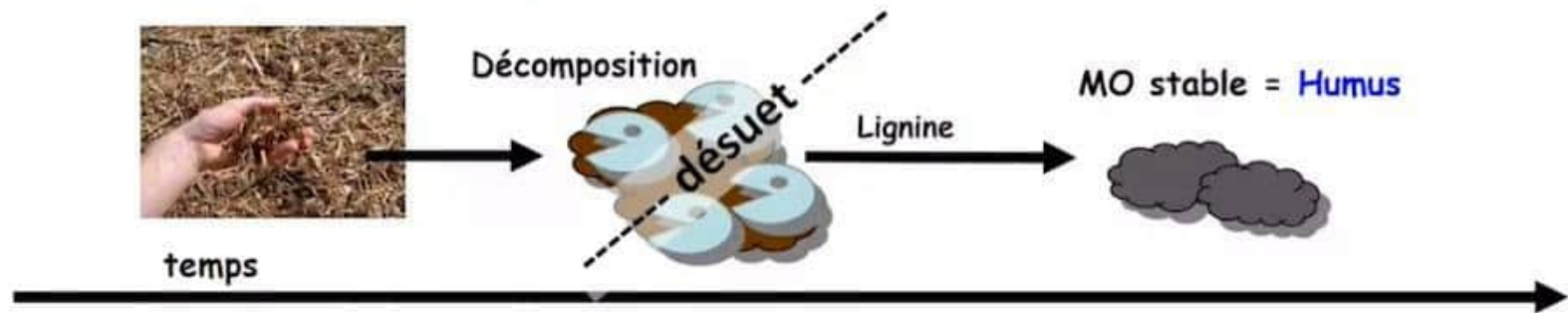
Vous avez dit « humus » ?

Modèle de l'humification: Les résidus ligneux forment des acides humiques (humus).

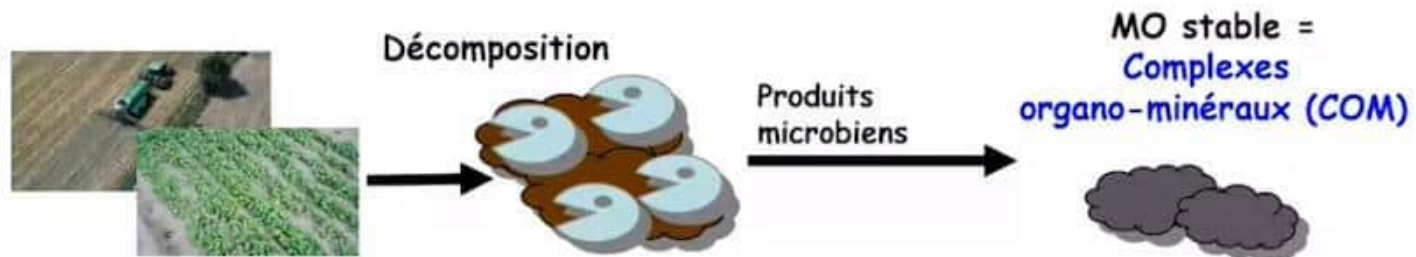


Vous avez dit « humus » ?

