

Améliorer le bilan carbone en grandes cultures : par où commencer?

Sylvestre Delmotte, Ph.D., agr.

Avec le soutien de Thomas Dupuis, Alexis Ruiz Gonzalez, Ph.D. et Maëlle Derrien, Ph.D., Université Laval

Webinaire MAPAQ - 28 février 2025





01

Comment estimer les GES ?

D'où part-on?

Études antérieures

- ACV des producteurs de grains du Québec :
 - 2015 : 0,44 kg éq. CO₂ / kg de maïs
 - Analyse filière, issue de la description d'un scénario de production moyen pour le Québec
- À notre connaissance, pas de portrait réalisé des émissions de GES de la production de grandes cultures au Québec basé sur des fermes réelles

Empreinte carbone d'un kilo de maïs

Principaux contributeurs aux changements climatiques

Gestion des déchets

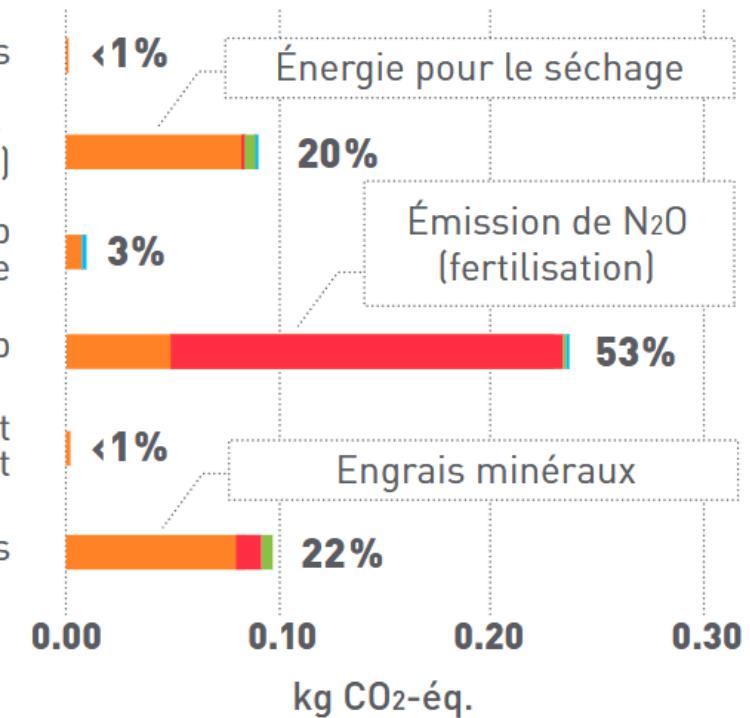
Opérations à la ferme (avec transport)

Transport du champ à la ferme

Opérations au champ

Transport d'approvisionnement

Production des intrants



■ Dioxyde de carbone
■ Oxyde nitreux

■ Méthane
■ Monoxyde de carbone

Calculateur GES Agriclimat



- Basé sur les méthodologies standards (GHG protocol, IPCC 2006 et 2019, NIR 2024)
- Modèles de Tiers 2 :
 - Gestion des fumiers
 - N₂O des sols (Liang et al., 2020) : précision du calcul et potentiel de réduction
- Adéquation entre précision du calcul et temps requis pour collecter, compiler et analyser les données;
- Transparence pour l'utilisateur, flexibilité dans le choix des formalismes suivant les données disponibles, adaptation aux contextes locaux et aux nouvelles connaissances;
- Conforme aux exigences des différents standards de l'industrie.

→ Audit externe et publications scientifiques en cours

Processus de développement



- Collaboration des experts pour opérer des choix :
 - Près de 30 experts consultés entre septembre 2021 et février 2022 : présentation d'une revue de la littérature, des méthodes possibles, et suggestions de choix
- Tests et améliorations successives en fonction des retours des utilisateurs et des experts depuis 2022
- Participation à plusieurs projets de R&D pour approfondir les connaissances
- Comité scientifique réuni en novembre 2024 pour prioriser les développements futurs



Déploiement du diagnostic



Faculté des sciences
de l'agriculture et de
l'alimentation



UNIVERSITÉ
LAVAL



Agriculture and
Agri-Food Canada

Chercheurs et professionnels
(porteurs de connaissances agronomiques)



Centre de développement
du porc du Québec inc.

Partage de connaissances,
soutien pour le
développement de l'outil
diagnostic

Équipe

AGRICLIMAT

Agriculture, Pêches
et Alimentation

Québec

VIA
Pôle d'expertise
en services-conseils
agricoles

Formation et
outil diagnostic

Conseillers

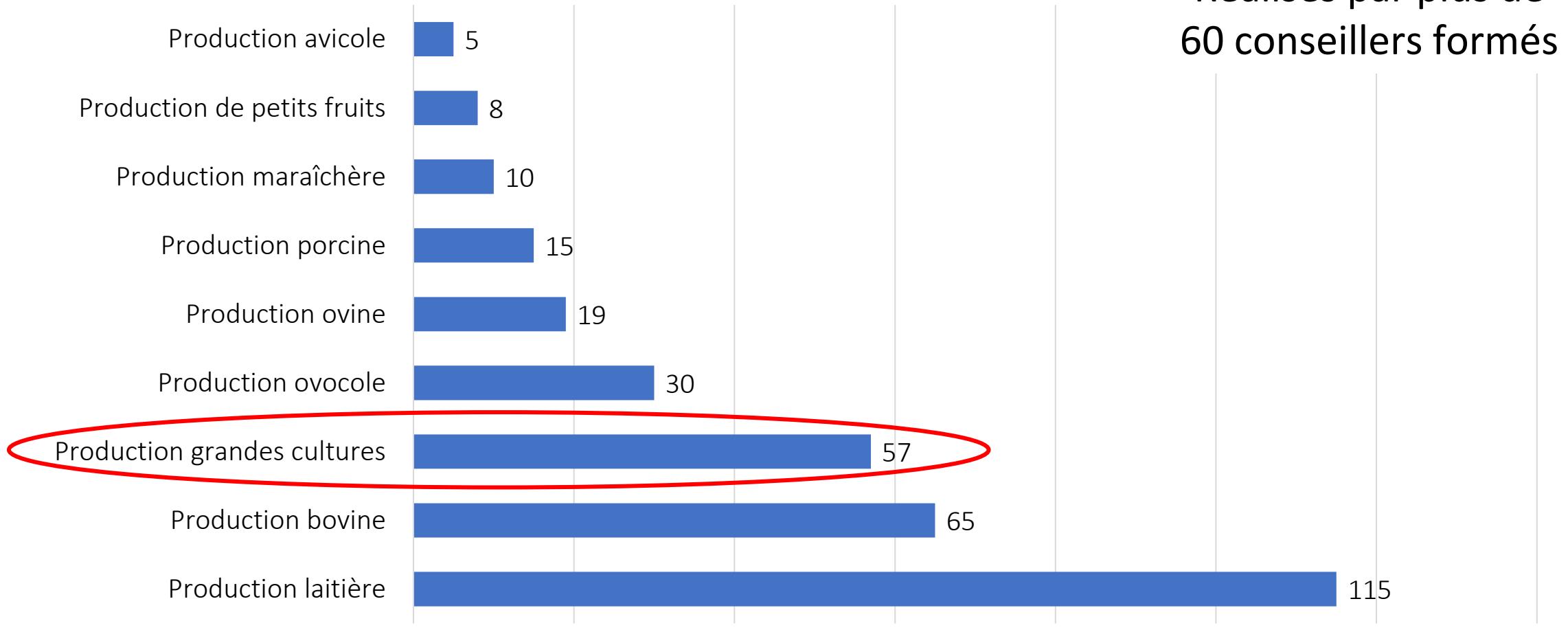
Réseau Agriclimat

Producteurs agricoles

Diagnostic et
accompagnement

Répartition - 324 diagnostics dont plus de la moitié réalisés en 2024

Réalisés par plus de
60 conseillers formés



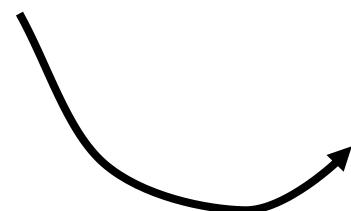
Bilans carbone en production de grandes cultures

- Un échantillon initial de 103 entreprises
 - Fermes pilotes Agriclimat
 - Diagnostics financés par le MAPAQ en région (PAAR)
 - Diagnostics financés par Agrisolutions climat (AAC)
- Des entreprises spécialisées en grandes cultures et des entreprises qui ont également une production animale



Tri des données

- Fermes de différentes vocations
 - Parmi les 103 fermes, 2 à 100 % des superficies produisent des grains destinés à la vente
 - Critère de sélection :
 - Superficie cultivée destinée à la vente doit être > 25 ha
 - Échantillon final : 84 entreprises
 - 32 font seulement des productions végétales, 39 vendent 100 % de leurs productions végétales



Séparation des émissions totales entre les grandes cultures vendues et les autres productions sur une base physique (superficie et consommation)

