

Gestion de l'eau et conservation des sols organiques: passé, présent et futur

Jean Caron¹, Ph.D. agr., A. Rousseau, Silvio J. Gumiere, Ph.D., ing., J. Dessureault-Rompré, agr.

¹Professeur en physique des sols, titulaire de la chaire CRSNG en conservation des sols organiques et directeur scientifique du réseau québécois de recherche en agriculture durable, co-fondateur et actionnaire minoritaire de Hortau Inc. (2002) et fondateur de Édaphis inc. (2012).

Colloque sur la gestion de l'eau à la ferme 31 mars 2022, Québec



Objectifs

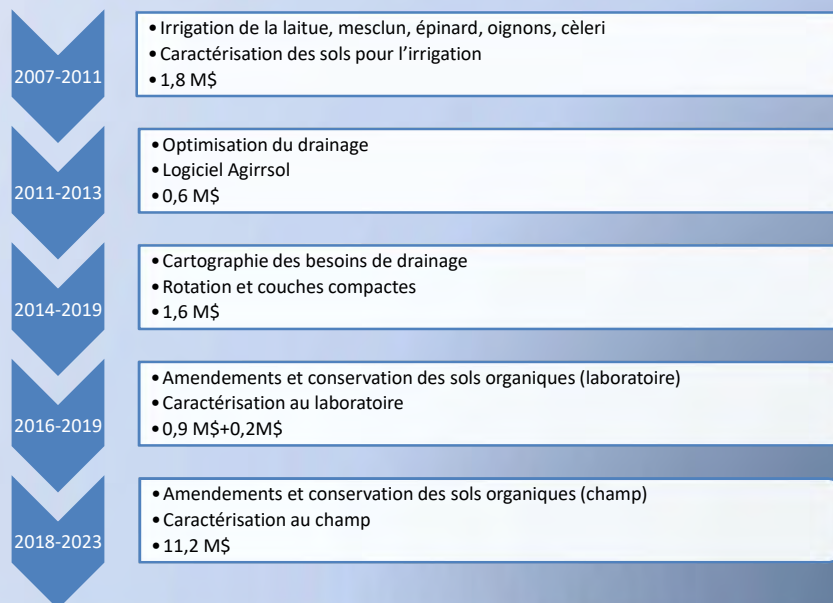
Cette conférence fera une synthèse des travaux passés et futurs sur la gestion de l'irrigation et insistera sur l'importance des conditions de sols pour répondre aux grandes questions : où mettre de l'eau, quand mettre de l'eau et quelle quantité mettre.

Les concepts seront illustrés dans le contexte de la conservation et de la restauration des sols organiques.

Points importants

- Gestion de l'eau en tenant compte des flux d'eau du sol vers la plante avec la laitue romaine en sol organique comme plante modèle
- Gestion de l'eau et santé physique des sols:
 - Structure du sol, besoins en eau, capacité de drainage, compactage et érosion hydrique et éolienne
 - Caractérisation de la santé physique des sols
- Réseau québécois de recherche en agriculture durable

Recherche passée, présente et future

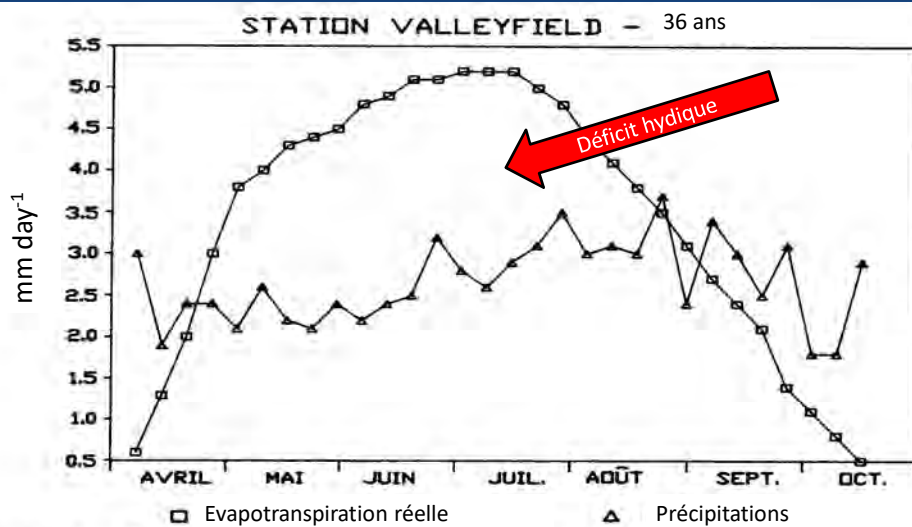


Gestion dynamique de l'irrigation: la laitue romaine en sols organiques

- Établir une séquence de priorités d'irrigation (quand, où, combien)
 - Données météorologiques et stades de croissance (combien)
 - Tensiomètres (potentiel matriciel de l'eau du sol) (quand): le sol ne fournit pas assez vite à la plante (flux limite)
 - Différents endroits au champ (où)
 - Information en temps réel sur le climat et l'humidité du sol à différents endroits (où, quand et combien)



La laitue subit un stress selon les probabilités (combien et quand)



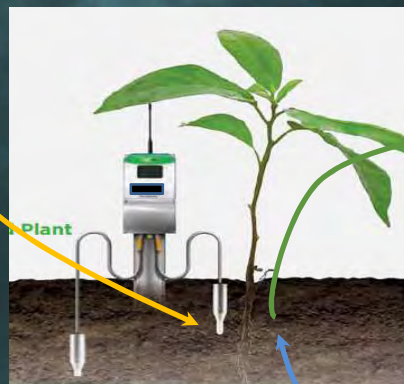
Gallichand & Broughton, 1993

Théorie: quand?