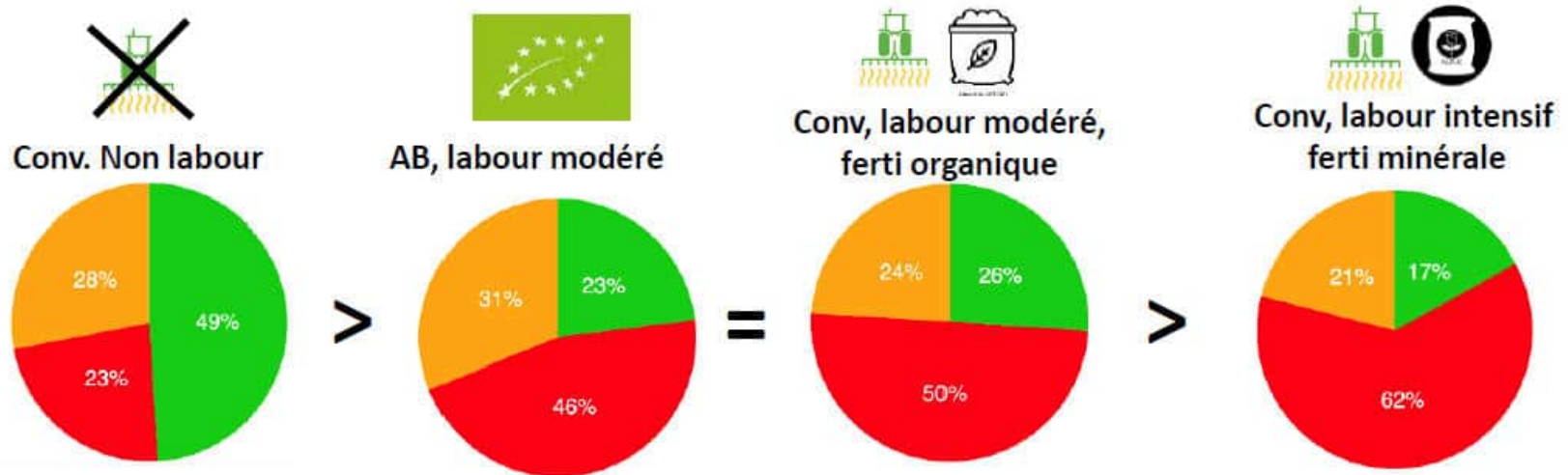
Modèle de l'humification: Les résidus ligneux forment des acides humiques (humus).



Nouveau modèle: Les résidus verts sont transformés en produits microbiens qui forment des complexes avec les argiles (Cotrufo et al. 2013).



Impact des pratiques agricoles sur la qualité microbiologique des sols de grandes cultures