Description de l'échantillon des 84 fermes

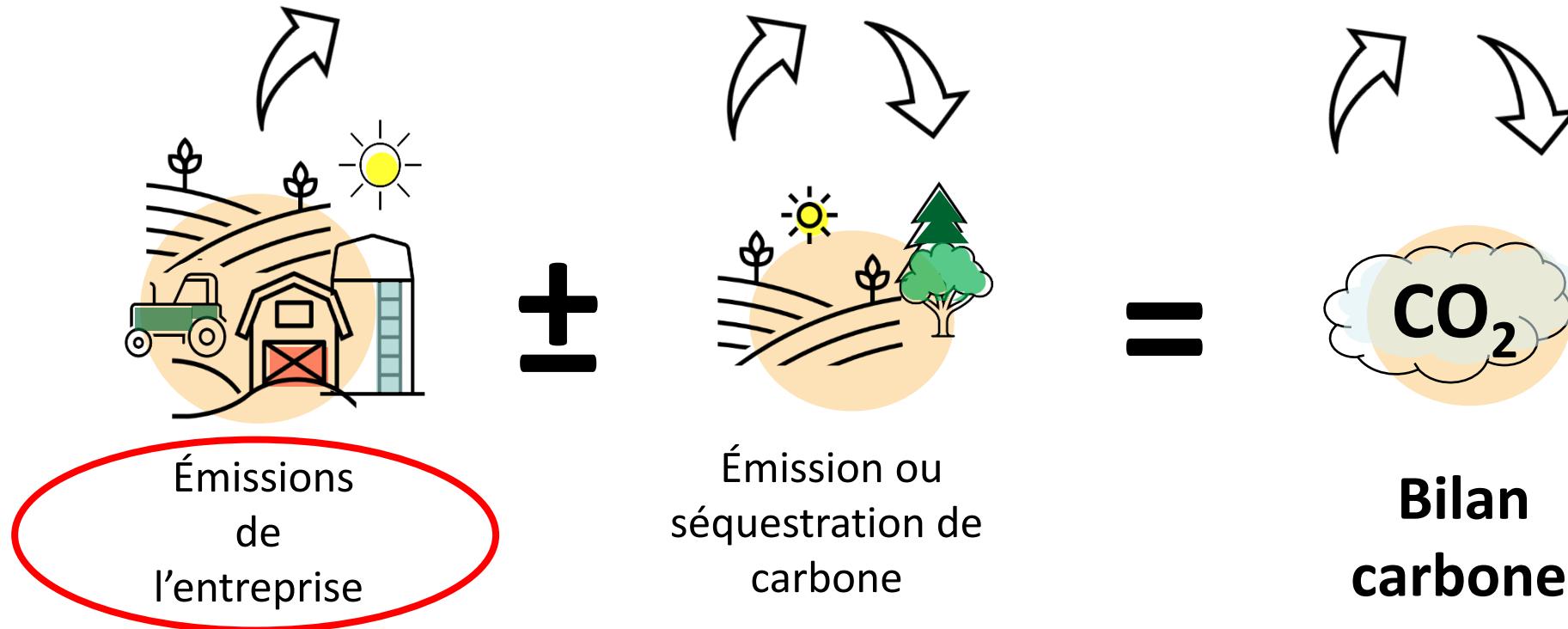
	Moyenne	Minimum	Maximum
Superficie cultivée totale (ha)	310	36	1529
Part de la superficie destinée à la vente	76 %	13 %	100 %
Part de la superficie cultivée en maïs	27 %	0 %	78 %
Part de la superficie cultivée en soya	28 %	0 %	83 %
Part de la superficie cultivée en cultures fourragères pérennes	18 %	0 %	67 %



02

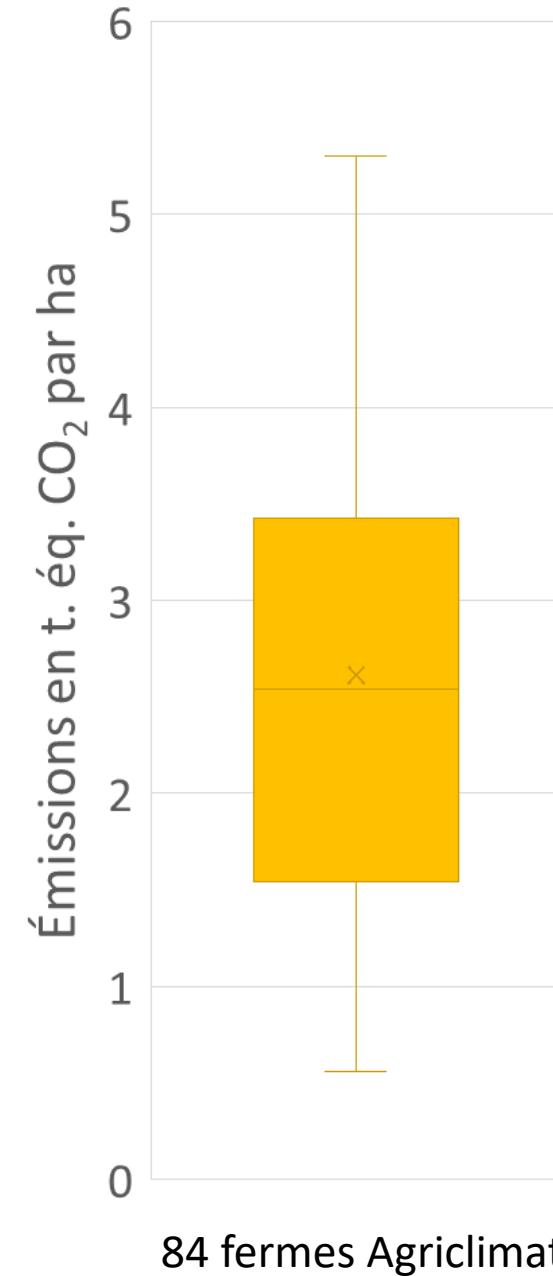
Résultats des
bilans carbone
réalisés
jusqu'ici

Qu'est-ce qu'un bilan carbone ?



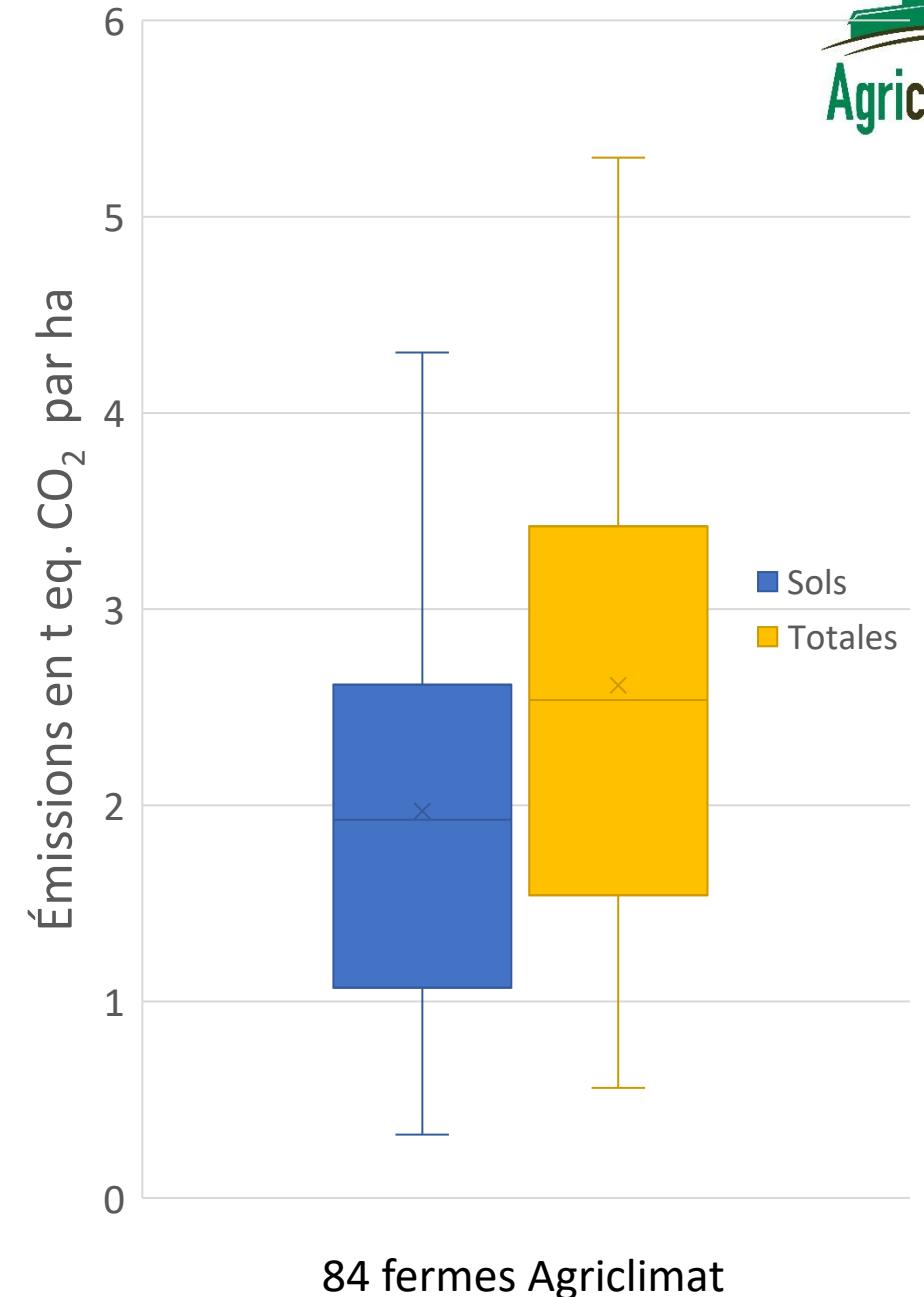
Émissions de GES

- Moyenne des 84 fermes
 - Émissions de 2,6 t éq. CO₂ par ha
 - Très grande variabilité des émissions : de 0,6 à 5,3 t éq. CO₂ par ha
- Si on tient compte des superficies cultivées destinées à la vente de chaque ferme : 3,0 t éq. CO₂ par ha