- Irrigation peut être basée sur:
 - Évapotranspiration: station météo, simple
 - Température de la plante: capteur infrarouge, satellite
 - Teneur en eau : quantité d'eau dans le sol
 - Tension : force nécessaire pour extraire l'eau à partir du sol (par la plante), reliée aux flux d'eau dans le sol, précise entre -10 et -50 kPa)

La tension de rupture lorsque le flux d'eau devient limitant

Départ de l'irrigation (h_c): tension d'équilibre



Évapotranspiration (ETP)

Caractéristiques du sol
(K_{sat} , α et profondeur
d'enracinement L) à
fournir l'eau en tout
temps à un rythme
suffisant à la plante

Deux approches répandues du quand?

- **ETP** : On se base sur les besoins en eau et on comble (pas de temps quotidien, hebdomadaire, mensuel). Cette approche ne tient pas compte de la capacité du sol à fournir de l'eau à un rythme suffisant.
- **Tension-flux en temps réel**: on s'assure que le rythme d'apport en eau actuel et à venir rencontre la demande d'évapotranspiration. L'irrigation est initiée avant qu'un seuil critique de tension ($h_{l, asymptotic}$) qui garantit l'apport adéquat d'eau du sol vers la plante ne soit atteint. L'approche d'estimation de ce seuil considère la demande actuelle ou prévisionnelle d'évapotranspiration (S_o et q_o) pour commander l'apport d'eau ainsi que les propriétés hydrauliques du sol. (Rekikka et coll, 2014)

$$h_{l, asymptotic} = \frac{1}{\alpha^*} \ln \left(-\frac{1}{\alpha^* K_{sG}} \left(\begin{array}{l} q_o \alpha^* e^{-\alpha^* L} - q_o \alpha^* \\ + S_o e^{-\alpha^* L} \alpha^* L \\ + S_o e^{-\alpha^* L} - S_o \end{array} \right) \right) + L$$

L= profondeur racinaire
 K_s et a = hydraulique du sol
 S_o : transpiration et q_o : évaporation
 h_l = tension seuil d'irrigation

La théorie des flux limitants: testée sur plusieurs types de sol, culture et territoires

Année	Sol	Culture	Territoire	Auteur, titre et journal
1998	artificiel	Prunus	Québec	Caron, Bernier, Duchesne et coll. 1998. Water availability in three artificial substrates during Prunus× cistena growth: variable threshold values, Journal of the American Society for Horticultural Science, 123, 5, 931-936
2005	artificiel	Viburnum et ligustrum	Floride	Caron, Elrick, Beeson et coll. 2005. Defining critical capillary rise properties for growing media in nurseries, Soil science society of America journal, 69, 3, 794-806.
2012	artificiel	Tomate	Québec	Lemay, Caron, Dorais, et coll. 2012. Defining irrigation set points based on substrate properties for variable irrigation and constant matric potential devices in greenhouse tomato, HortScience, 47, 8, 1141-1152
2014	organique	Céleri, oignon, épinard	Montréal	Rekikka, Caron, J, Rancourt et coll. 2014. Optimal irrigation for onion and celery production and spinach seed germination in Histosols, Agronomy Journal, 106, 3, 981-994
2015	minéral	Fraise	Québec et Californie	Létourneau, Caron, Anderson et coll. 2015. Matric potential-based irrigation management of field-grown strawberry: Effects on yield and water use efficiency, Agricultural Water Management, 161, 102-113
2015	organique	Laitue	Montréal	Périard, Caron, Lafond et coll. 2015. Root water uptake by romaine lettuce in a muck soil: Linking tip burn to hydric deficit, Vadose Zone Journal, 14, 6, 2015,
2016	minéral	Canneberge	Québec et Wisconsin	Caron, Bonin, Pépin et coll., 2016. Determination of irrigation set points for cranberries from soil- and plant-based measurements, Canadian Journal of Soil Science, 96, 1, 37-50, 2016
2019	minéral	Amande	Californie	Collin, Caron, Létourneau 2019. Yield and water use in almond under deficit irrigation." Agronomy Journal 111.3 (2019): 1381-1391.