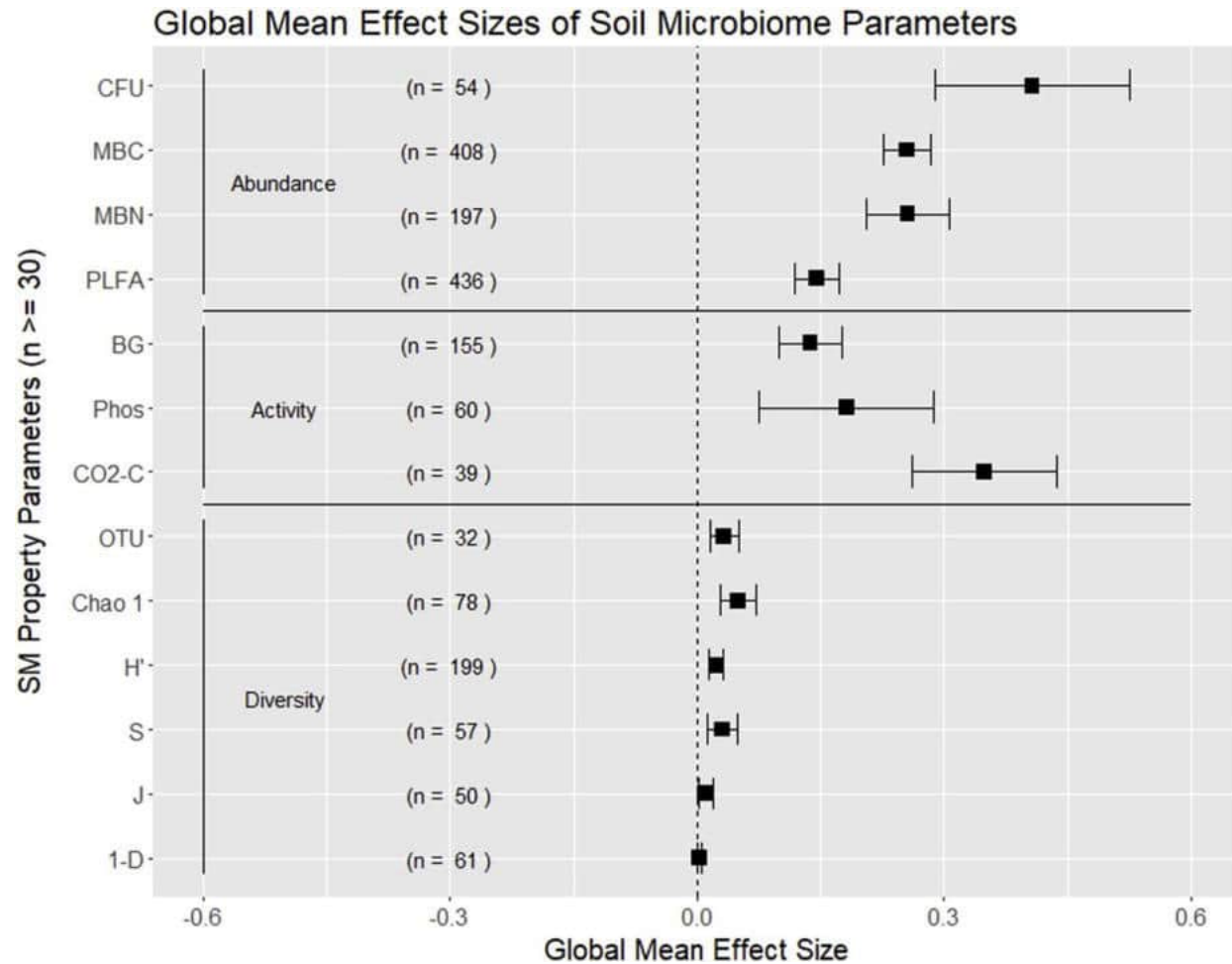


Conv. Non Labour > AB = Conv Ferti Orga > Conv Ferti Minérale

- Bon
- Moyen
- Faible

Do cover crops benefit soil microbiome?
A meta-analysis of current research.

Soil biology and biochemistry, 142 (2020)



CC augmentent abondance, activité et diversité du microbiome du sol de 27%, 22% et 2.5%

Résultats de projets sur les cultures de couverture

Dérobée
après blé

Intercalaire
dans blé

1) Légumineuses annuelles en dérobée blé

A) Pois fourrager



Doses économiques d'azote (DEO) en fonction du prix du maïs (\$/t)

Prix maïs (\$/t)	175 \$	200\$	250\$	300\$	Rendement moyen (kg/ha)
Pois fourrager	80	80	80	80	13 706
Moutarde	164	175	196	207	12601

Augmentation de l'efficacité du système racinaire par les mycorhizes: prélèvement du P et de l'eau