1^{er} poste GES = les sols

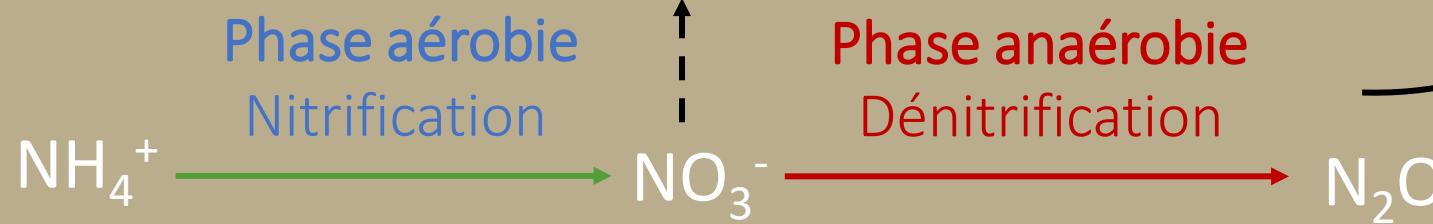
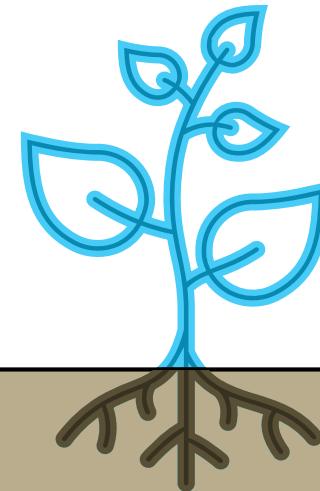
- Les émissions provenant des sols cultivés représentent 76 % du total
 - Émissions directes et indirectes de N₂O
 - Émissions de CO₂ associées au chaulage



Émissions de N₂O des sols

Apport d'azote (N) :

- Engrais
- Fumier
- Résidus de cultures

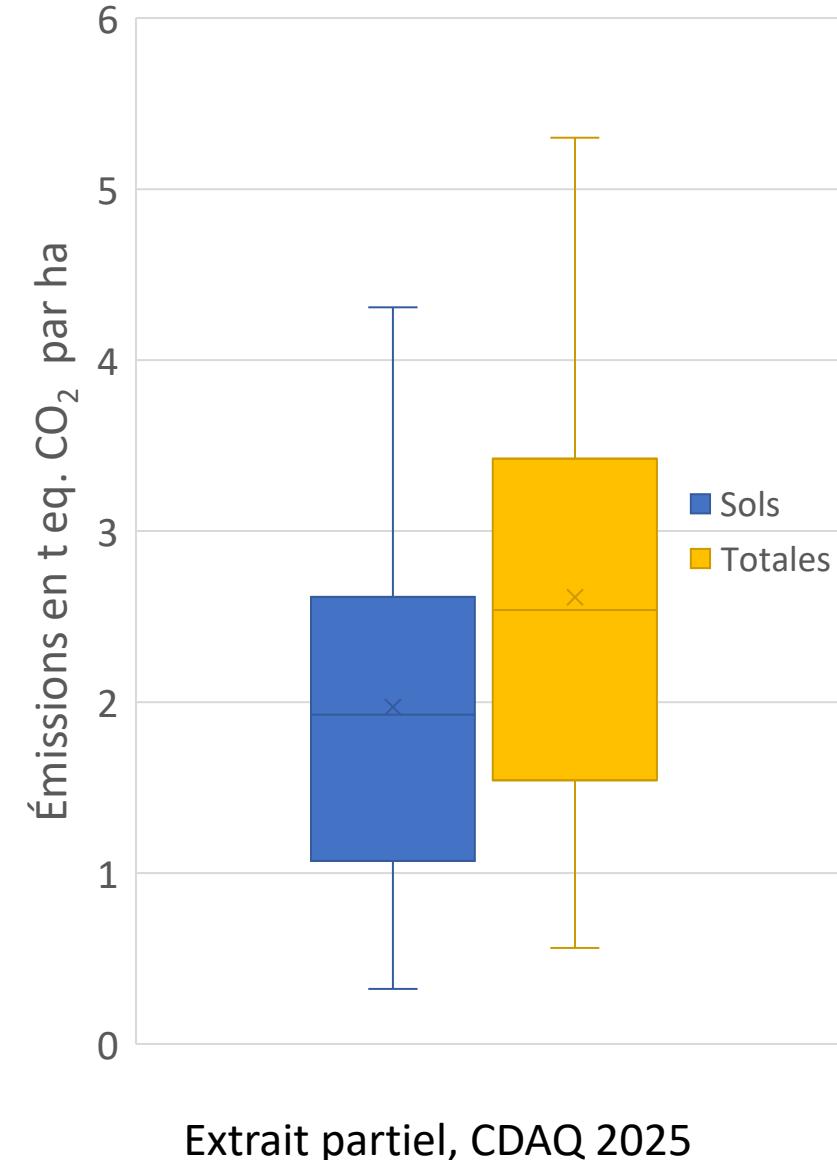


Conditions propices aux émissions de N₂O :

- La fonte de la neige
- Après une forte pluie

1^{er} poste GES = les sols

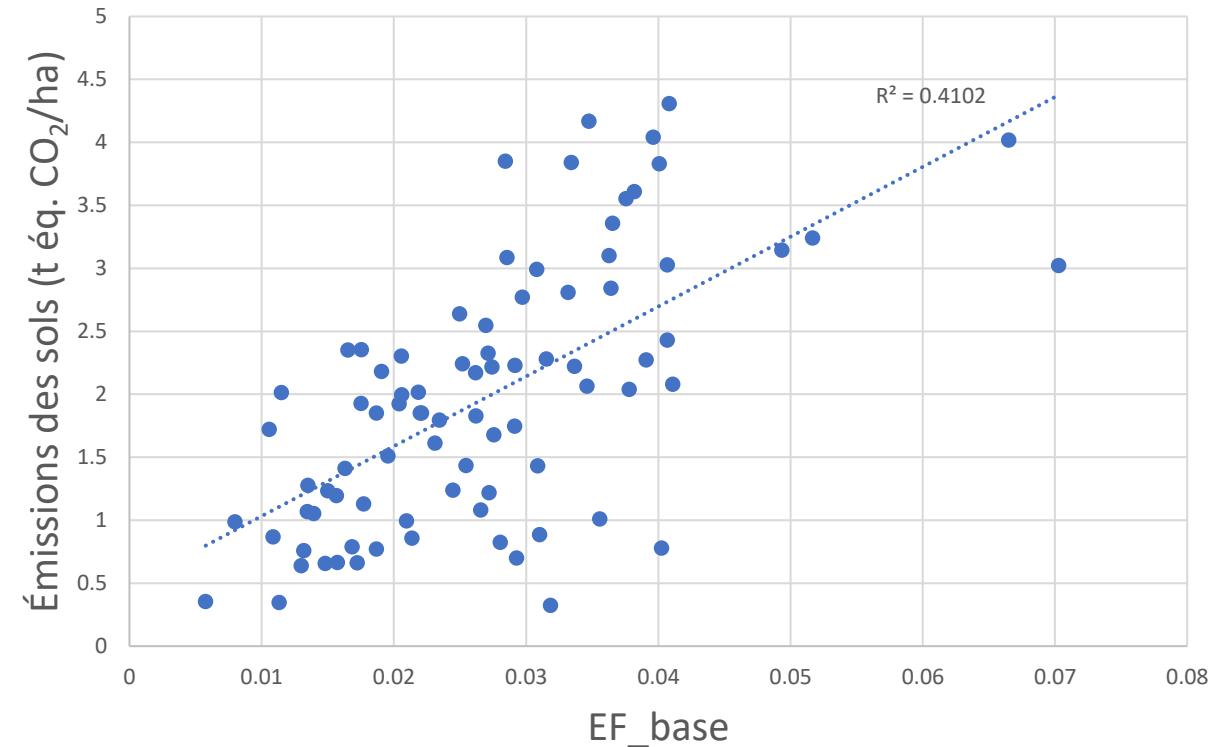
- Qu'est-ce qui explique une telle variabilité ?
 - La texture des sols
 - Sols légers = 10 fois moins de risque d'émissions qu'un sol lourd



1^{er} poste GES = les sols

– Qu'est-ce qui explique une telle variabilité ?

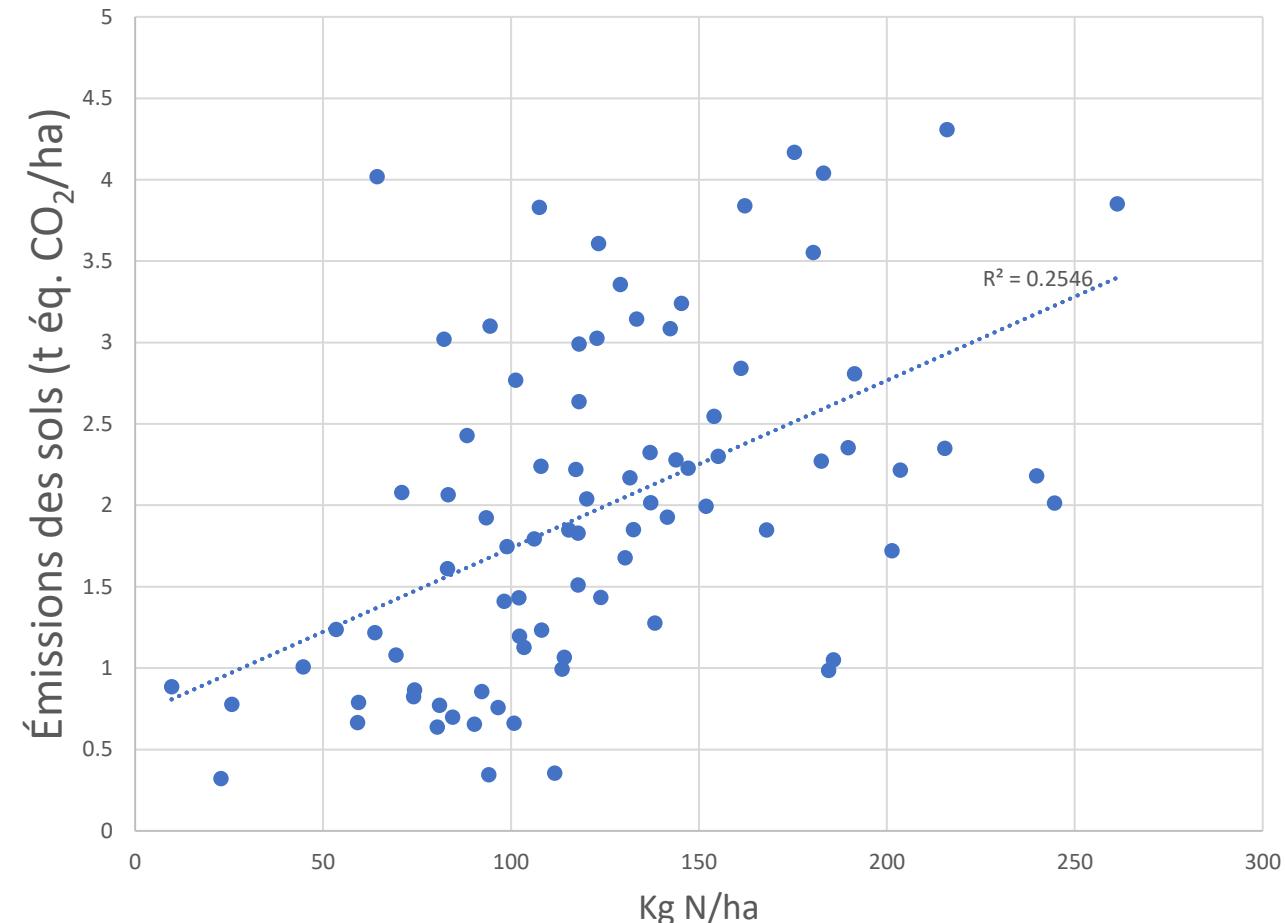
- La texture des sols
 - Sols légers = 10 fois moins de risque d'émissions qu'un sol lourd
- Le climat
 - Outaouais : plus sec et chaud, moins de risque d'émission qu'en Estrie par exemple (plus frais et pluvieux)