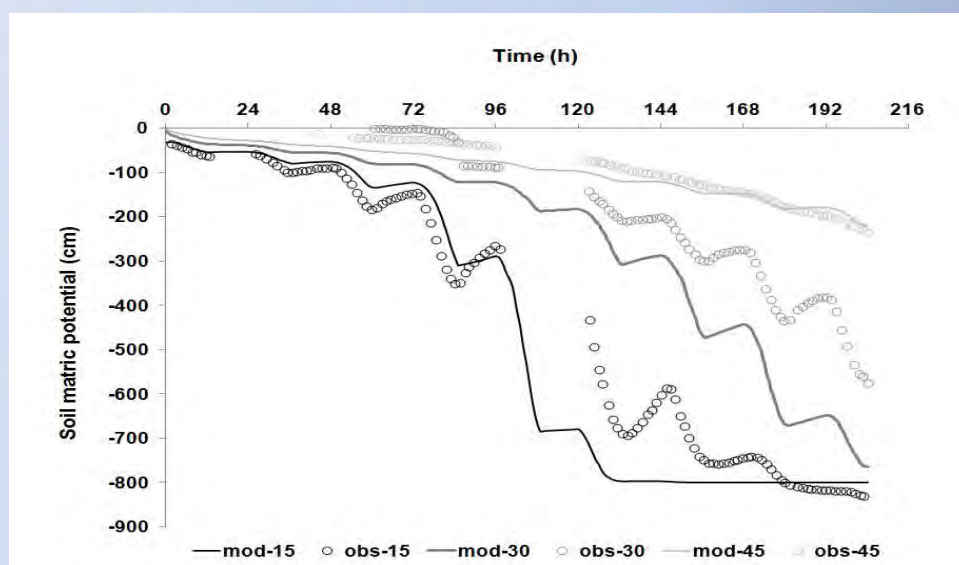
Approche des flux a donné de 10 à 50% de gain de productivité par rapport à une approche Etp



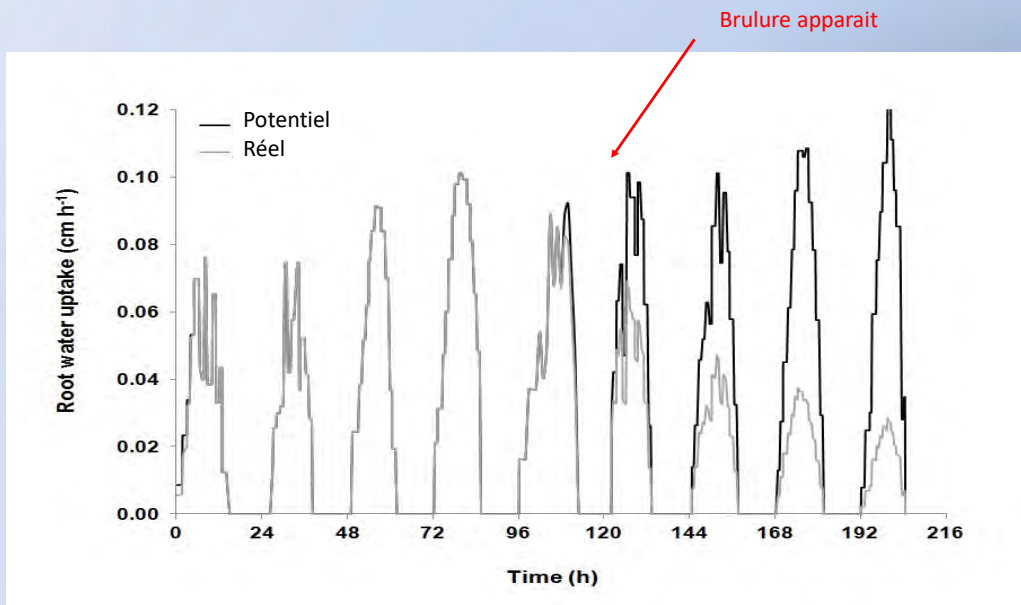
- ❖ Réduction de 37% à 10% de brûlure de pointe
- ❖ Augmentation du rendement vendable à plus de 40 % en canicule
- ❖ Confirmé pour un grand nombre de culture au Québec et en Californie (Jabet et coll, 2016, Gendron et coll, 2018)



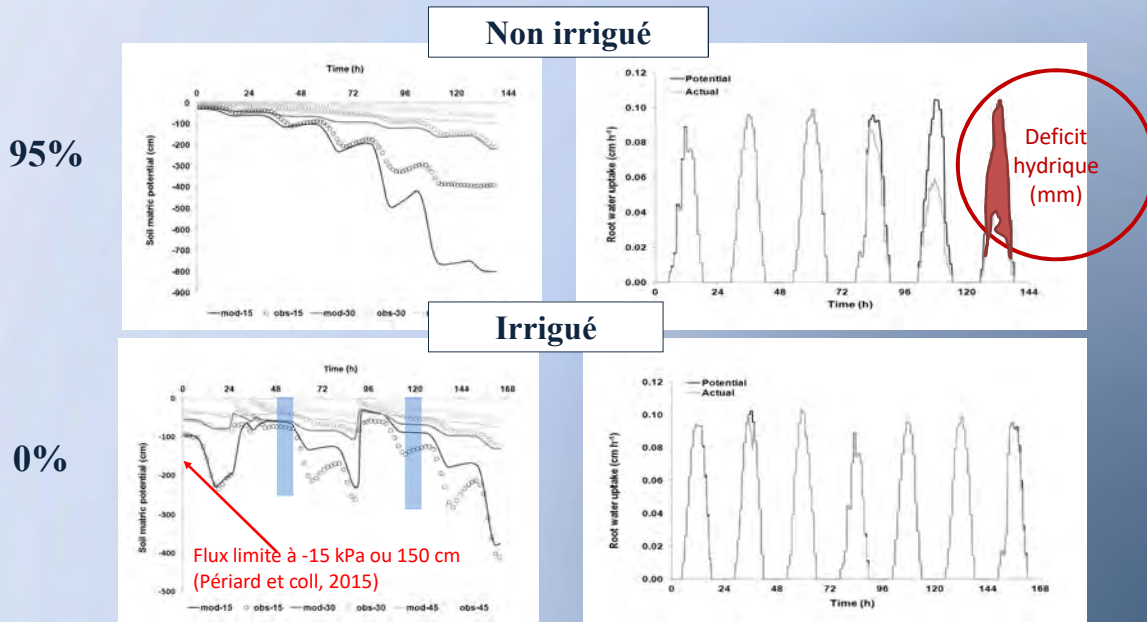
Potentiel matriciel (tension) observée et modélisée en champ non irrigué (85 % de brûlure)