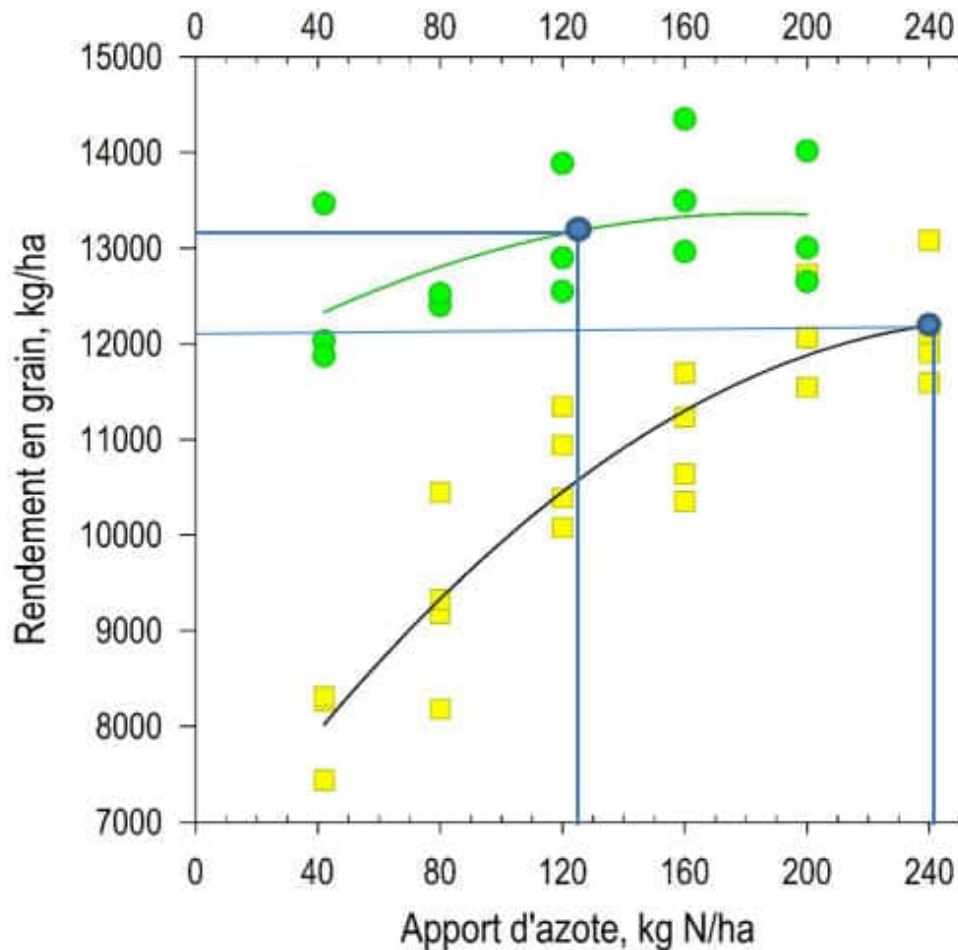


Parcelles semées 2015 et 2016

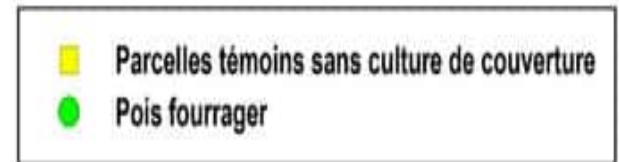
Bérubé, C. et J. Tremblay, 2018

Espèces cc	kg/ha	\$/kg	Coût \$/ha
Pois fourrager 40/10	120	1	120,00
Pois fourrager / radis	60 / 3	1 / 5,50	60 / 16,50
Pois d'hiver	50	1,76	88,00
Trèfle d'Alexandrie	12	7,72	92,64
Trèfle incarnat	12	4,44	53,28
Vesce de Cahaba	27	3	81,00

Réponse à l'azote du maïs en 2016



RÉPONSE DU MAÏS AUX CC
≠
TENEUR EN AZOTE DE LA CC



Rendement maximum maïs avec pois (13 t/ha) et 125 N

Rendement maximum maïs sans CC (12 t/ha) et 240 N

Pois fourrager: équivalent azoté de 115 kg/ha et 1 t/ha de plus de rendement en maïs que témoin sans culture de couverture

Pois et radis: résultats similaires, à moindre coût

« Contexte »

- Champs en semis direct (ou travail réduit)
- Retour blé automne
- Culture couverture en dérobée semée au semoir, mi-fin août (Montréal)
- 5 à 6 semaines (et plus) de croissance
- Biomasse de plus de 3500 kg/ha m.s.





Conclusions/réflexions

Rôle des
microorganismes
du sol (mycorhizes)

Conclusions/réflexions

Rôle des
microorganismes
du sol (mycorhizes)

“Équivalent azoté”
Analyses CC?

Conclusions/réflexions

Rôle des
microorganismes
du sol (mycorhizes)

“Équivalent azoté”
Analyses CC?

Incorporation CC
pas nécessaire
pour “N”

Conclusions/réflexions

Rôle des
microorganismes
du sol (mycorhizes)

“Équivalent azoté”
Analyses CC?

Incorporation CC
pas nécessaire
pour “N”

Semis direct + CC
 $1 + 1 = 3$

1) Légumineuses annuelles en dérobée blé

B) Féverole

FÉVEROLE

- Système racinaire robuste
- Fixation d'azote
- Couvre peu le sol
- Résidus noirs au printemps
- Calibre semences très variable







Féverole

- Projet Carl Bérubé 2021-2022
 - Trèfles intercalaire blé automne et CC dérobée (dont féverole)
 - Témoin sans CC, 2 doses N post-levée maïs année suivante
- Conclusions: peu ou pas différence rendement maïs témoin vs féverole. N minéral nécessaire.
- ???? ; année, « timing » minéralisation CC et/ou fumier, etc...