1^{er} poste GES = les sols

– Qu'est-ce qui explique une telle variabilité ?

- Les pratiques de fertilisation : dose totale apportée, proportion d'N organique vs minérale
 - En moyenne, 15 % moins d'émissions avec de l'N organique

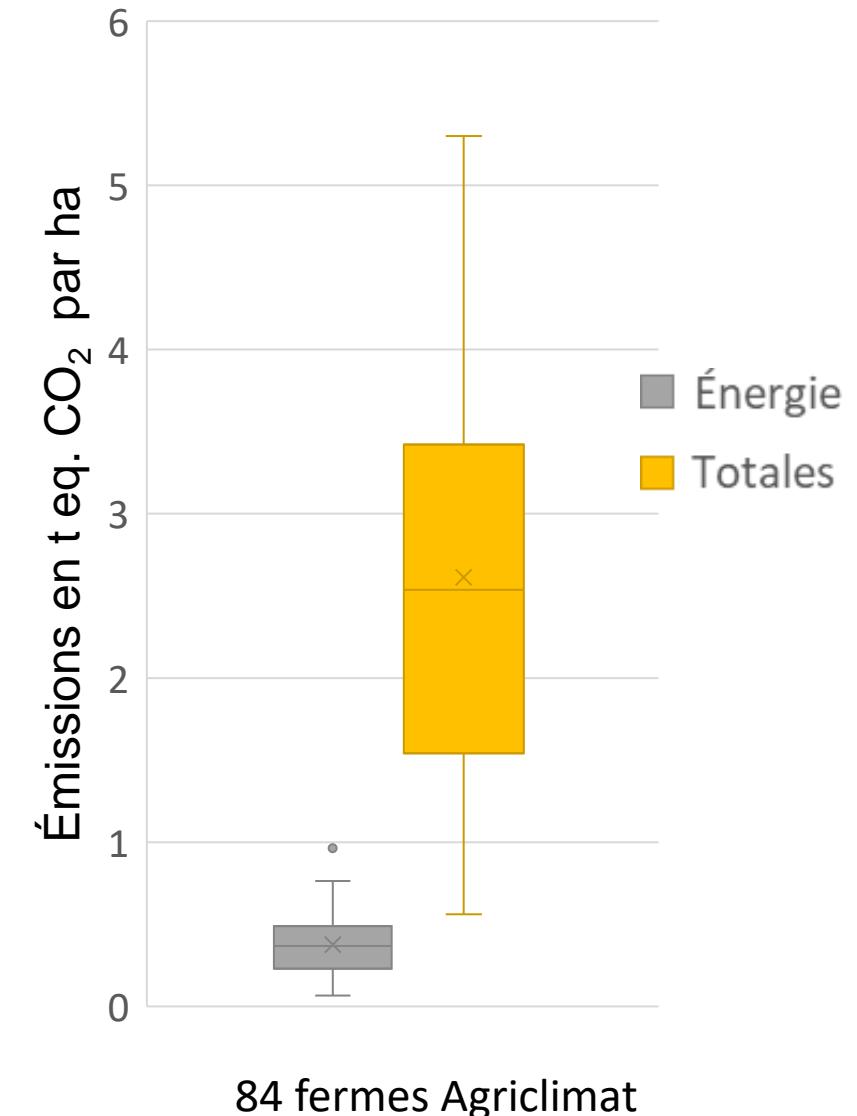


1^{er} poste GES = les sols

- Modèle pour les cultures de couvertures ?
 - Si 0 % de légumineuses : - 10% d'émissions directes de N₂O
 - Si 50 % de légumineuses : effet neutre
 - Si 100 % de légumineuses : + 10% d'émissions directes de N₂O
(Drever et al., 2022)
- Effet du travail de sol?
 - Est-du-Canada : pas d'effet de la réduction des travaux de sols
(Liang et al., 2020)
 - Sols lourds : émissions supérieures en travail réduit, au moins à court terme (Pelster et al., 2024)

2^e poste GES = fabrication et utilisation de l'énergie

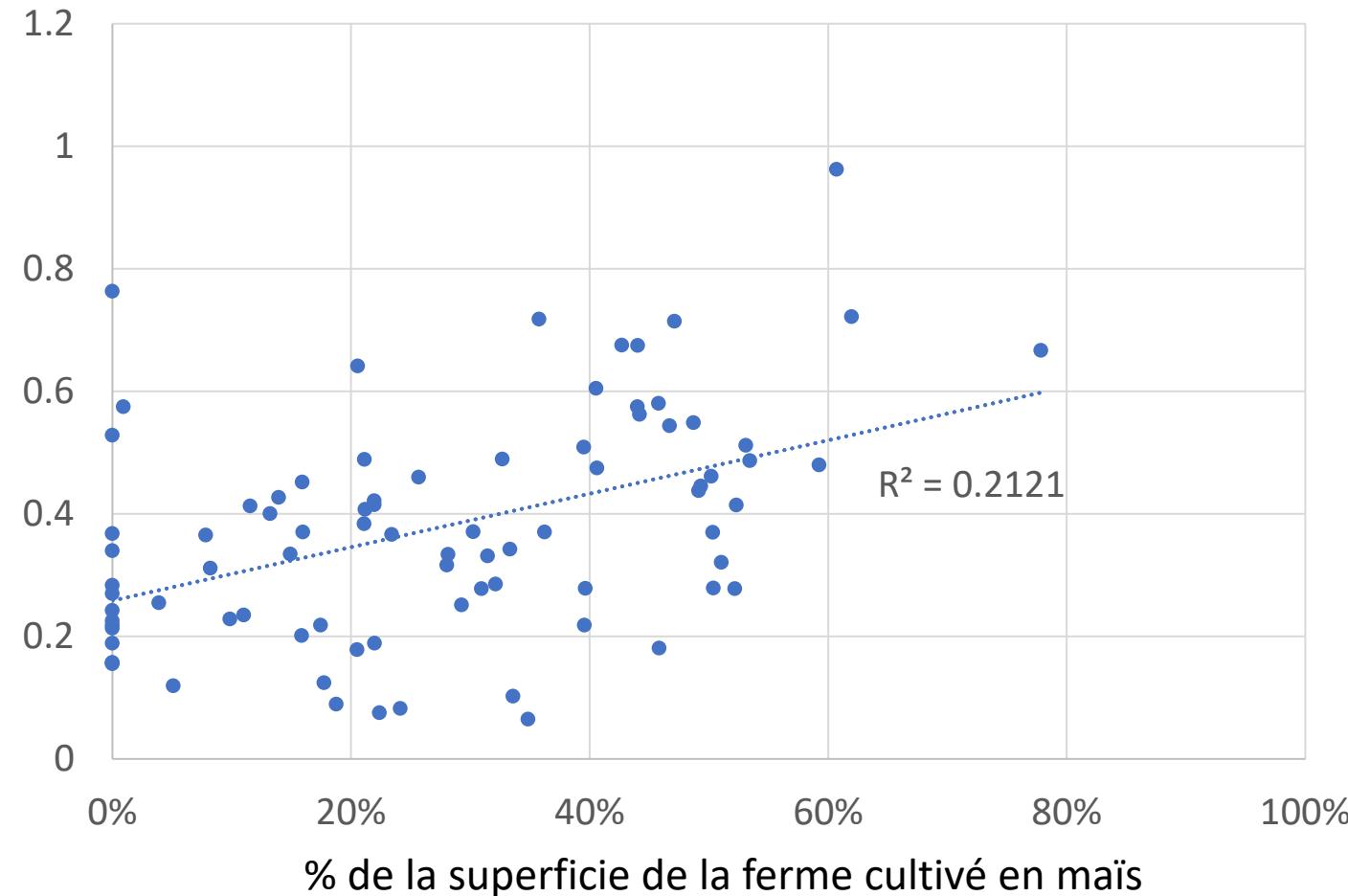
- 14 % des émissions d'un ha de grandes cultures
- Diesel pour la machinerie
 - 1 L = \sim 3,2 kg éq. CO₂
- Propane pour le séchage (maïs)
 - 1 L = \sim 2,2 kg éq. CO₂