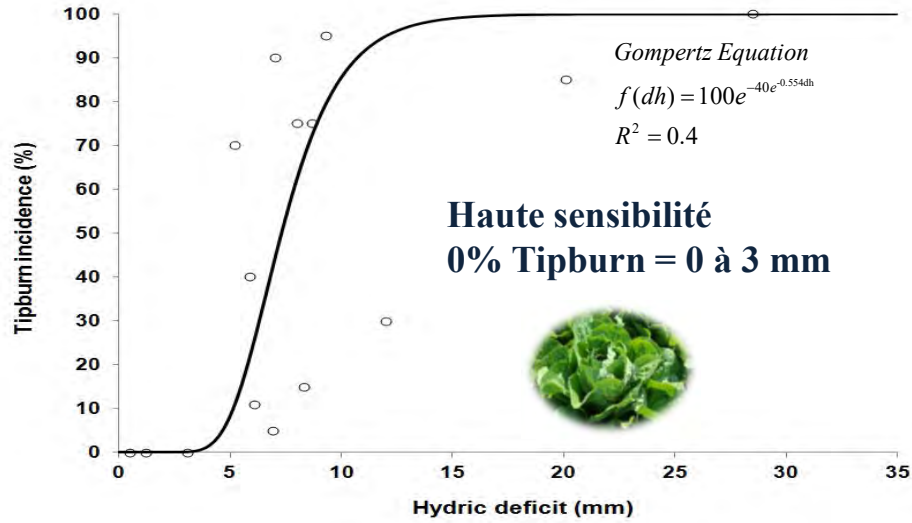
Prélèvement potentiel et réel en sol non irrigué (85 % de brûlure)



Incidence de la brûlure augmente avec le stress

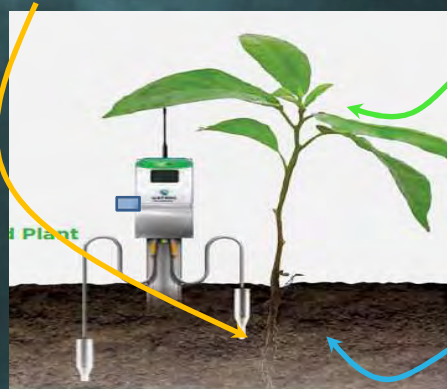


Incidence de la brûlure augmente avec le stress (Périard et al., 2015)



Mesurer la tension pour anticiper la décision d'irriguer: le 'où' est-il constant (Ksat, L, alpha, eau disponible?)

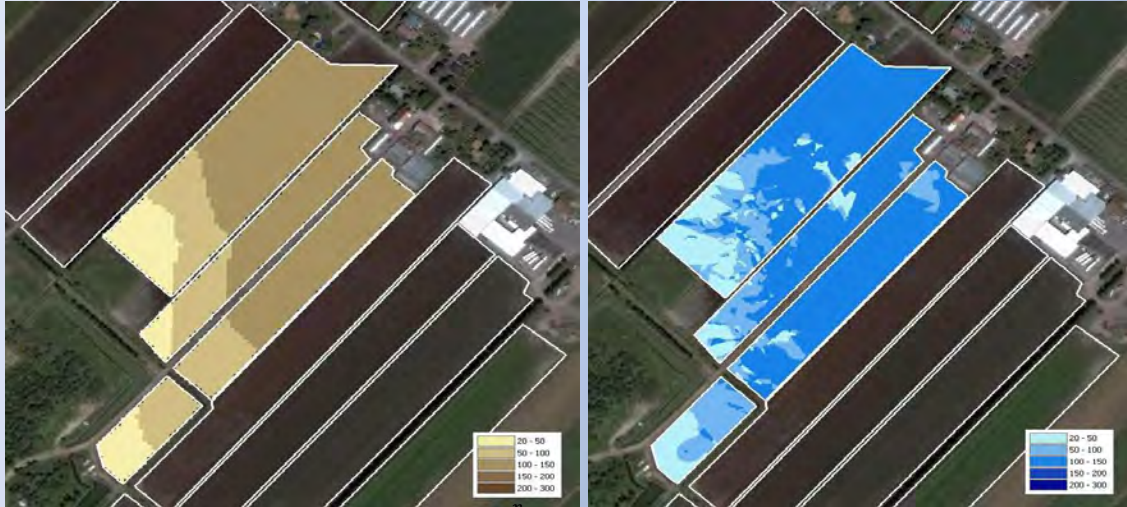
Départ de l'irrigation (h_c): quand



Évapotranspiration
(combien à long terme?)