Féverole

- Parcelles Sentinelle N
- Maïs retour mélange CC à base de féverole 2024-2025
- Champs en semis direct, belle structure, rotation avec BA
- Conclusions: excellents rendements en maïs, mais N minéral nécessaire

Parcelles Sentinelle – 2025

2 exemples retour blé + CC avec féverole

Ferme	Rendement en maïs (kg/ha, 14,5% d'humidité) pour différentes doses N sur 2 fermes en 2025, parcelles Sentinelle				Rendement relatif (%) *
	Démarreur seulement	- 40 kg/ha	Dose champ**	+ 40 kg/ha	
1	9658	14326	15191	14573	64%
2	7204	11270	11805	12221	73%

En rouge: rendement avec la marge nette la plus élevée (frais variables)

* Rendement relatif: (rendement démarreur seulement/rendement maximum)*100

** Dose champ: 120 (ferme 1) et 112 (ferme 2) kg/ha N appliqués en post-levée du maïs

Conclusions/réflexions

Mauvais
« timing »
libération N ?

Conclusions/réflexions

Mauvais
« timing »
libération N ?

C/N racines
élevé?

Conclusions/réflexions

Mauvais
« timing »
libération N ?

C/N racines
élevé?

Tuteur pour pois
Résidus noirs

Conclusions/réflexions

Mauvais
« timing »
libération N (C/N)?

Arrière-effet à
prévoir?

Tuteur pour pois
Résidus noirs

Où l'intégrer
comme CC?

2) Trèfles en
intercalaire dans
une céréale



Agriculture verte

Un sous-couvert de trèfle dans un champ de blé hiver peut donner de 10% à 15 % d'augmentation de rendement de maïs



Par **Paul Caplette**
Agriculteur et collaborateur

Publié: 16 novembre 2021
**Blogues, Profession
agriculteur**

10 % augmentation rendement maïs

Rendement relatif jusqu'à 100 %

Apport 100 kg/ha N par le trèfle, crédit de 60 kg/ha (biomasse 3,5-4,0 t/ha m.s.). Aucun fumier.

Destruction chimique du trèfle au printemps. Aucune incorporation du trèfle jusqu'en 2021, puis déchaumeuse printemps (après herbicide)

Conclusions/réflexions

Incorporation
trèfle nécessaire
pour "N"?

Conclusions/réflexions

Incorporation
trèfle nécessaire
pour “N”?

Destruction trèfle
“tôt” suivi semis
CC qui captent N?

Conclusions/réflexions

Incorporation
trèfle nécessaire
pour "N"?

Destruction trèfle
"tôt" suivi semis
CC qui captent N?

Trèfle + fumier
pour maïs: trop N
éventuellement?

Conclusions/réflexions

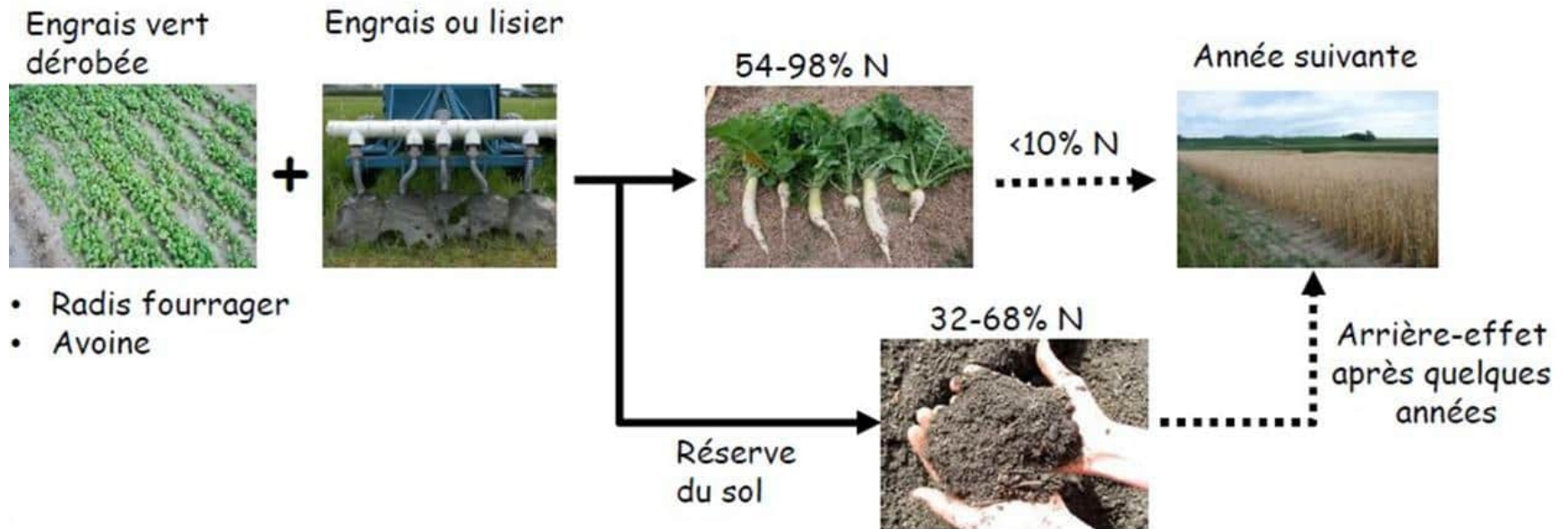
Incorporation
trèfle nécessaire
pour "N"?