2^e poste GES = énergie

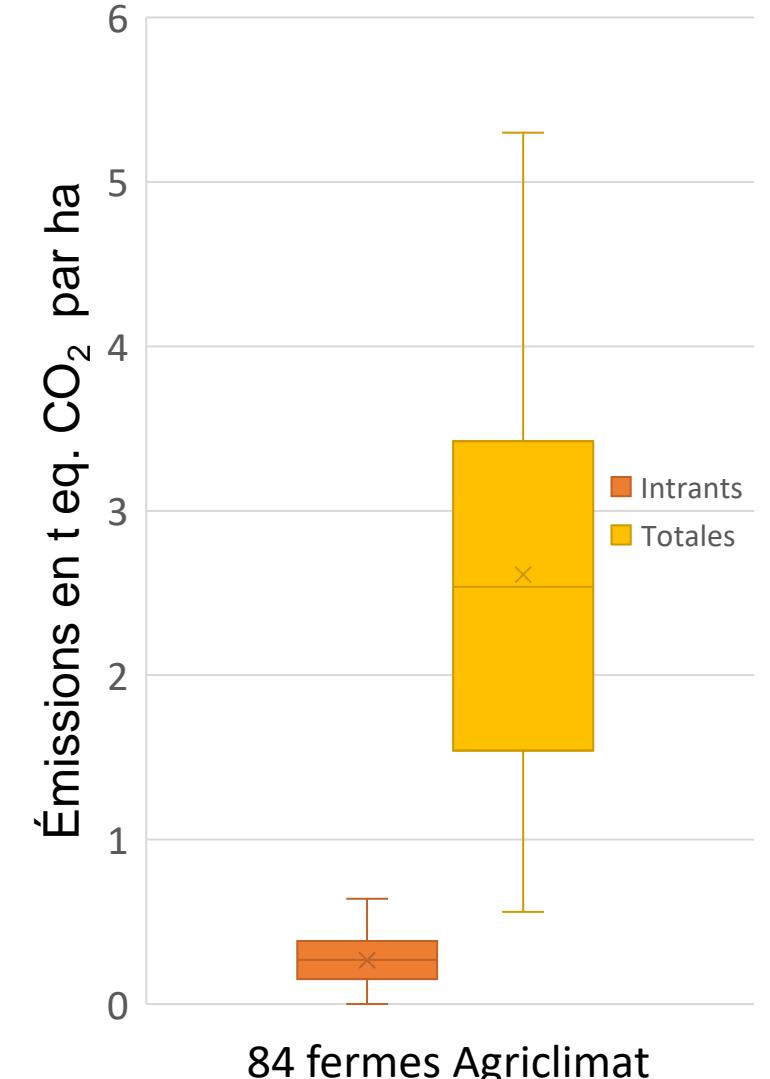
– Le maïs-grain = diesel + propane

Émissions de GES associées
à la production et à la
consommation d'énergie
(t. éq CO₂ par ha)



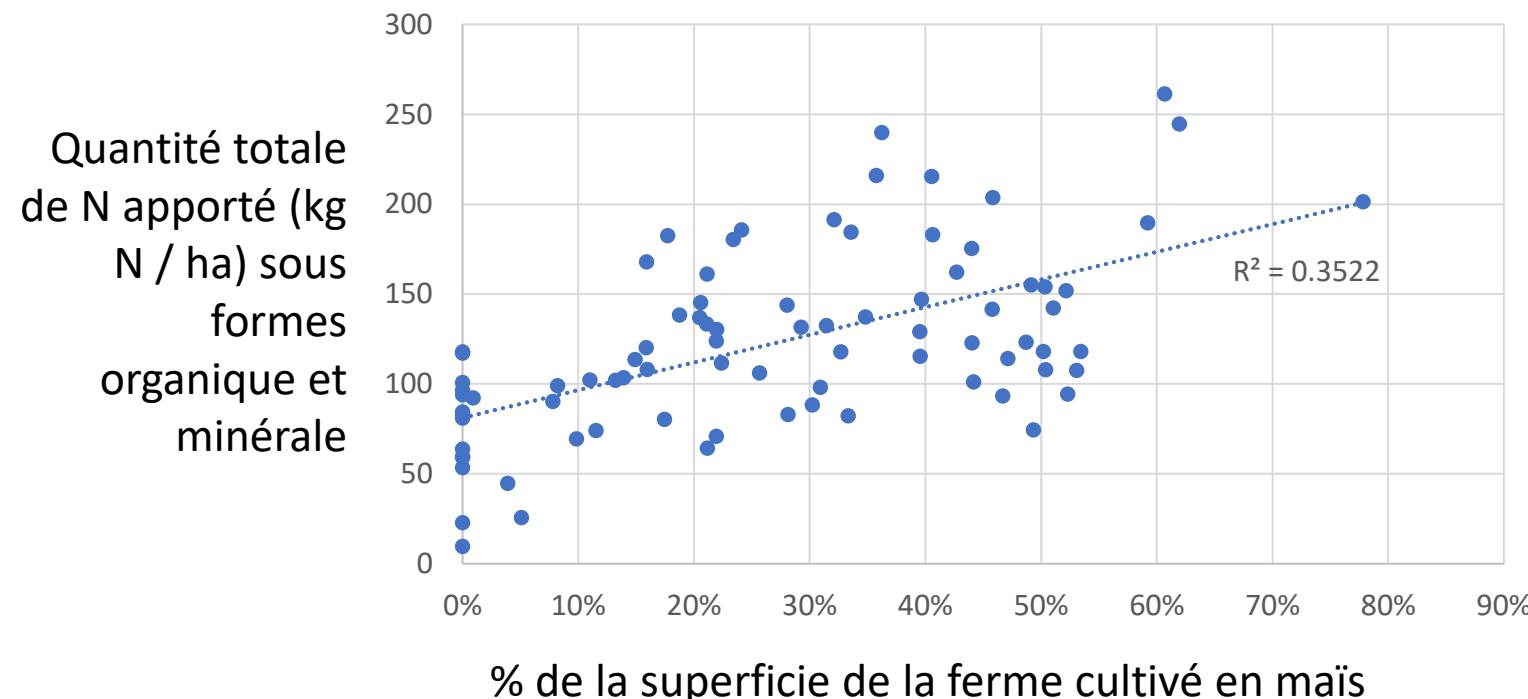
3^{ème} poste GES = productions des intrants

- 10 % des émissions d'un ha de grandes cultures
- Production et transport des engrains
 - 1 kg de N = 3,1 kg éq. CO₂¹
 - 1 kg de P = 1,8 kg éq. CO₂¹
 - 1 kg de K = 1,3 kg éq. CO₂¹
- Semences et pesticides représentent une faible part des intrants



3^{ème} poste GES = productions des intrants

- Plus la superficie cultivée en maïs grain est importante, plus les quantités d'azote apportées sont élevées



Produire avec ou sans animaux?

–51 % de l'azote provient d'engrais minéraux dans les fermes sans élevage

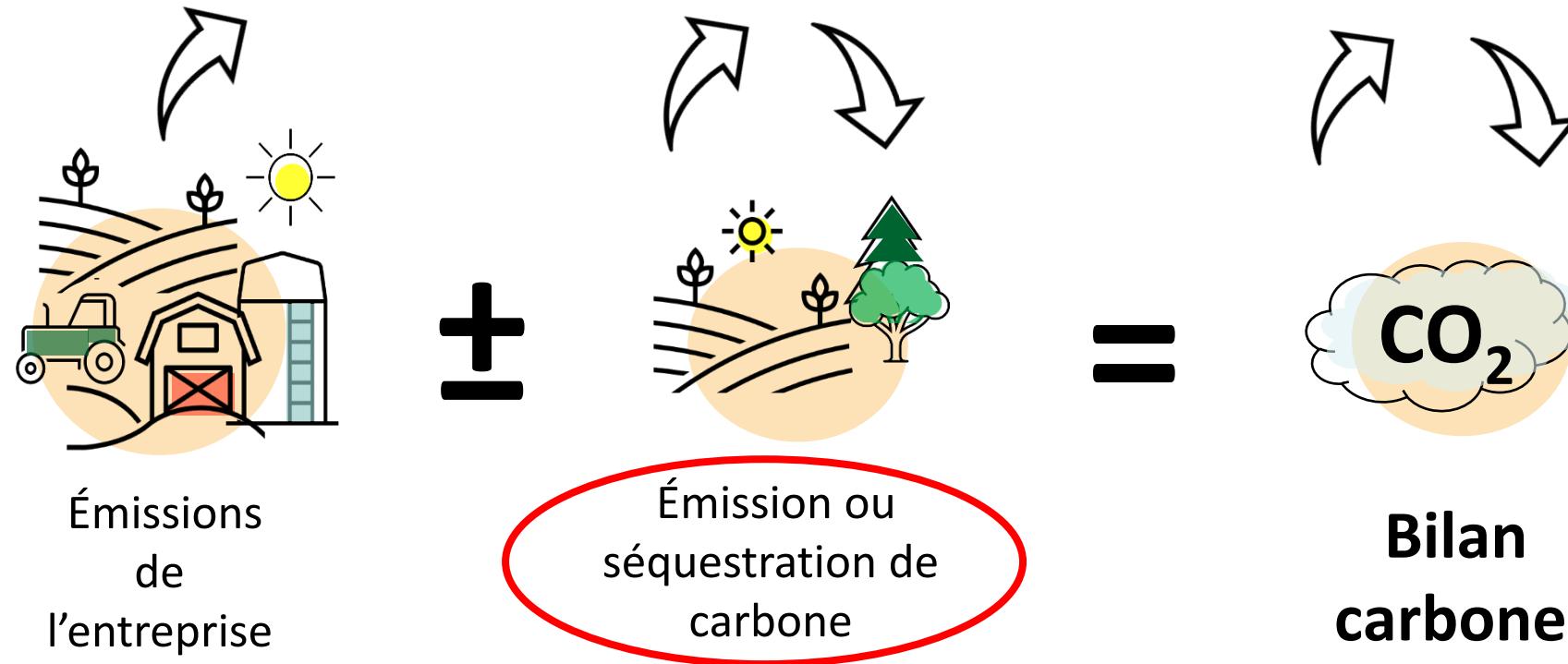
- Seules 5 fermes sur 84 n'ont pas recours au fumier!