Caractéristiques du sol
(Ksat, alpha et profondeur
d'enracinement): où

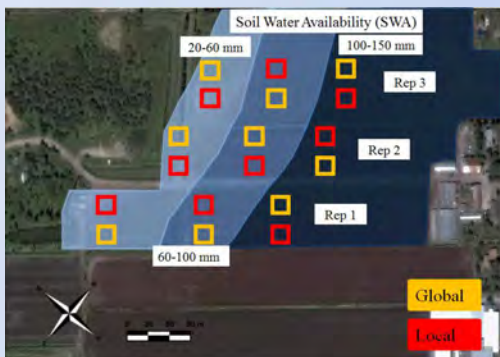
Où et combien: Variabilité spatiale de la profondeur de sol organique (cm) et de l'eau disponible (AW) en (mm)



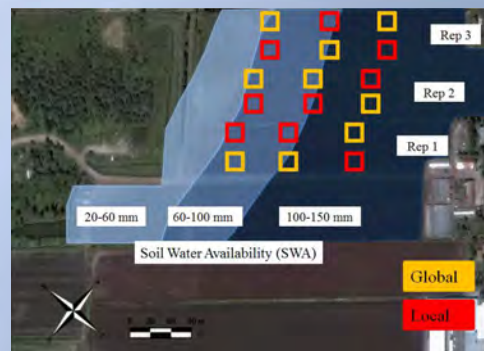
$$AW_{(x,y)} = \sum_{i=1}^n (\theta_c(z_i) - \theta_w(z_i)) \Delta z_i$$

Site expérimental, et distribution spatiale de l'eau disponible

2010

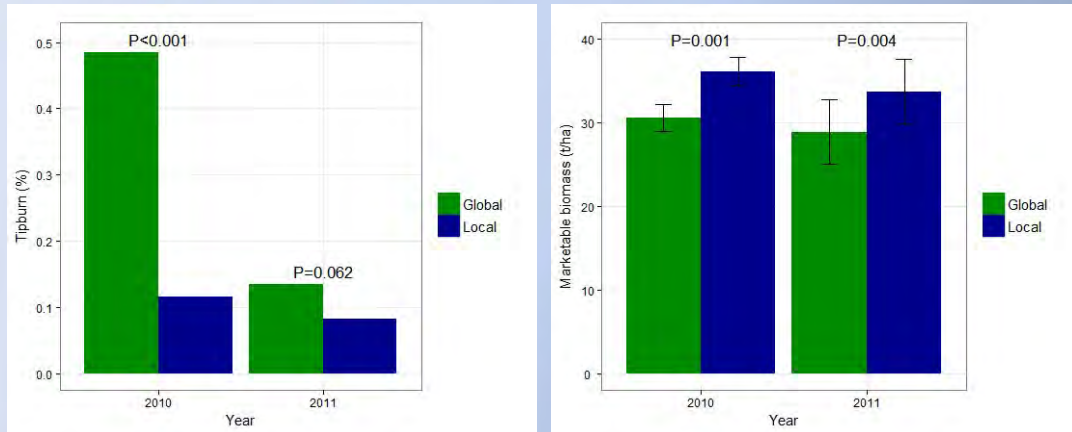


2011

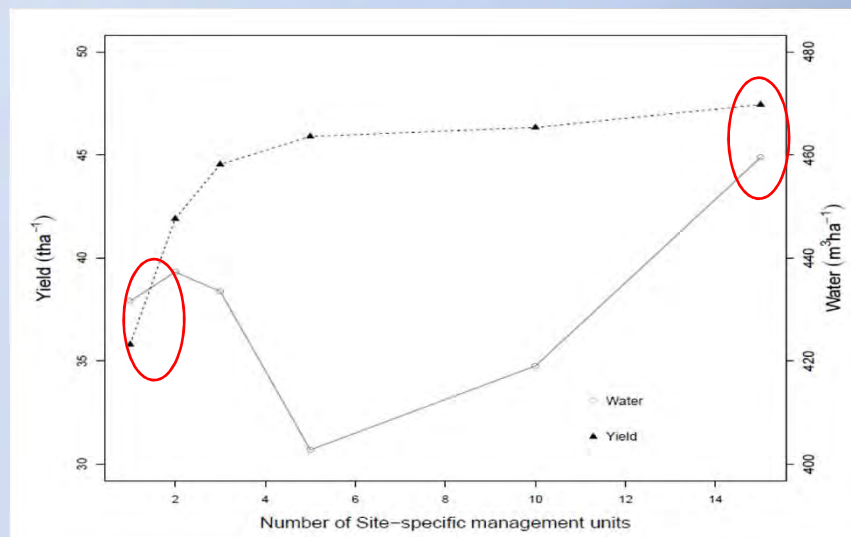


—Geston par unités de 27 m par 27 m (local) ou ensemble (global)

Effet de la gestion spatiale sur la brûlure et la biomasse vendable (Périard et coll, 2012)



Eau utilisée et rendement total en fonction de la subdivision d'un champ de 16 ha



Approche des flux a donné de 10 à 50% de gain de productivité par rapport à une approche Etp



- ❖ Réduction de 37% à 10% de brûlure de pointe
- ❖ Augmentation du rendement vendable à plus de 40 % en canicule
- ❖ Efficacité d'utilisation de l'eau jusqu'à 10 fois plus élevée selon la variabilité du sol
- ❖ Impact des limites des sols dominant dans la réponse à l'irrigation (drainage, compaction, aération) en sols organiques et minéraux (2/3 des gains de productivité) (Jabet et coll. 2016)

Pour diagnostiquer, il faut mesurer la santé du sol!!