Destruction trèfle
"tôt" suivi semis
CC qui captent N?

Trèfle + fumier
pour maïs: trop
N?

Arrières effets?

Récupération N



Source: Nitrogen-15 labelling and tracing techniques reveal cover crop transfer more fertilizer N to the soil reserve than to the subsequent crop

Maude Langelier, Martin H. Chantigny, Denis Pageau, Anne Vanasse, 2021

Post-récolte maïs, 150 kg/ha, volée,
passage rouleau crénelé







Captation N résiduel



3) Légumineuses en
intercalaire début
saison, soya

Régie

- Semis dans du soya en rangs espacés de 30 po
- Semis à la volée, champs en semis direct
- Semis à 2-3 trifoliées du soya



Lotier, juste avant la récolte





Lotier, moment de la récolte





Lotier, printemps suivant





Trèfle Huia







Mélilot semé en intercalaire dans le soya (printemps suivant)





Mélilot dans soya qui ne ferme pas ses rangs

Racines mélilot
printemps 2021
(suivant semis)

Rendements maïs 2021

- Sans mélilot: 13 197 kg/ha
- Avec mélilot: 13 910 kg/ha
- ??? À valider



Rendements en maïs selon différents traitements herbicides pour contrôler le melilot semé en intercalaire dans le soya

Application d'herbicide		Rendement moyen (kg/ha)*	Humidité (%)
pré-levée	3-5 feuilles		
1 Integrity	Liberty	13680 ^a	27.3 ^a
2 Eragon + Merge	Liberty + Vios	13373 ^a	25.9 ^a
3 Integrity	Aucun	12221 ^b	26.8 ^a
4 R Up + Blackhawk	Round up	13842 ^a	23.9 ^a
5 Round Up	R Up + Vios	14136 ^a	25.3 ^a

* à 85% de matière sèche

Les résultats suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents à $p < 0,05$



Réponse à l'azote du maïs semé après des intercalaires dans le soya

- 2 ans sur 4 DEO 160 kg/ha N (mélilot)
- 1 an sur 4 DEO 120 kg/ha N (lotier)
- 1 an sur 4 DEO 50 kg/ha N (lotier)
- Manque uniformité CC?
- Mauvais « timing » fourniture N?

Conclusions/réflexions

Apport "N" pour
mais suivant?

Conclusions/réflexions

Apport "N" pour
mais suivant?

Doivent être
laissées en place
le + tard possible?

Conclusions/réflexions

Apport "N" pour
maïs suivant?

Doivent être
laissées en place
le + tard possible?

Intéressant pour
semis blé
automne?

Conclusions/réflexions

Apport "N" pour
maïs suivant?

Doivent être
laissées en place
le + tard possible?

Intéressant pour
semis blé
automne?

Intérêt en bio?

4) CC en dérobée
après du soya

Avoine



AVOINE SEMÉE EN POST-RÉCOLTE DU SOYA

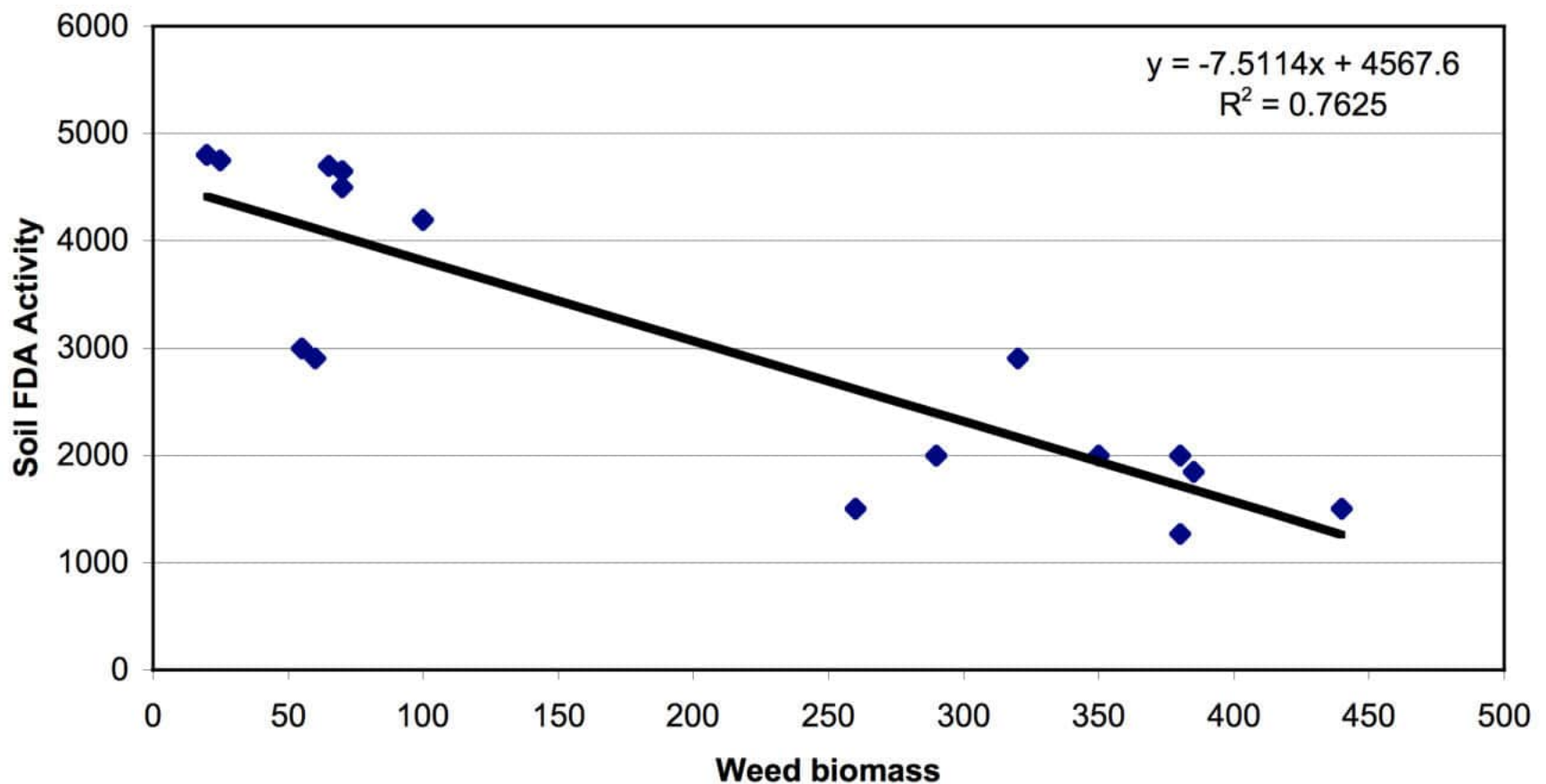
Impact du semis d'une plante de couverture après la récolte du soya sur le rendement du maïs l'année suivante

Saison 2011		Saison 2012	
Soya	Maïs		
Semis après la récolte	Rendement (kg/ha)	Gain (kg/ha)	
Seigle	14 750	-550	
Avoine	15 770	470	
Ray-grass	15 380	80	
Ray-grass et <i>tillage radish</i>	15 360	60	
Témoin (sans semis après la récolte)	15 300		





Diminution de la biomasse de mauvaises herbes avec une culture de couverture d'avoine, en relation avec l'augmentation de l'activité microbienne



Conclusions/réflexions

Importance
racines et
microorganismes

Conclusions/réflexions

Importance
racines et
microorganismes

Semis tardif:
semis semoir

Conclusions/réflexions

Importance
racines et
microorganismes

Semis tardif:
semis semoir

Avoine pré-
defoliation soya?

Conclusions/réflexions

Importance
racines et
microorganismes

Semis tardif:
semis semoir

Avoine pré-
defoliation soya?

Intérêt en bio?

5) CC en intercalaire
dans le maïs



Trèfle incarnat (semé sillons) en intercalaire dans du maïs-grain



Rendements en maïs (kg/ha) obtenus avec 4 différentes cultures intercalaires et 2 modes de semis

Culture intercalaire	Semis à la volée avec incorporation	Semis dans des sillons
Témoin (sans intercalaire)	15 030	14 785
Trèfle incarnat	15 238	16 217 **
Vesce	14 129	16 541 **
Pois fourrager	15 250	15 351
Trèfle d'Alexandrie	14 677	15 145

** rendement significativement différent des autres traitements et du témoin

Synergie

- Transfert d'azote entre la légumineuse et le maïs??
- D'autres phénomènes comme le développement du système mycorhizien et la stimulation de l'activité biologique expliquent les effets positifs positifs de la légumineuse intercalaire sur le maïs.

Racines et travail d'équipe!

Les synergies

Cultures intercalaires: augmentation des rendements du maïs et de la féverole

Les racines du maïs libèrent un exsudat qui stimule la nodulation de la féverole

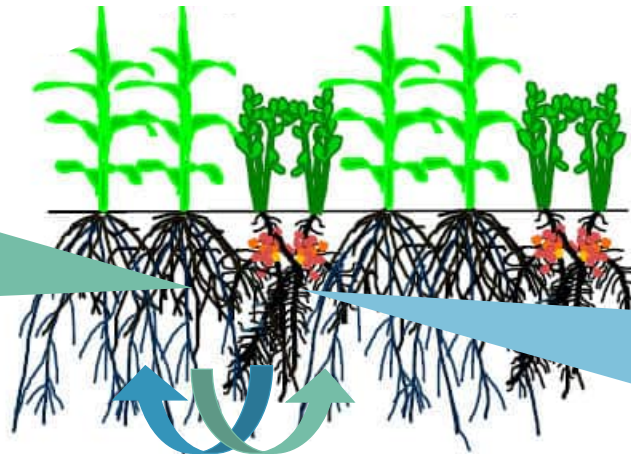


Image tirée de Li et al., 2016

Les racines de la féverole libèrent des acides organiques qui mobilisent le P insoluble

Conclusions/réflexions

Bénéfices des
intercalaires
dépendent réussite
implantation

Conclusions/réflexions

Bénéfices des
intercalaires
dépendent réussite
implantation

Privilégier semis dans
des sillons (réussite,
coût, espèces,
dépendance pluie)

Conclusions/réflexions

Bénéfices des
intercalaires
dépendent réussite
implantation

Privilégier semis dans
des sillons (réussite,
coût, espèces,
dépendance pluie)

Bénéfices année
d'implantation?

Conclusions/réflexions

Bénéfices des
intercalaires
dépendent réussite
implantation

Privilégier semis dans
des sillons (réussite,
coût, espèces,
dépendance pluie)

Bénéfices année
d'implantation?

Succès mitigé dans
certaines situations
(Mode semis? Date
semis?, etc.)

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Microbiologie
du sol, structure
et azote

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Microbiologie
du sol, structure
et azote

Recherches
et essais

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Microbiologie
du sol, structure
et azote

Recherches
et essais

Évaluation et
évolution

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Microbiologie
du sol, structure
et azote

Recherches
et essais

Évaluation et
évolution

Effet Dunning
Kruger!!

**GUIDE DES CULTURES
DE COUVERTURE**
en grandes cultures



Bien les planter et bien les gérer, ça rapporte!

- Les avantages des cultures de couverture
 - Les caractéristiques d'une quarantaine d'espèces et d'une dizaine de mélanges d'intérêt
 - Les modalités de semis et les conditions de réussite
- Et plus encore!

Auteures principales :
Anne Vanasse, agronome, Sylvie Thibaudeau, agronome et Anne Weill, agronome.

PARTENARIAT
CANADIEN pour
l'AGRICULTURE

Canada Québec

www.craaq.qc.ca





<https://www.facebook.com/groups/culturesdecouverteqc/>



ATTENTION

**CULTURES DE COUVERTURE
AU TRAVAIL**

Pour un sol en santé
et une eau de qualité

Québec Agriculture, Pêcheries et Alimentation