–33 % de l'azote provient des engrains minéraux dans les fermes avec élevage



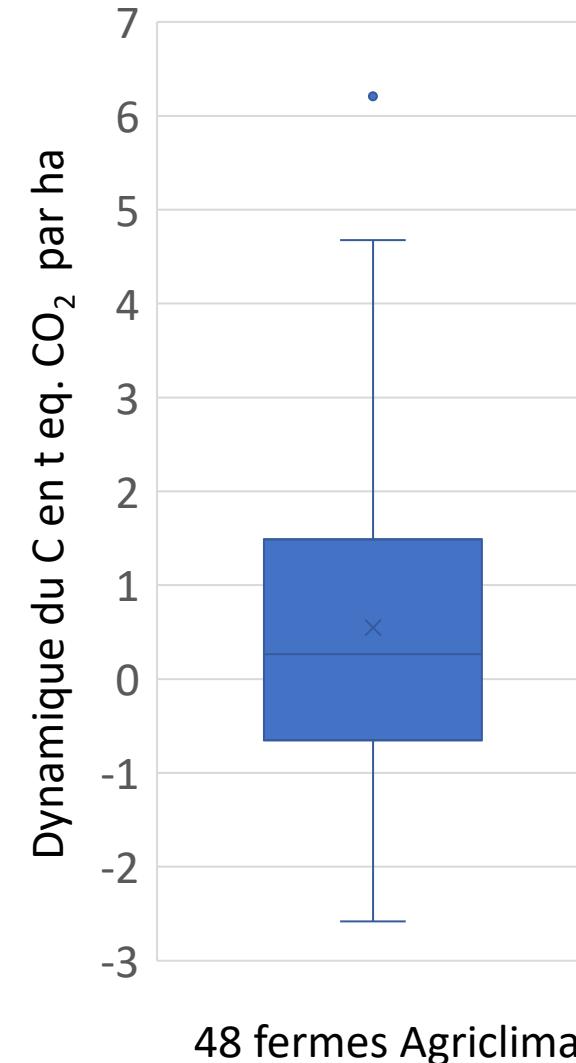
© UPA

Qu'est-ce qu'un bilan carbone ?



Dynamique du carbone des sols

- Données disponibles pour 48 des 84 fermes
 - Émission additionnelle moyenne de 0,6 t éq. CO₂ par ha
 - Très grande variabilité : de -2,5 à 6,2 t éq. CO₂ par ha
- Si on tient compte des superficies cultivées destinées à la vente de chaque ferme : 1,1 t éq. CO₂ par ha



Dynamique du carbone du sol

Évolution observée de la matière organique dans 72 fermes Agriclimat

38 fermes



Leurs sols **perdent**
du carbone

~ 450 kg de C/ha/an

21 fermes



Leurs sols
sont **stables**

~ 0 kg de C/ha/an

13 fermes



Leurs sols **séquestrent**
du carbone

~ 250 kg de C/ha/an

Tendance des fermes Agriclimat :

Perte de 200 kg de C/ha/an en moyenne = 700 kg éq. CO₂ / ha

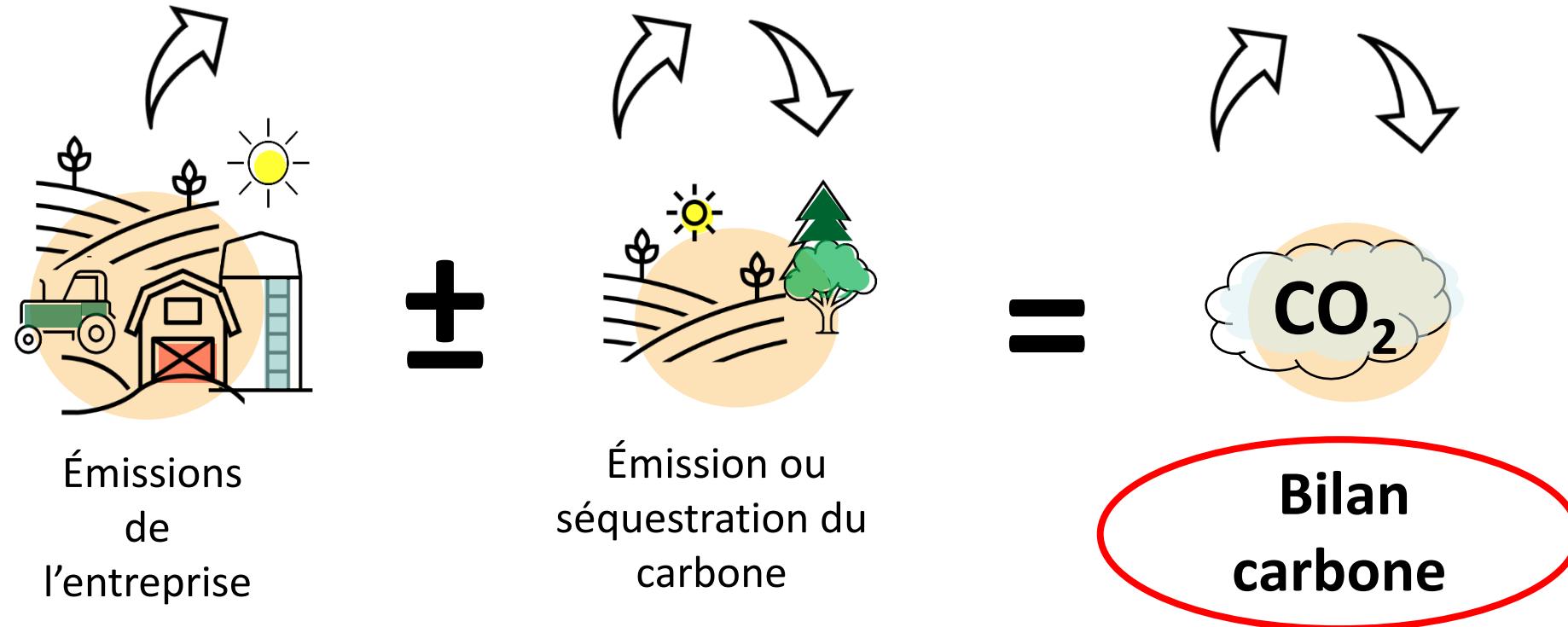
C dans les arbres et arbustes

- 44 fermes sur 84 ont réalisé des plantations
 - Séquestration moyenne : de 0,1 t éq. CO₂ par ha, variant de 0 à 1,5 t éq. CO₂ par ha
- Si on tient compte des superficies cultivées destinées à la vente de chaque ferme : 0,08 t éq. CO₂ par ha

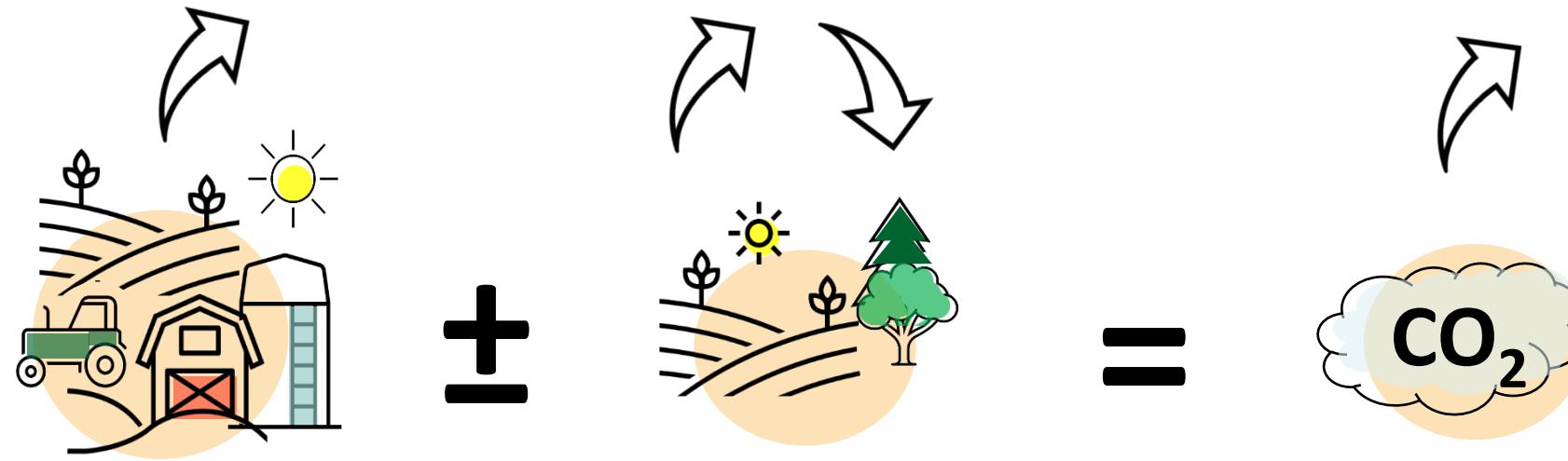


© Jonathan Robert

Qu'est-ce qu'un bilan carbone ?