Combien êtes-vous prêts à payer pour un service-conseil sur la qualité physique du sol (visuelle, compaction, drainage, aération et rétention d'eau) ?

Choix de réponses:

- 0 \$, je le fais moi-même
- 10-15 \$/acre (25-38 \$/ha), une fois aux trois ans
- 40-60 \$/acre (100-150 \$/ha), une fois aux 10 ans
- 100-150 \$/acre (250-370 \$/ha) lors du drainage donc pour 20 ans
- 100-150 \$/acre (250-370 \$/ha), une fois au 5 ans

Pour gérer, il faut mesurer !

Combien pensez-vous que rapporte par an en culture de maïs-grain une caractérisation physique du sol et l'application de correctifs?

Choix de réponses:

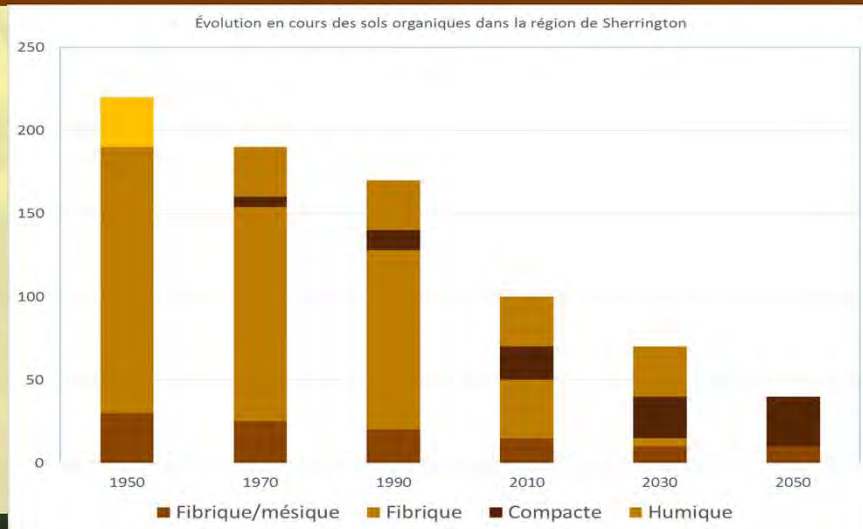
- a) 0 \$
- b) 30\$ par ha par an
- c) 60 \$ par ha par an
- d) 90\$ par ha par an
- e) 150\$ par ha par an



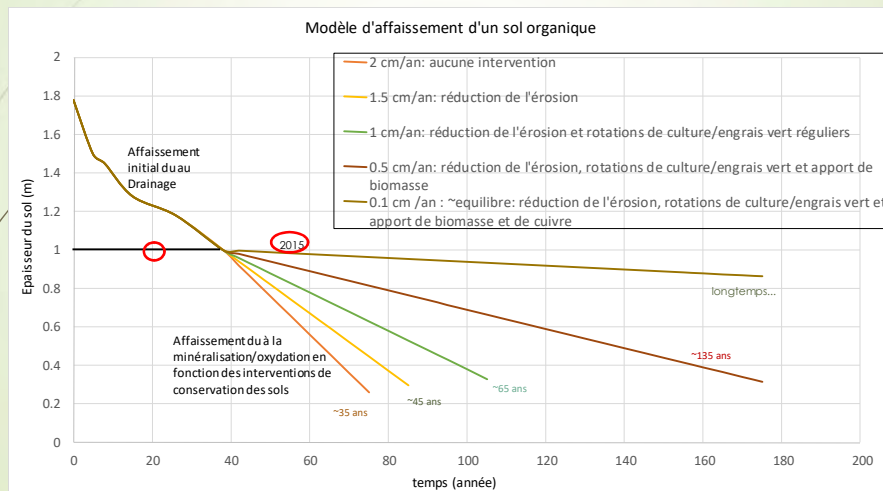
Futur:
Suivre la santé
du sol

Comment se forme et évolue le sol ?

Évolution des sols organiques : la couche compacte apparaît («moorsh»)



Perte de hauteur des sols organiques de Montérégie

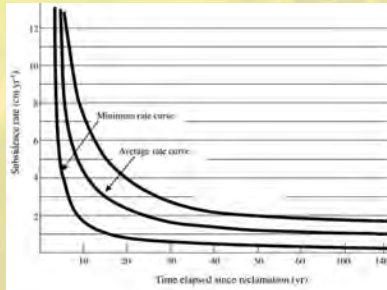


Comment ? Mécanismes de dégradation

Deux facteurs majeurs de dégradation (pas de génèse)

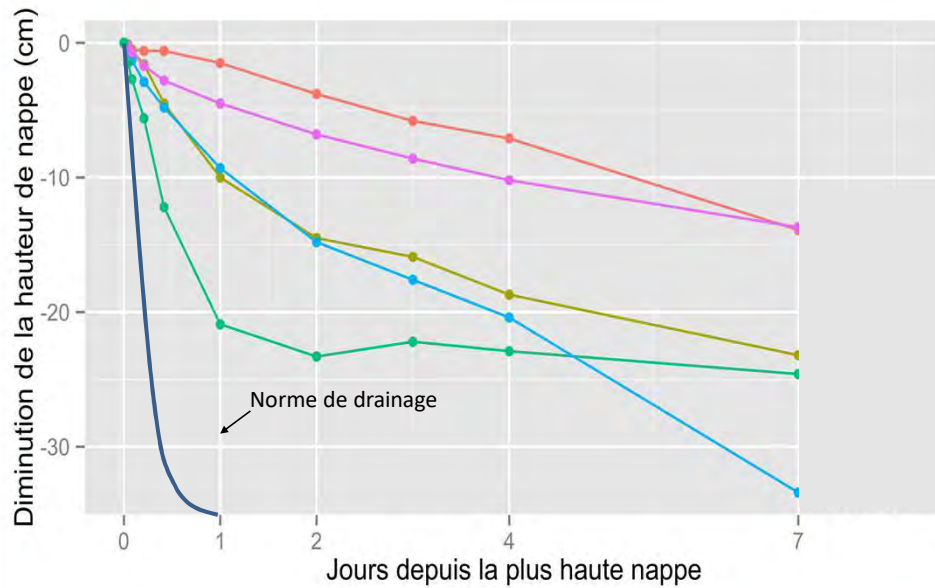
Affaissement lié à la dégradation microbienne et au rabattement: 1 cm/an

Érosion éolienne : 1 cm/an



2,7 x plus érodable qu'un loam sableux
Jusqu'à 2,5 cm par tempête (Zobeck et coll, 2013)

Information confidentielle - Propriété de l'Université Laval





Partenaires

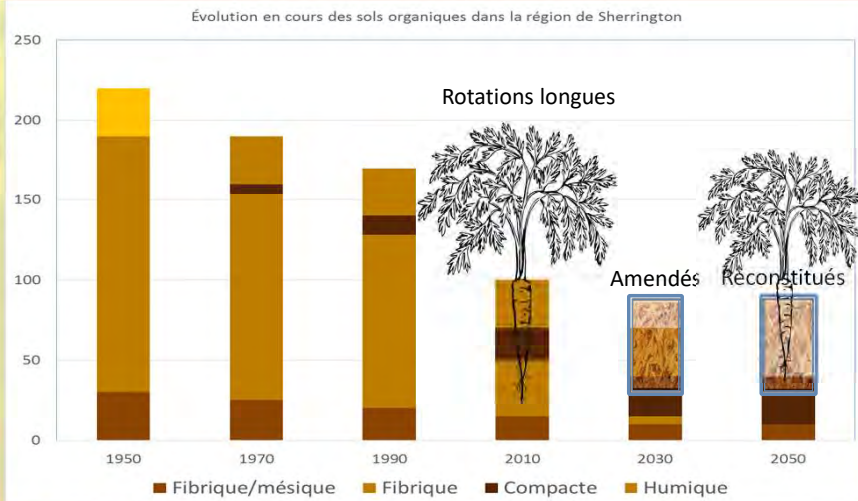
29

Anticiper demain Programme de conservation

- L'objectif de ce programme de recherche est de mettre au point des méthodes de conservation des sols organiques et de créer à l'Université une Chaire dans ce domaine spécifique pour assurer soutien et continuité
- Inclurait la production et l'utilisation (enfouissement) de biomasse pour contrecarrer les pertes par oxydation.
- Scénario est ambitieux et visionnaire, mais réaliste. En effet, selon les plus récents estimés disponibles, les pertes en matière organique sur les sols organiques s'élèveraient entre 7 t/ha/an et 20 t/ha/an.
- Pour équilibrer et conserver les sols, il faudrait ajouter aux sols une quantité équivalente en carbone.

Dans la feuille qui tombe s'annonce la promesse d'un nouveau printemps...

Des rotations longues et des amendements



Après caractérisation, utiliser des zones dégradées pour cultiver miscanthus, panic érigé ou saule

La biomasse récoltée sera enfouie dans les zones productives pour maintenir leur productivité et leur qualité

Les zones dégradées seront graduellement remises en culture après leur restructuration résultant de plusieurs années de culture en miscanthus, en panic érigé ou en saule.

Interventions localisées

- Zone en biomasse pour restructuration et amendement.
- Positionnement stratégique pour contrer l'érosion éolienne.



Information confidentielle - Propriété de l'Université Laval

Structure du projet (11,2 M\$)

Tester les solutions en serre et au laboratoire: amendements, contrôle de nappe, drainage

- Caractériser les zones d'intérêt pour cibler les interventions
- Tester et quantifier les solutions de drainage, lutte à l'érosion, restructuration
- Améliorer le plan de drainage (250-370\$ par ha)+ caractérisation: 250\$ par ha
- Dresser un budget de drainage 3500 \$ par ha
- Bonifier l'outil de planification avec des algorithmes robustes

Intégrer les connaissances dans un plan virtuel dynamique de gestion et de conservation (1.5 M\$)

D'hier à demain: l'avènement du virtuel en agronomie

- Investir dans l'interactivité des connaissances et dans un savoir spécifique à l'environnement de production pour garantir un avantage compétitif
- Les projets précédents et à venir génèrent une masse considérable d'information sur plusieurs processus isolés à mettre en interaction pour générer des recommandations d'interventions localisées



Mécanismes de dégradation: la gestion de l'eau y joue un rôle fondamental

Bilan provisoire dégradation de sols organiques sur 25 ans

Perte de hauteur totale	40	cm
Érosion éolienne	15	cm
Décomposition	15	cm
Érosion de surface	0.25	cm
Compactage et tassement	9.75	cm

Contrôle de nappe

Irrigation

Drainage

Accent mis sur la conservation des sols et la gestion de l'eau



- Diagnostic visuel et caractérisation (mesure de niveau, profondeur, profil de compaction, conductivité hydraulique saturée et non saturée, aération et diffusion des gaz, calcul d'espacement et de configuration de drainage)
- Structure logicielle de gestion
- Engrais verts (20 à 90%), brise vents
- Profil de compactions: rotation longues, sous solage, tranchées drainantes (53% des surfaces)
- Contrôle de nappe
- Amendement répétés
- Nouveau guide drainage (CRAAQ, sous presse) et guide de recommandation

Qu'en est-il dans nos sols minéraux cultivés?

On ne gère pas ce qu'on ne mesure pas!

Regardons d'abord les résultats préliminaires sur la compaction?

- 1) Les sols cultivés de Montérégie ont en moyenne des niveaux d'aération insuffisants (moins de 10% de macroporosité) suivant leur mise en culture selon l'étude sur la santé des sols et le phénomène s'est accentué (Gasser, communication personnelle, 2022)
- 2) 60 % dans nos relevés préliminaires de 2021 (conductivité hydraulique)
- 3) 91 % dans nos relevés antérieurs de 2019 (diffusion des gaz)
- 4) 60 à 90 % selon les experts consultés
- 5) 80 % selon l'indicateur de masse volumique apparente sur 30 sites (2021)

L'ensemble des indicateurs statiques et dynamiques suggère des niveaux de compaction élevée qui se sont accrues au cours des dernières années

Pour diagnostiquer, il faut mesurer la santé du sol!!



Combien êtes-vous prêts à payer pour un service-conseil sur la qualité physique du sol (visuelle, compaction, drainage, aération et rétention d'eau) ?

Choix de réponses:

Réponse à inscrire ici

- a) 0 \$, je le fais moi-même
- b) 10-15 \$/acre (25-38 \$/ha), une fois aux trois ans
- c) 40-60 \$/acre (100-150 \$/ha), une fois aux 10 ans
- d) 100-150 \$/acre (250-370 \$/ha) lors du drainage donc pour 20 ans
- e) 100-150 \$/acre (250-370 \$/ha), une fois au 5 ans

Pour diagnostiquer, il faut mesurer!



Combien pensez-vous que rapporte par an en culture de maïs grain une caractérisation et l'application de correctifs?

Choix de réponses et bonne réponse en rouge

- a) 0 \$
- b) 30\$ par ha par an
- c) 60 \$ par ha par an**
- d) 90\$ par ha par an**
- e) 150\$ par ha par an

Plan d'agriculture durable

On sous-estime la valeur du diagnostic de santé des sols

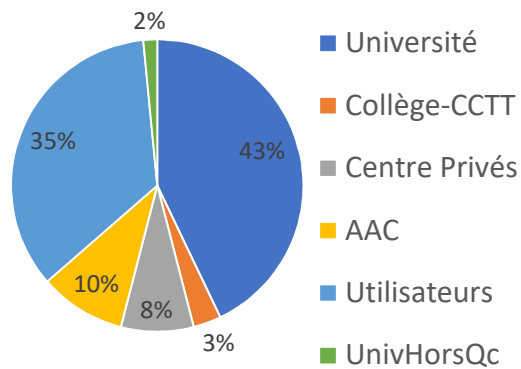
Financement à 75% aux utilisateurs pour du service conseil allant jusqu'à 2500\$ par an par client.



Réseau québécois de recherche en agriculture durable: Implication sans précédent

- 318 membres du RQRAD répartis dans 20 équipes
 - 166 co-chercheurs
 - 152 collaborateurs
- Travailleront en collaboration avec les utilisateurs de la recherche sur 4 axes dont un dédié à la santé de sols, à la conservation des sols et de l'eau
- Réseautage des utilisateurs de la recherche et de 15 institutions avec une plateforme de transfert des savoirs en élaboration

Participation par catégorie acteurs



Conclusions!

Des gains importants de productivité peuvent être obtenus à partir d'une estimation des flux limites d'eau du sol vers la plante et à l'ajustement conséquent de l'irrigation (1/3).

Des gains encore plus importants (2/3) peuvent être réalisés en intégrant les paramètres physiques en constante évolution dans les pratiques d'irrigation, de gestion des cultures et en santé physique du sol.

Merci!

À mon équipe de recherche et à ma famille !

De l'invitation et de votre participation, aux partenaires, au CRSNG et au FRQNT, aux contribuables du Québec et du Canada.

*Je vous souhaite des rêves à n'en plus finir et l'envie furieuse d'en réaliser quelques-uns!
(Jacques Brel)*