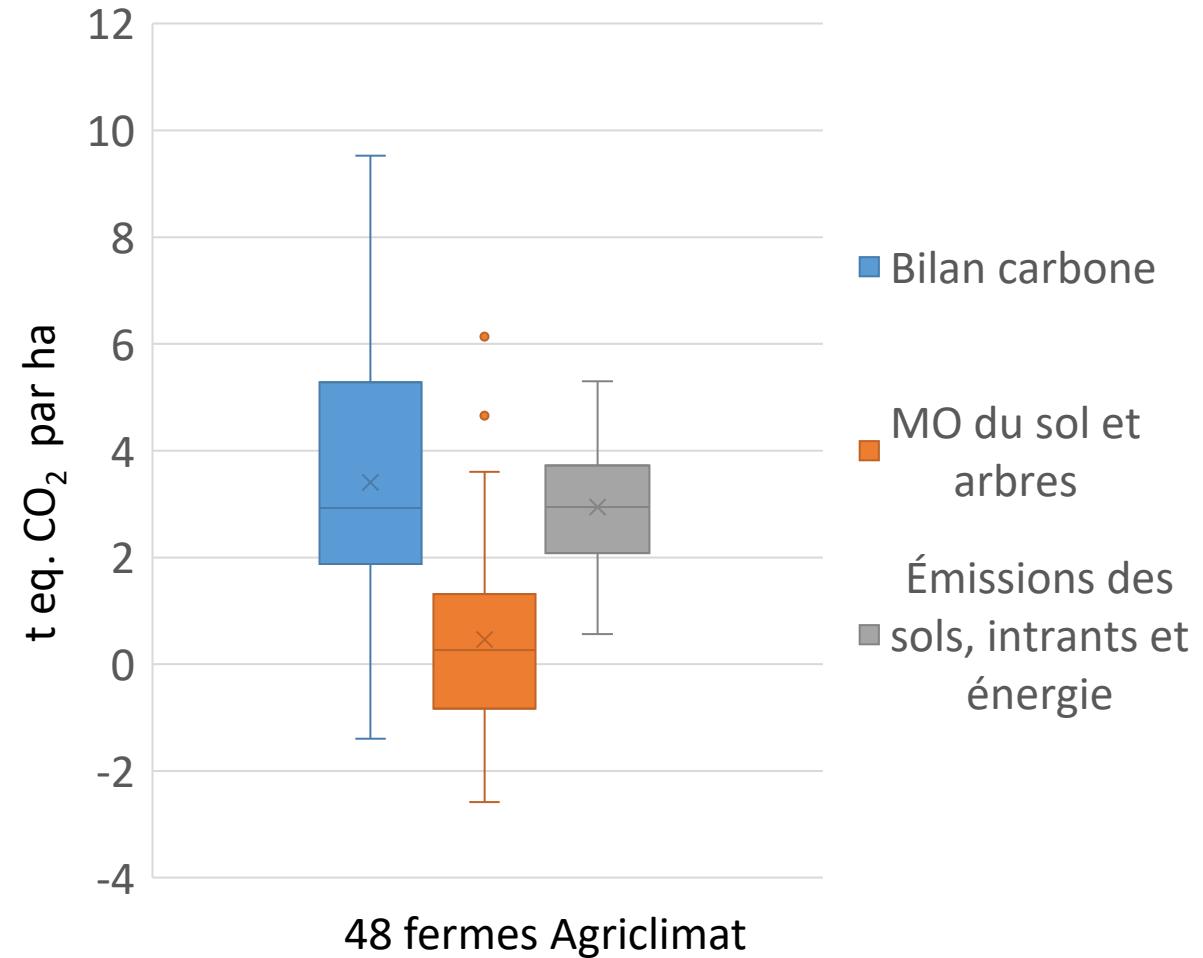
Bilan carbone moyen des 84 fermes



$$3 + 1,1 - 0,1 = 4,1 \text{ t. éq. CO}_2 / \text{ha}$$

Bilan carbone

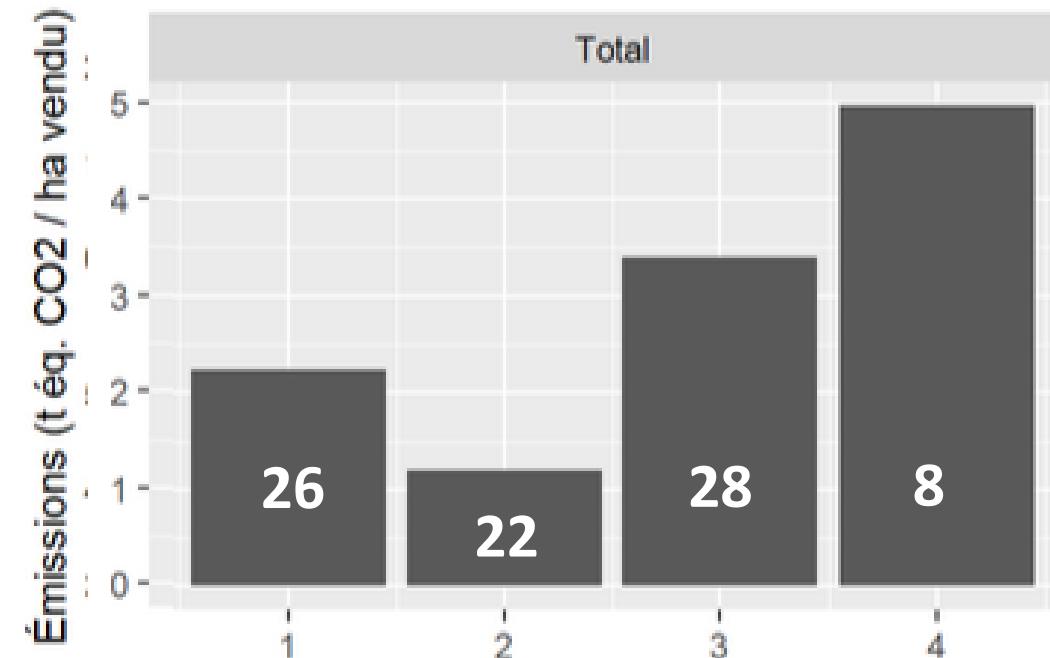
- Bilan carbone moyen du sous-échantillon : 3,4 t. éq. CO₂ /ha
 - Très variable d'une ferme à l'autre!!!
 - Quelques fermes ont un bilan négatif? Seulement pour les productions végétales... artifice lié à l'allocation des émissions?
 - Plusieurs fermes ont un bilan supérieur à 5 t éq. CO₂ par ha
- Qu'est-ce qui explique de telles disparités?



Analyses statistiques

–Classification ascendante hiérarchique

- Regrouper les entreprises qui ont un profil d'émissions similaire
- Sur les 84 entreprises, postes d'émissions seulement



4 groupes de fermes issus
des 84 fermes Agriclimat

Analyses des 84 fermes Agriclimat

Groupe	1	2	3	4
Nombre de fermes	26	22	28	8
Émissions totales (t éq. CO2 / ha)	2.2	a	1.2	b
Émissions des sols	1.7	a	0.8	b
			3.4	c
			2.6	c
			5.0	d
			4.0	d

Analyses des 84 fermes Agriclimat

Groupe	1	2	3	4
Nombre de fermes	26	22	28	8
Émissions totales (t éq. CO2 / ha)	2.2	a	1.2	b
Émissions des sols	1.7	a	0.8	b
Coefficient d'émissions de N ₂ O-N (%)	2.4	a,b	2.1	a
Proportion de sols fins	32%	a	36%	a
			48%	a
			82%	b



Analyses des 84 fermes Agriclimat

Groupe	1	2	3	4
Nombre de fermes	26	22	28	8
Émissions totales (t éq. CO2 / ha)	2.2	a	1.2	b
Émissions des sols	1.7	a	0.8	b
Coefficient d'émissions de N ₂ O-N (%)	2.4	a,b	2.1	a
Proportion de sols fins	32%	a	36%	a
			48%	a
			82%	b



Régions plus sèches en été : Bas-Saint-Laurent, Saguenay-Lac-Saint-Jean, Outaouais, Abitibi-Temiscamingue?

Analyses des 84 fermes Agriclimat

Groupe	1	2	3	4
Nombre de fermes	26	22	28	8
Émissions totales (t éq. CO2 / ha)	2.2	a	1.2	b
Émissions des sols	1.7	a	0.8	b
Coefficient d'émissions de N ₂ O-N (%)	2.4	a,b	2.1	a
Proportion de sols fins	32%	a	36%	a
kg N total (kg/ha)	118	a	85	b
kg N minéral (kg /ha)	47	a	15	b



Analyses des 84 fermes Agriclimat

Groupe	1	2	3	4
Nombre de fermes	26	22	28	8
Émissions totales (t éq. CO2 / ha)	2.2	a	1.2	b
Émissions des sols	1.7	a	0.8	b
Coefficient d'émissions de N ₂ O-N (%)	2.4	a,b	2.1	a
Proportion de sols fins	32%	a	36%	a
kg N total (kg/ha)	118	a	85	b
kg N minéral (kg /ha)	47	a	15	b
Proportion de maïs	24%	a	8%	b
Proportion de plantes fourragères	15%	a	39%	b

Analyses des 84 fermes Agriclimat

–Peut-on analyser les émissions des sols, énergies et intrants uniquement pour avoir un bon portrait de l'entreprise?

- Comparaison des groupes selon si on analyse les émissions uniquement ou le bilan carbone complet

- 35 % des fermes se retrouve dans le même groupe (1 à 4)
- 50 % des fermes sont dans un groupe supérieur ou inférieur
- 15 % des fermes sont dans un groupe vraiment différent!

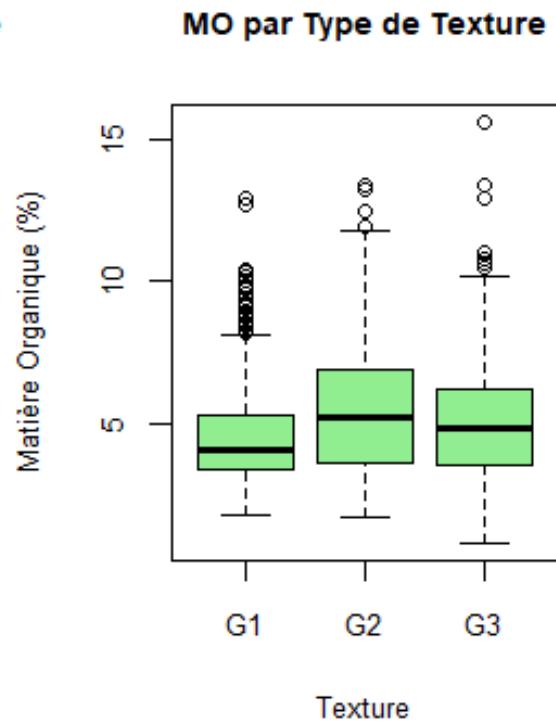
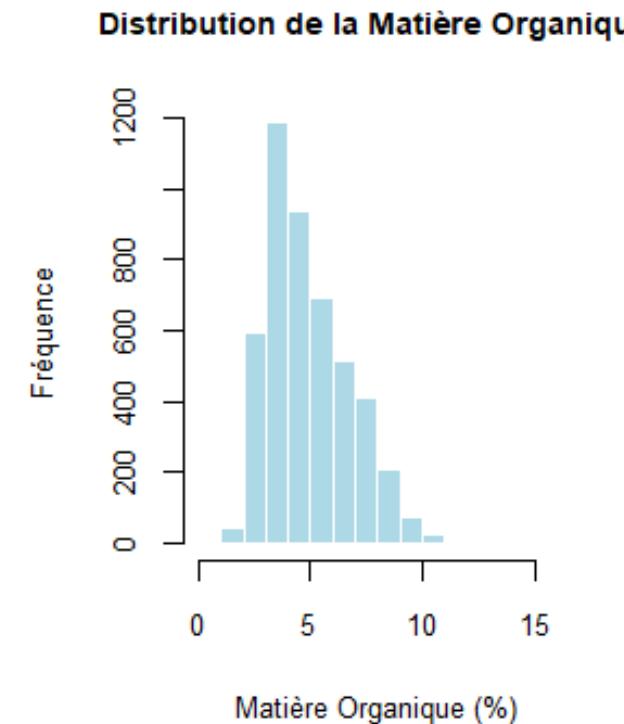
→ Dès lors que les données de matière organique des sols sont disponibles, il est pertinent de les utiliser!!



Analyses des fermes Agriclimat

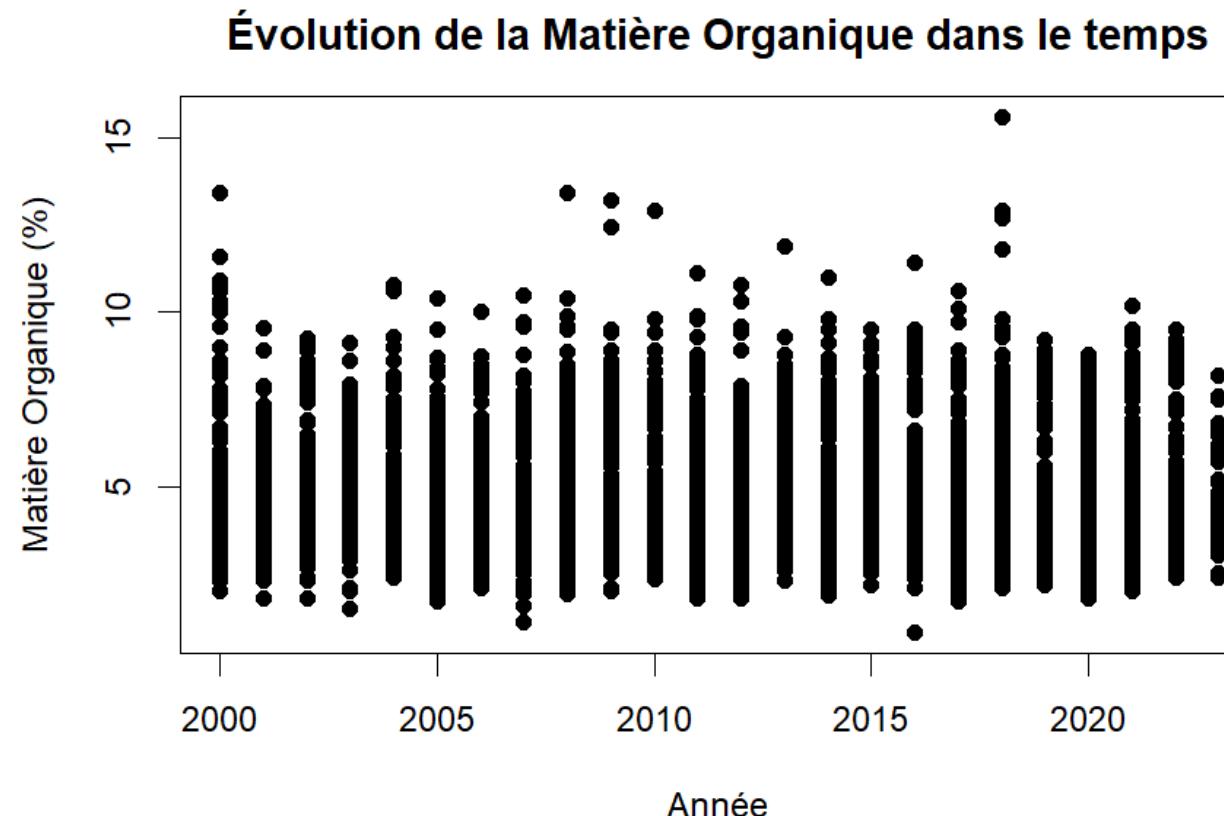
–Peut-on expliquer les différentes dynamiques de matières organiques observées?

- Thèse de Maëlle Derrien
- Plus de 4 500 analyses de sols rassemblées pour 50 fermes Agriclimat



Analyses des fermes Agriclimat

- Construction d'un modèle prédictif de la dynamique en cours
 - Résultats préliminaires
 - Tendance générale à la baisse
 - Baisse plus faible chez les producteurs qui ont plus de plantes fourragères dans les rotations



(Derrien et al., en prép)



03

Conclusions

Pistes d'amélioration possibles

Régie des cultures :

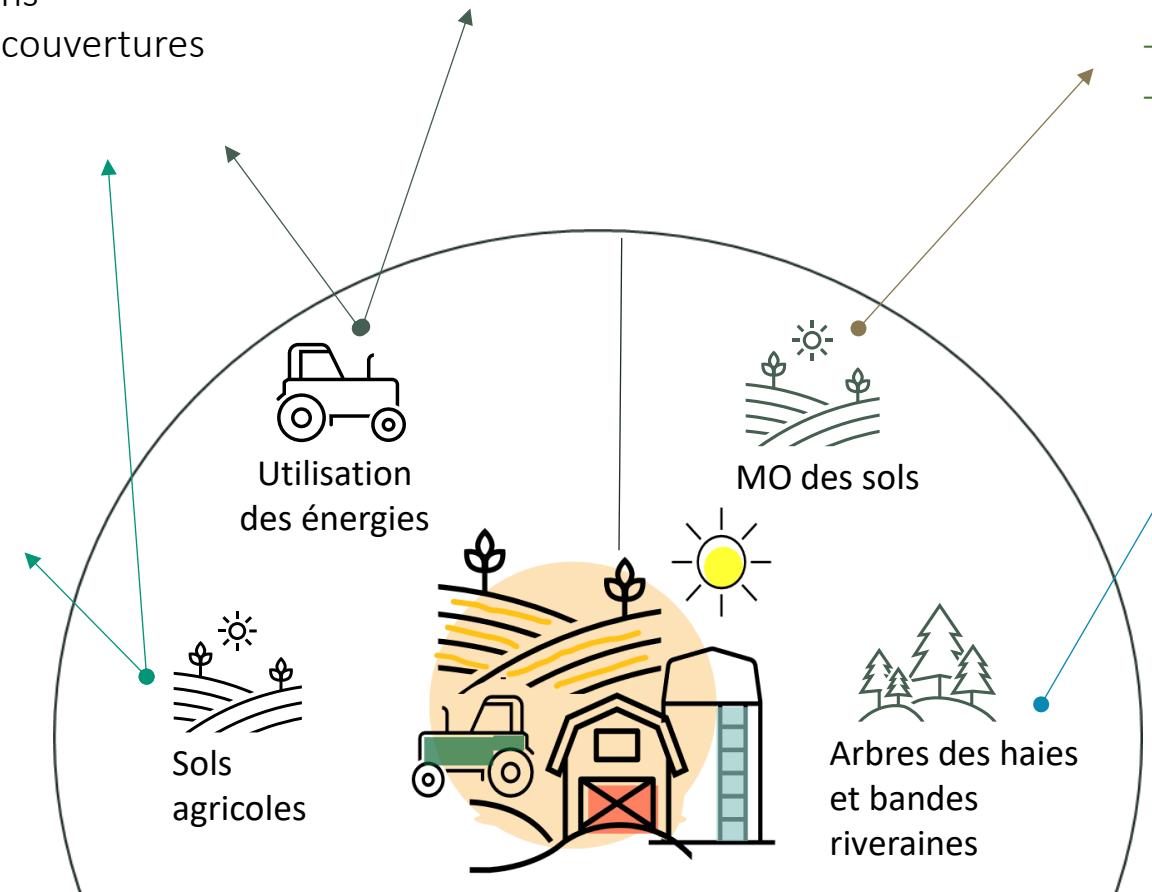
- Réduction du travail du sol
- Diversification des rotations
- Utilisation de cultures de couvertures

Gestion de la fertilisation (4B)

- Application de l'azote en bande
- Injection et incorporation du fumier
- Utilisation d'inhibiteurs d'uréase et de nitrification
- Utilisation d'engrais à libération contrôlée

Gestion de l'énergie :

- Électrification des opérations
- Réduction du travail du sol



Carbone des sols :

- Gestion des sols et des résidus
- Apports de matière organique
- Cultures de couvertures
- Cultures pérennes
- Systèmes agroforestiers

Carbone des arbres :

- Plantation d'arbres dans des zones inutilisées
- Plantation de haies brise-vent
- Aménagement de bandes riveraines arborées

Conclusions

- À chaque bilan son plan d'actions!
- De nombreuses connaissances disponibles pour réduire les GES
- Le climat change... réduire les GES est une nécessité, s'adapter une obligation!
 - Avez-vous votre plan de lutte contre les changements climatiques?



© Jonathan Robert

Merci!

Pour en savoir plus...

YouTube Agriclimat et Facebook

- Café carbone
- L'évolution du climat de votre région
- Capsule grandes cultures à venir sous peu!...

Agriclimat bénéficie d'une aide financière du gouvernement du Québec provenant du programme Action-Climat Québec et rejoint les objectifs du Plan pour une économie verte 2030



© CDAQ 2025

La reproduction d'extraits est autorisée à des fins non commerciales avec la mention de la source.
Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé.