

Irrigation de la laitue et caractérisation des sols organiques: présent et futur

Jean Caron, Ph.D. agr., Jacynthe Rompré, Ph.D. et
Silvio J. Gumiere, Ph.D., ing.

7 décembre 2016, St-Rémi



Recherche passée, présente et future

2007-2011

- Irrigation de la laitue, mesclun, épinard, oignons, cèleri
- Caractérisation des sols pour l'irrigation
- 1,8 M\$



2011-2013

- Optimisation du drainage
- Logiciel Agirrsol
- 0,6 M\$



2014-2019

- Cartographie des besoins de drainage
- Rotation et couches compactes
- 1,6 M\$



2016-2019

- Amendements et conservation des sols organiques (laboratoire)
- Caractérisation au laboratoire
- 0,9 M\$+0,2M\$



2018-2023

- Amendements et conservation des sols organiques (champ)
- Caractérisation au champ
- 5,5 M\$



PROFIL DES SOLS ORGANIQUES

- Humisol – classification canadienne sols organiques stratifiés



Horizon humique travaillé (Ohp)
Prof. : 0 à 15-30 cm

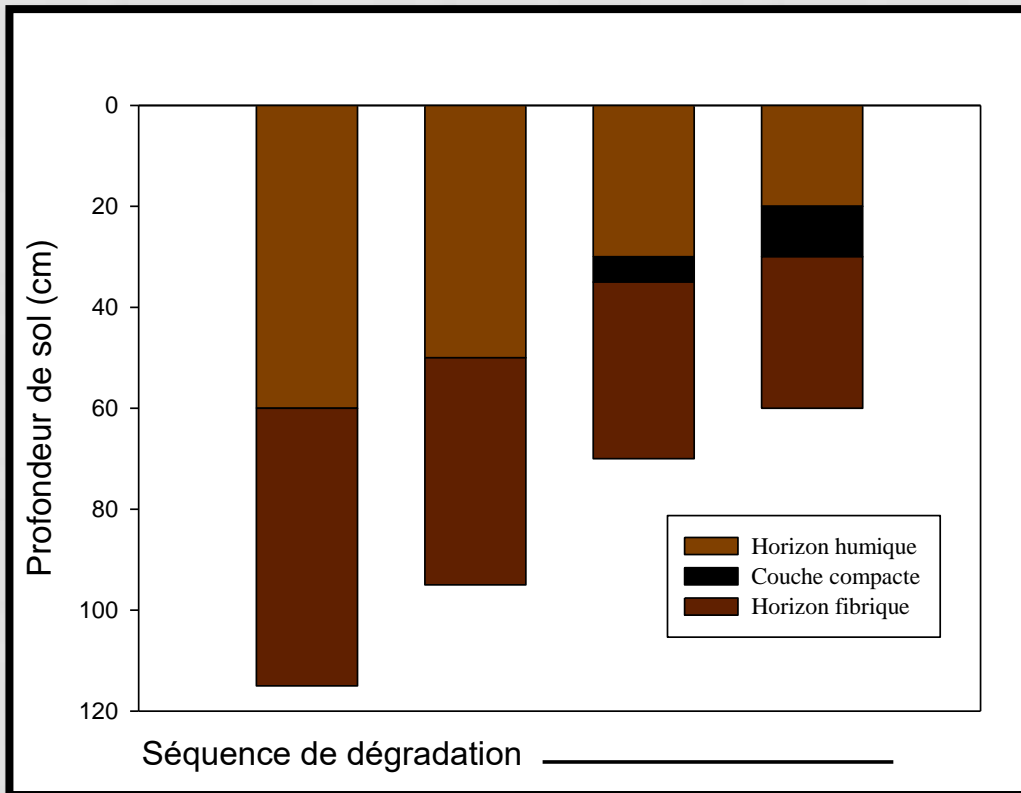
Horizon humique compacte (Oh)
Prof. : 30 à 45 cm; très compact
Souvent associé à nappe perchée

Horizon fibrique ou mésique
(Of ou Om)
Prof. : 45 à +100 cm;
peu décomposé; parfois
suivi d'un horizon coprogène
(Oco)

Sol minéral (C)
Très souvent argile lourde

ÉVOLUTION DES SOLS ORGANIQUES

➤ La couche compacte



migration de matières organiques et de particules fines (fortement hydrophobique) dans le profil de sol

Création d'une stratification verticale dans le profil de sol:
Discontinuité texturale entre l'horizon arable et l'horizon fibrique

Création d'une barrière physique:

- Réduit la pénétration racinaire
- Réduit la remontée capillaire
- Modifie la conductivité hydraulique verticale
- Favorise l'apparition de nappe perchée

Recherche passée, présente et future

2007-2011

- Irrigation de la laitue, mesclun, épinard, oignons, cèleri
- Caractérisation des sols pour l'irrigation
- 1,8 M\$

2011-2013

- Optimisation du drainage
- Logiciel Agirrsol
- 0,6 M\$

2014-2019

- Cartographie des besoins de drainage
- Rotation et couches compactes
- 1,6 M\$

2016-2019

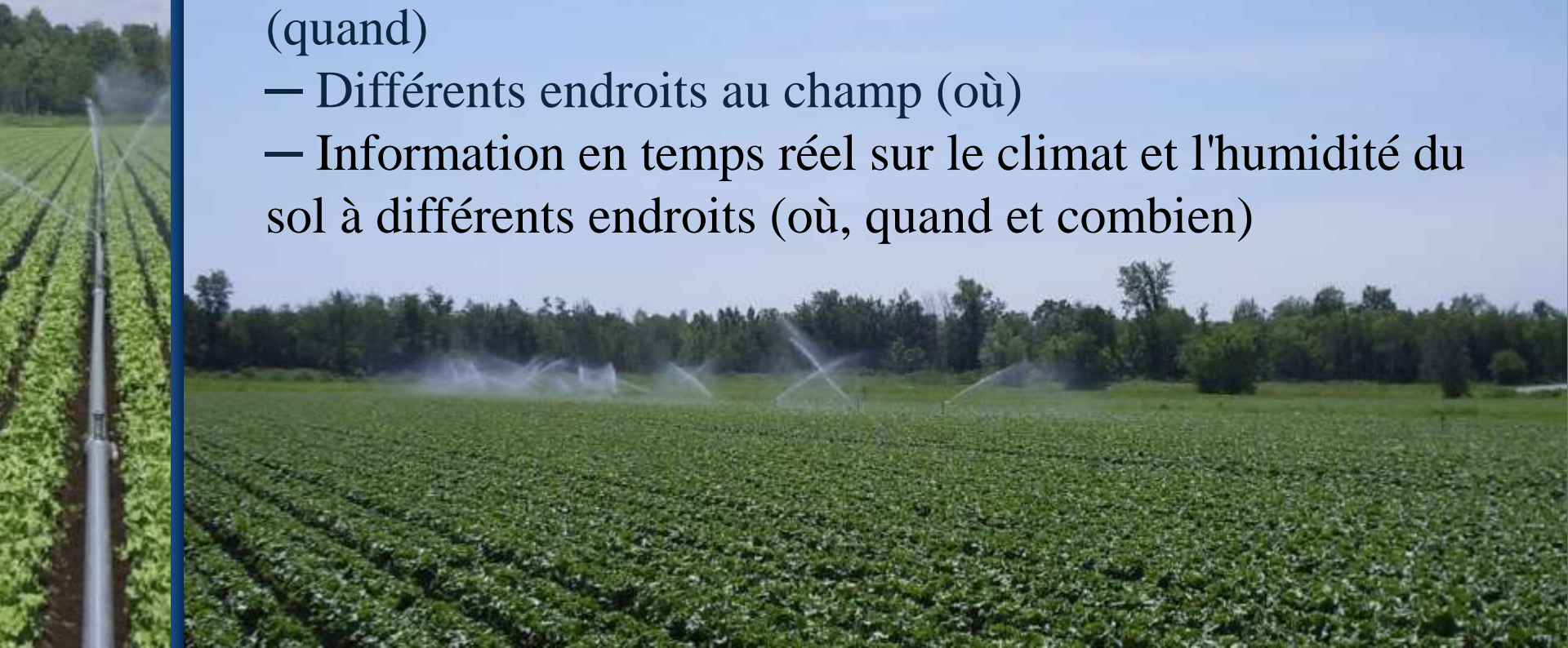
- Amendements et conservation des sols organiques (laboratoire)
- Caractérisation au laboratoire
- 0,9 M\$+0,2 M\$

2018-2023

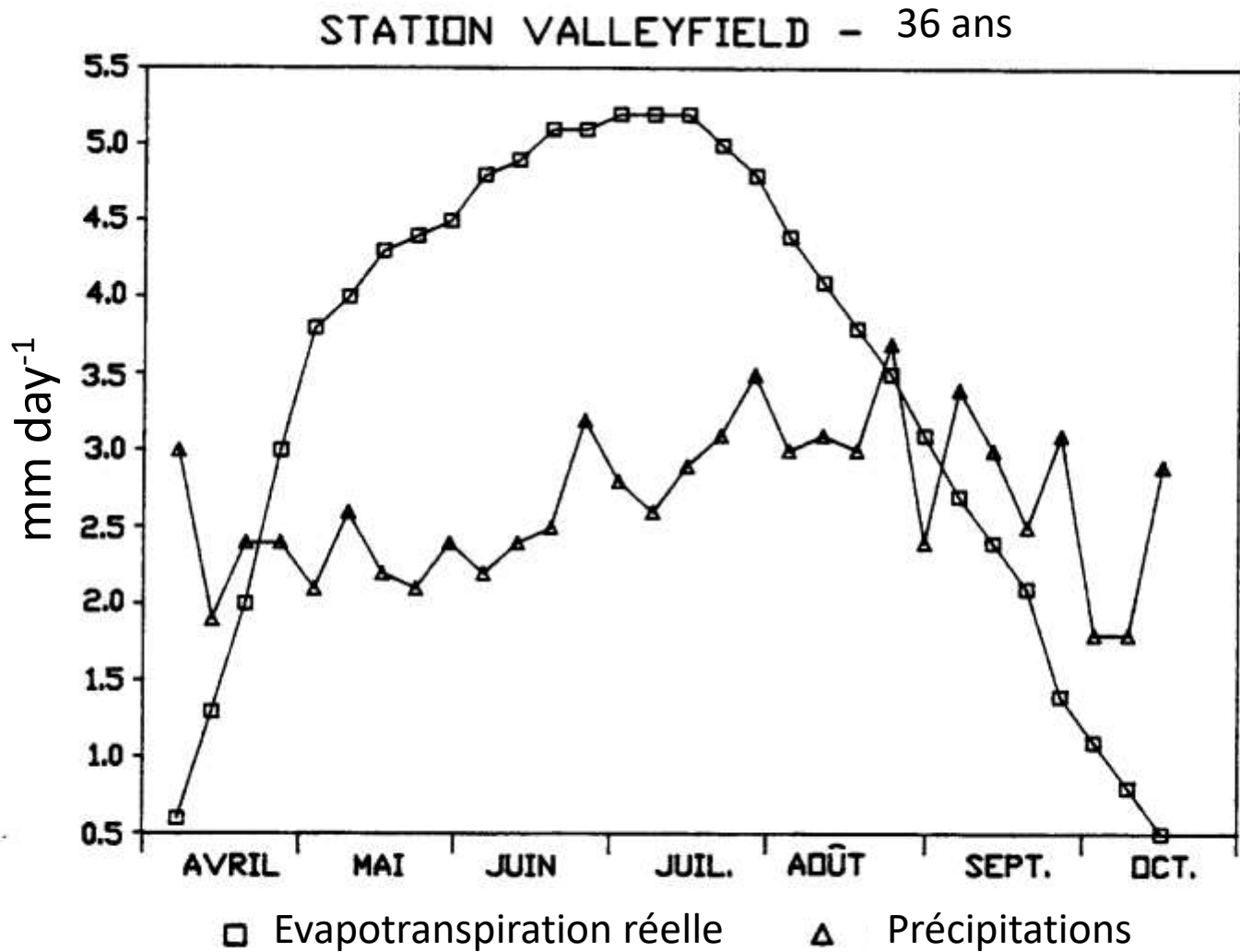
- Amendements et conservation des sols organiques (champ)
- Caractérisation au champ
- 5,5 M\$

Irrigation de la laitue romaine

- 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)
 - 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



Irrigation de la laitue romaine

Premières trois années du projet : mécanisme de la brûlure

- Données météorologiques et stades de croissance (combien)
- tensiomètres (potentiel matriciel de l'eau du sol) (quand)

Deux années suivantes: gestion spatiale

- Différent endroits au champ (où)
- Information en temps réel sur le climat et le statut de l'eau du sol (quand, où et combien)

Développement d'un outil logiciel (Agirrsol)



Irrigation de la laitue romaine

Premières trois années du projet : mécanisme de la brûlure

- Données météorologiques et stades de croissance (combien)
- tensiomètres (potentiel matriciel de l'eau du sol) (quand)

Deux années suivantes: gestion spatiale

- Différent endroits au champ (où)
- Information en temps réel sur le climat et le statut de l'eau du sol (quand, où et combien)

Développement d'un outil logiciel (Agirrsol)



Théorie

- Irrigation peut être basée sur:
 - Teneur en eau : quantité d'eau dans le sol
 - Tension : force nécessaire pour extraire l'eau à partir du sol (par la plante), contrôle les flux d'eau dans le sol
 - Évapotranspiration: (station météo)
 - Température de la plante: (capteur infrarouge, satellite)

Deux approches couramment utilisées pour régir l'irrigation:

flux d'eau du sol vers la plante

ou prélèvement estimé d'après
la météo ou les changements
de poids du sol

Flux d'eau sol-plante
(lien flux – tension)

Estimés quotidiens ou
hebdomadaires du prélèvement
passé pour estimer les besoins
en irrigation (ETP)



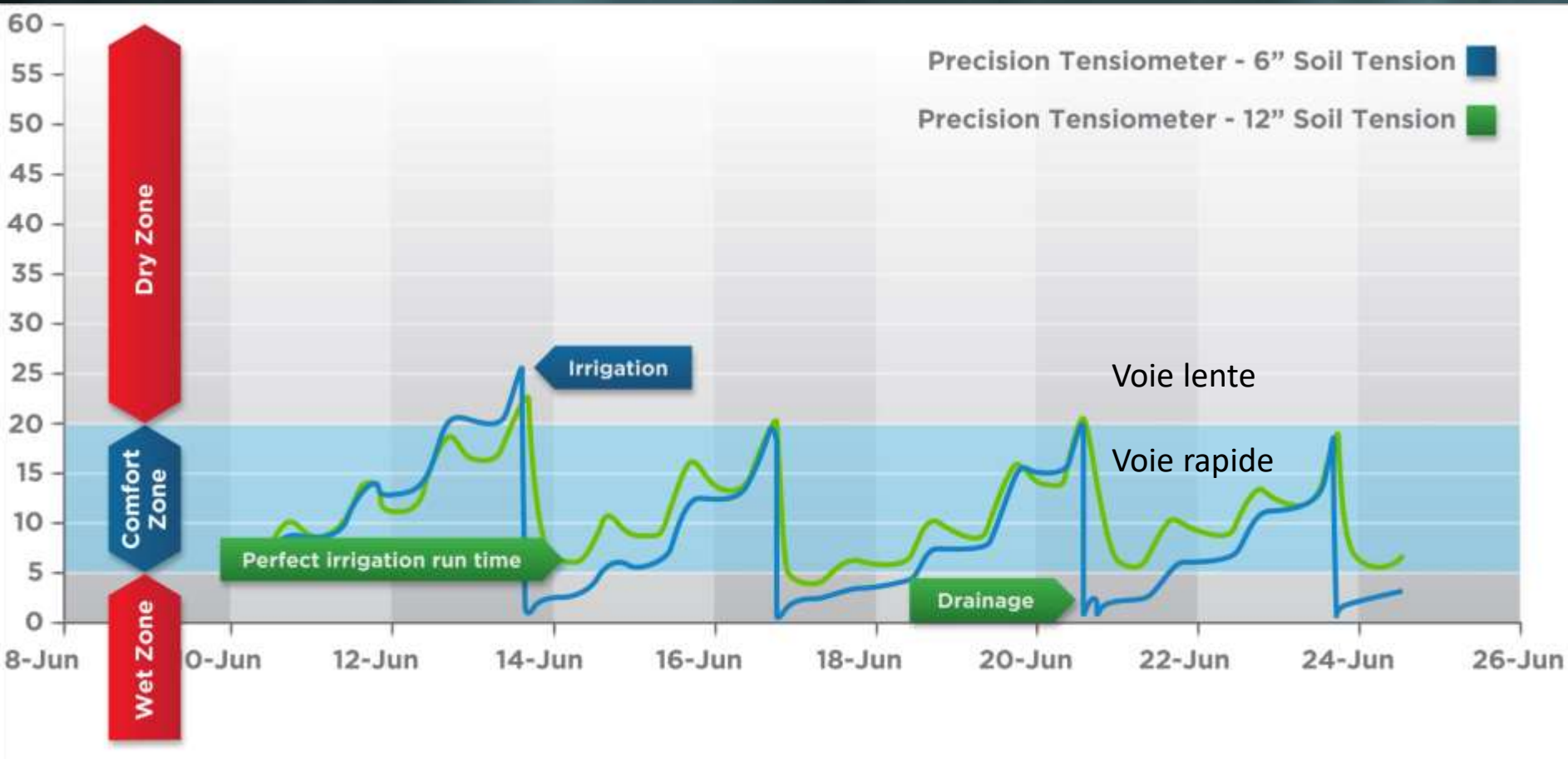
La tension et la décision d'irriguer

Arrêt de l'irrigation



Démarrage de l'irrigation: message émis lorsque le seuil critique est atteint (courriel, texte, téléphone, alarme)

Tensions observées à deux profondeurs avec des tensiomètres enfouis



Deux approches en irrigation

- **ETP** : Pour un athlète, ajuster sa diète en se basant sur la perte de poids hebdomadaire ou la consommation de calorie passées. Risque de réduire l'effort si on est mal nourri.
- **Tension-flux en temps réel**: compteur de calories prises et consommés en cours d'effort: la prise alimentaire est alors ajustée en fonction de l'effort optimal. L'irrigation est initiée avant qu'un seuil critique 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 pour commander l'apport d'eau.

$$h_{1, \text{asymptotic}} = \frac{1}{\alpha^*} \ln \left(-\frac{1}{\alpha^* K_{sG}} \left(\begin{array}{l} q_0 \alpha^* e^{-\alpha^* L} - q_0 \alpha^* \\ + S_0 e^{-\alpha^* L} \alpha^* L \\ + S_0 e^{-\alpha^* L} - S_0 \end{array} \right) \right) + L$$

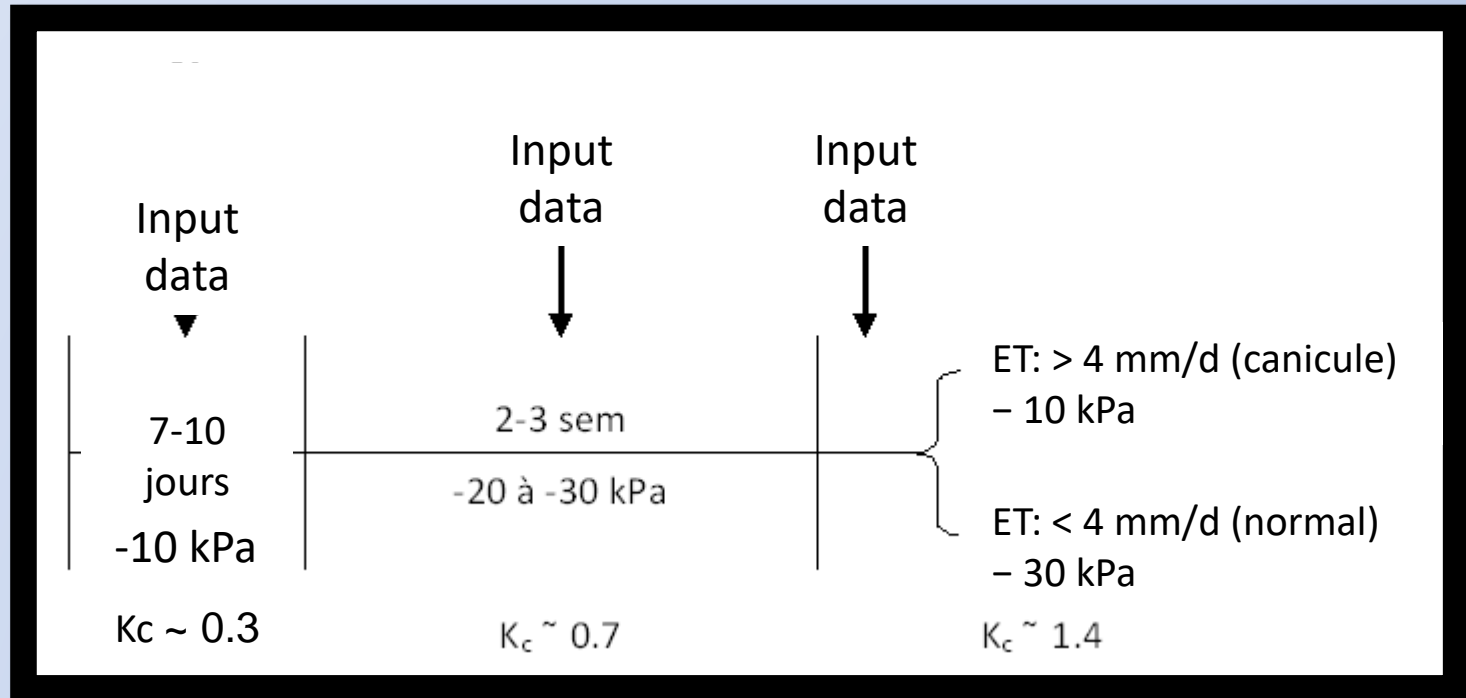
L=profondeur racinaire

K_s et a = hydraulique du sol

s_0 : transpiration

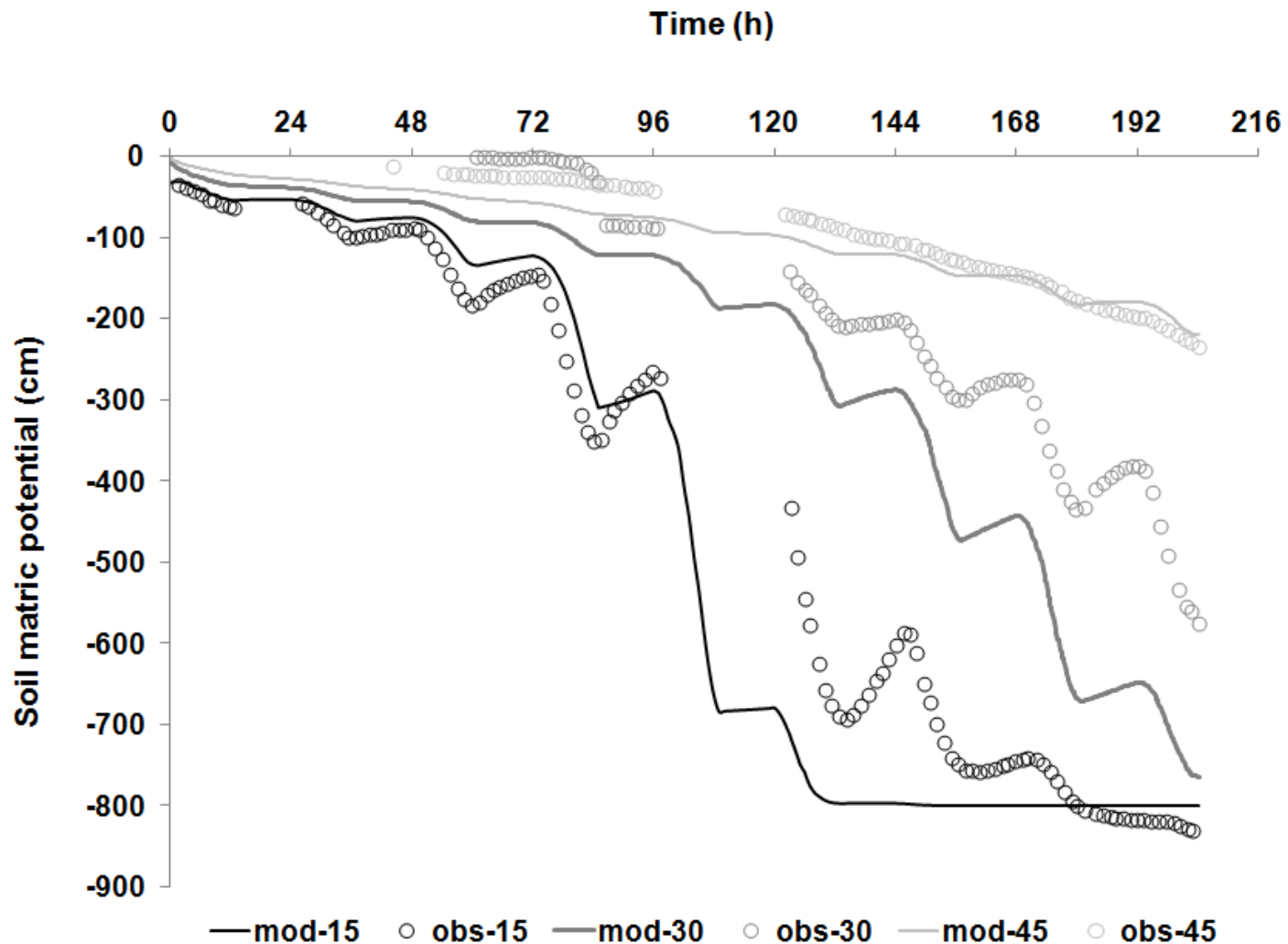
h_1 = tension seuil d'irrigation

Seuil d'intervention en laitue

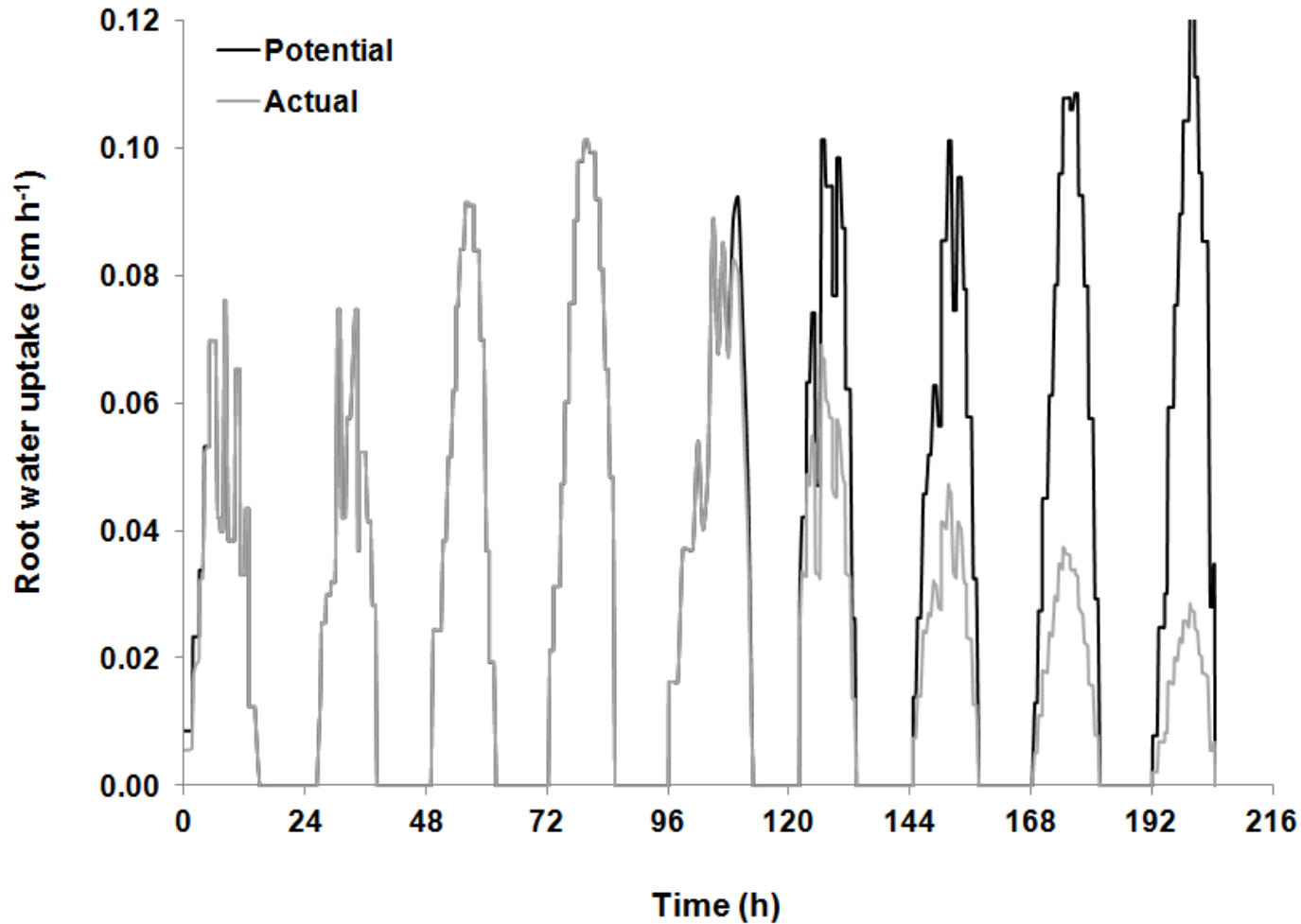


- Seuil basée sur quatre ans d'experimentation en serre et au champ

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



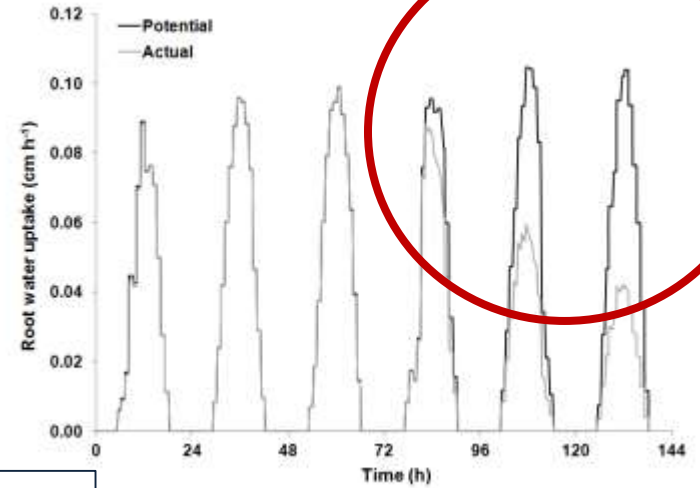
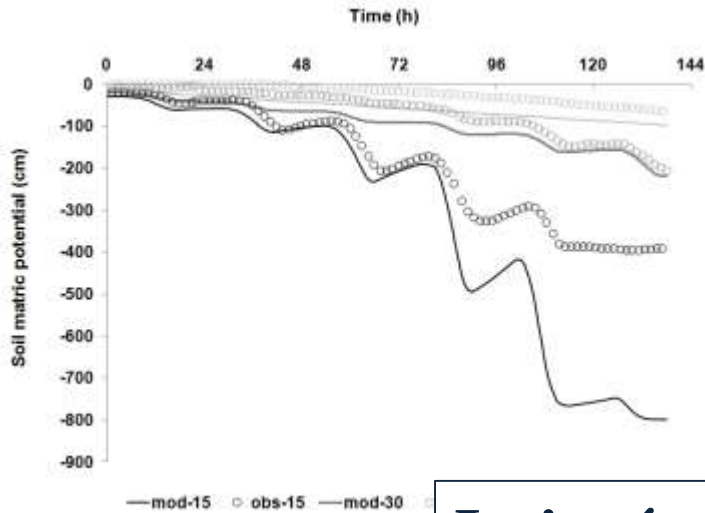
Prélèvement potentiel et réel en sol non irrigué (85 % de brûlure)



Incidence de la brûlure augmente avec le stress

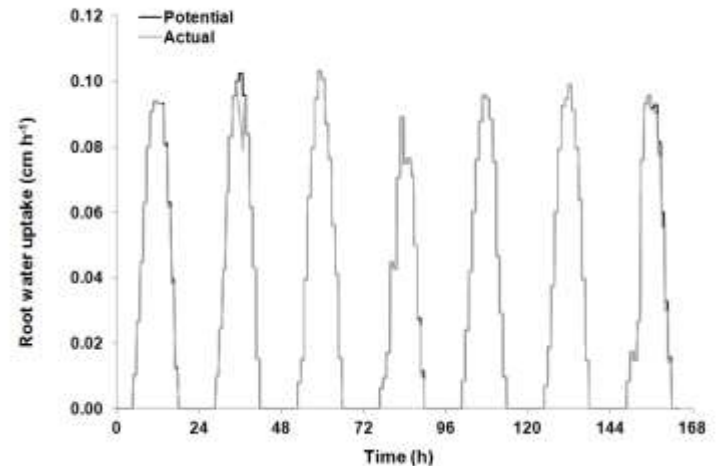
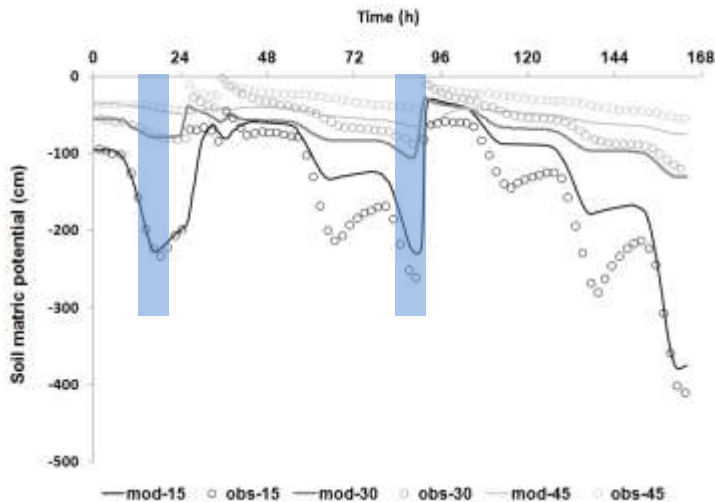
Non irrigué

95%

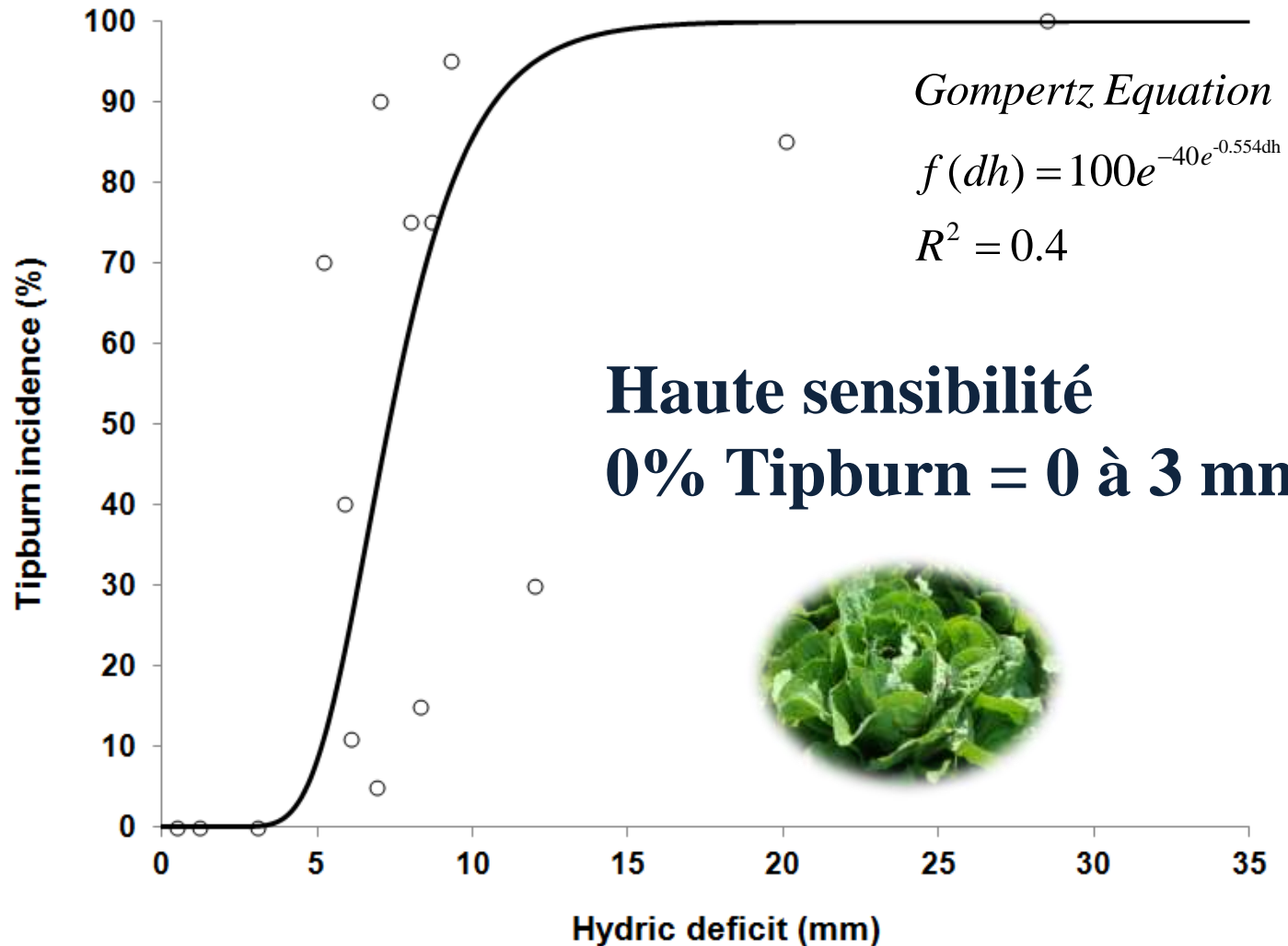


Irrigué

0%



Incidence de la brûlure augmente avec le stress



Conclusions

—Quand le potentiel seuil de -10 kPa est atteint dans la zone racinaire

- Réduction du prélèvement en eau
- Déficit cumulatif $> 3\text{mm}$ cause la brûlure
- Contrôle de la brûlure avec un flux suffisant dans la zone racinaire
- Flux doit augmenter quand $ET > 4\text{ mm}$
- Irrigation plus fréquentes avec de plus petites quantités
- On peut gérer plus sec à certaines périodes et sauver de l'eau

Irrigation of Romaine lettuce

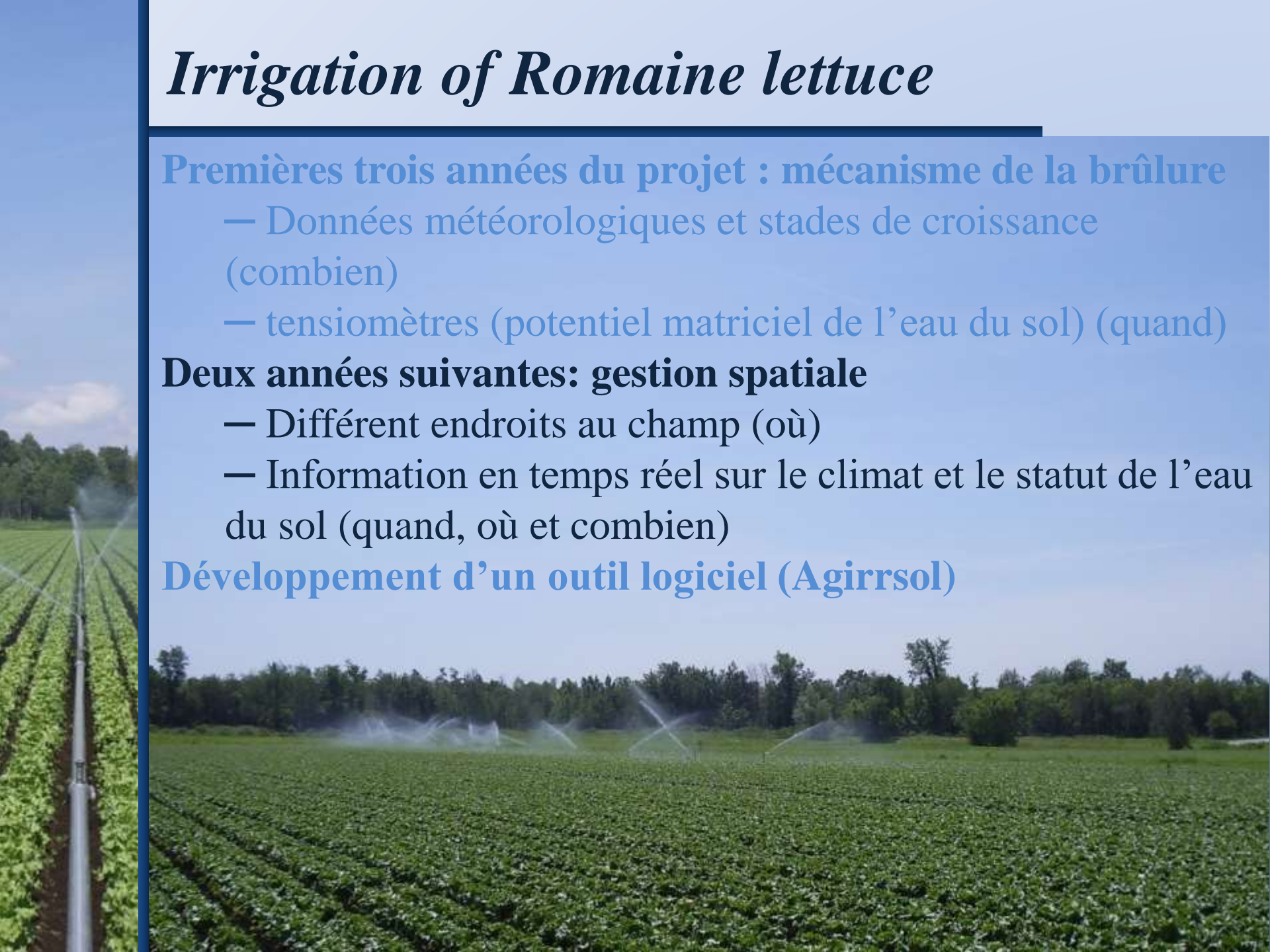
Premières trois années du projet : mécanisme de la brûlure

- Données météorologiques et stades de croissance (combien)
- tensiomètres (potentiel matriciel de l'eau du sol) (quand)

Deux années suivantes: gestion spatiale

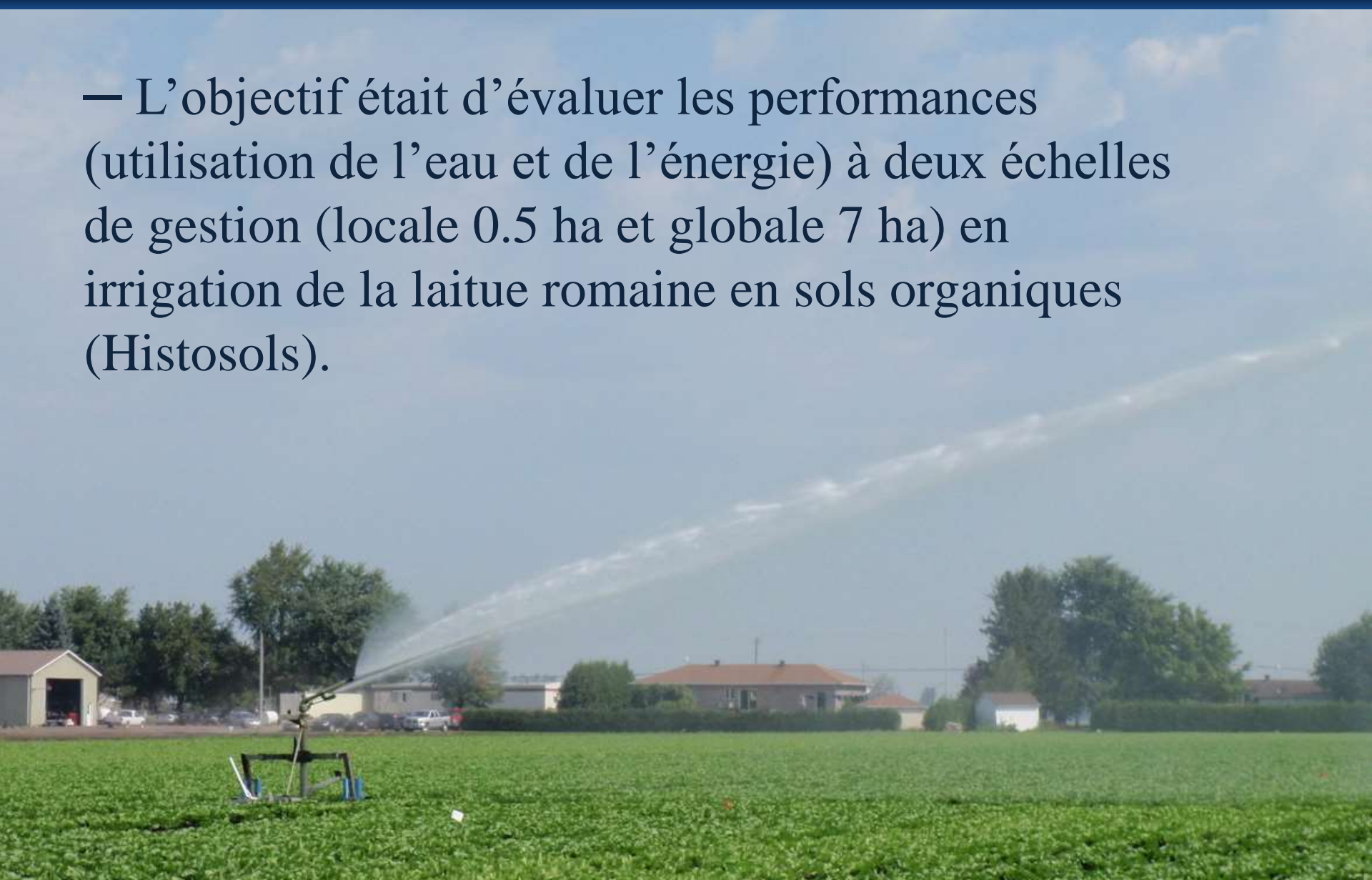
- Différent endroits au champ (où)
- Information en temps réel sur le climat et le statut de l'eau du sol (quand, où et combien)

Développement d'un outil logiciel (Agirrsol)

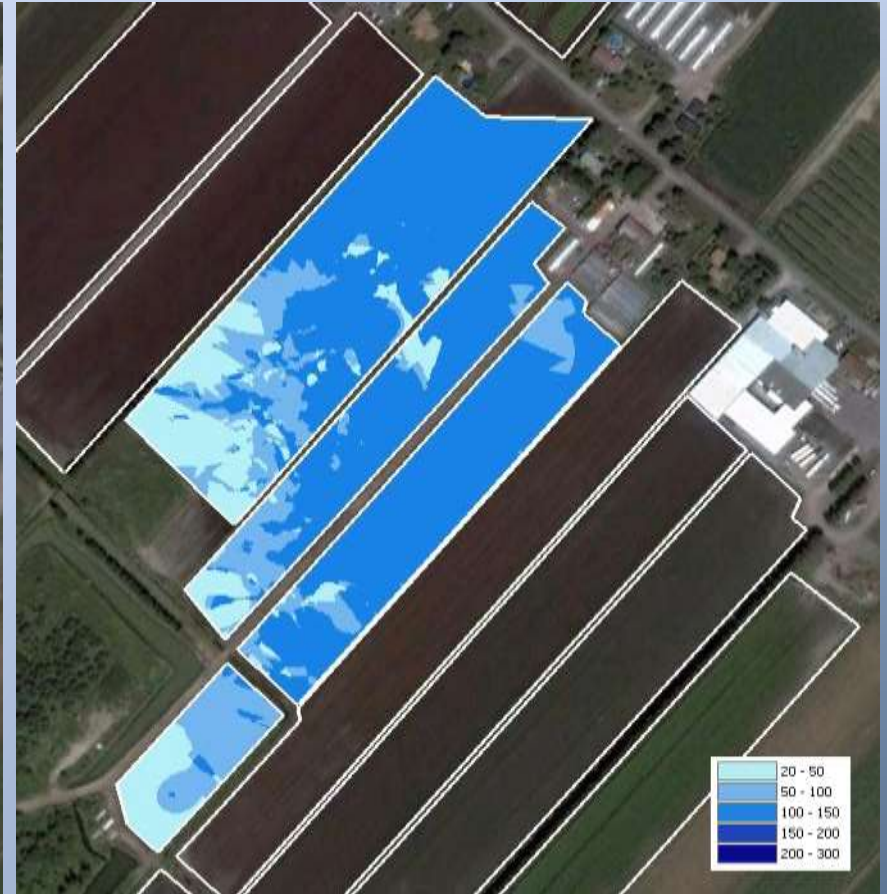


Objectif de cette partie

— L'objectif était d'évaluer les performances (utilisation de l'eau et de l'énergie) à deux échelles de gestion (locale 0.5 ha et globale 7 ha) en irrigation de la laitue romaine en sols organiques (Histosols).



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

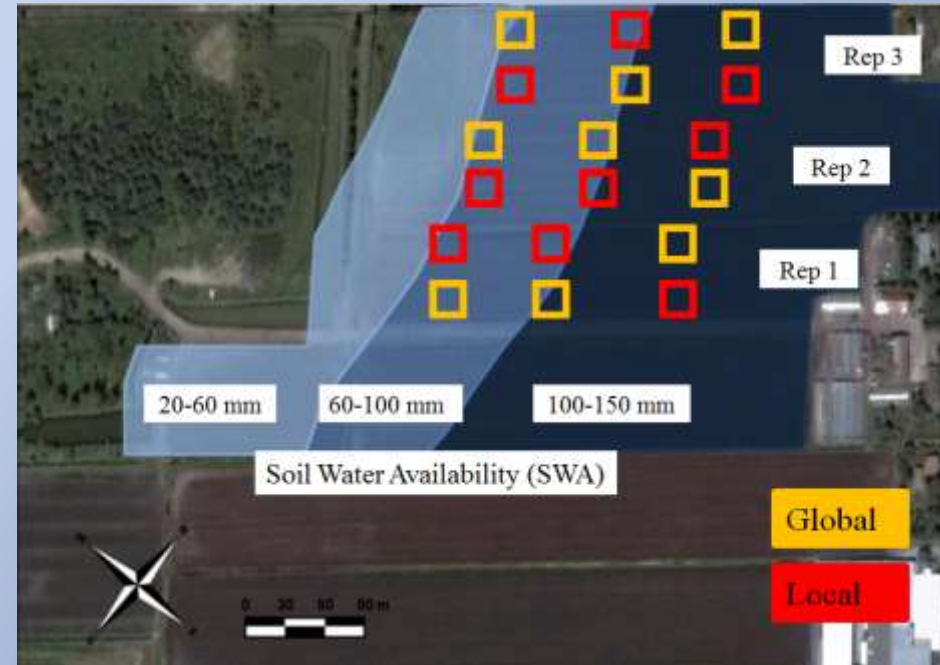
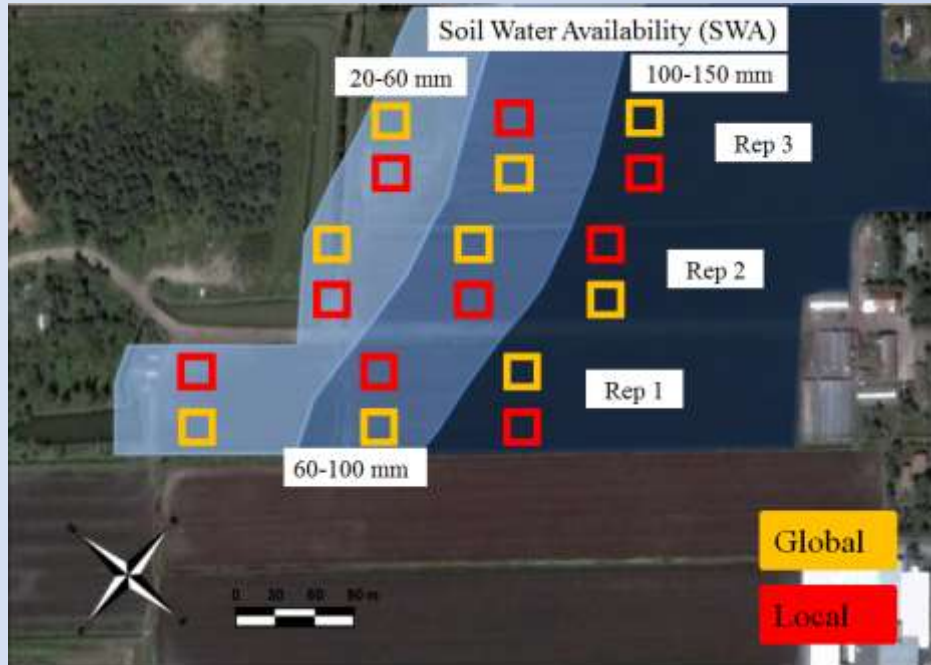


$$AW_{(x,y)} = \sum_{i=1}^n (\theta_c(z_i) - \theta_w(z_i)) \Delta z_i$$

Site expérimental, et distribution spatiale de l'eau disponible

2010

2011



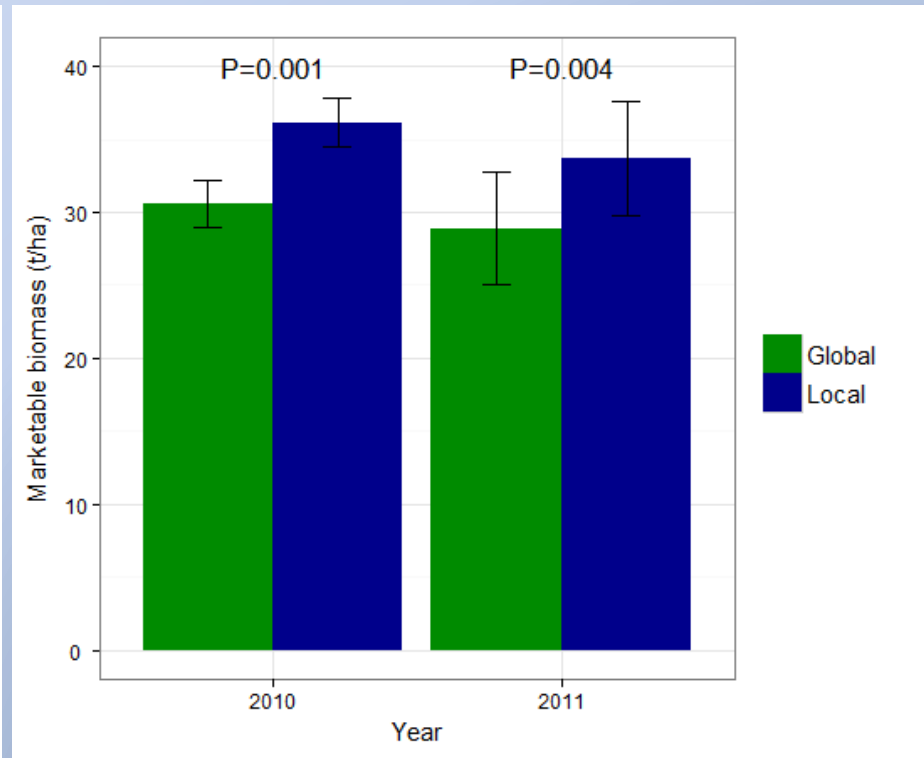
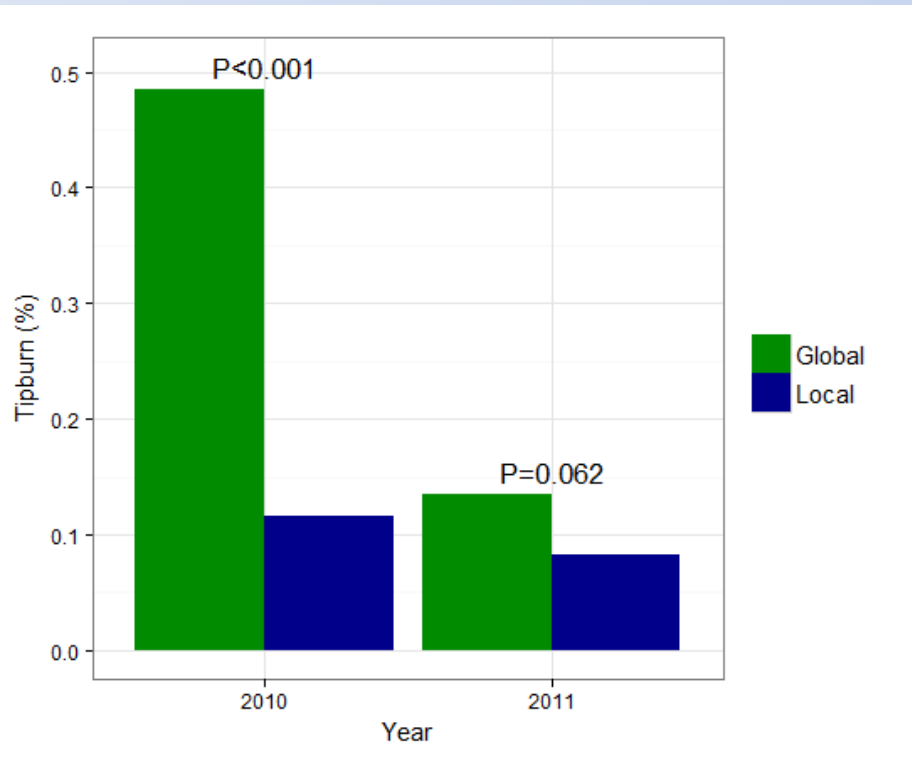
—Unités de 27 m par 27 m

Gestion de l'irrigation par tensiométrie sans fil

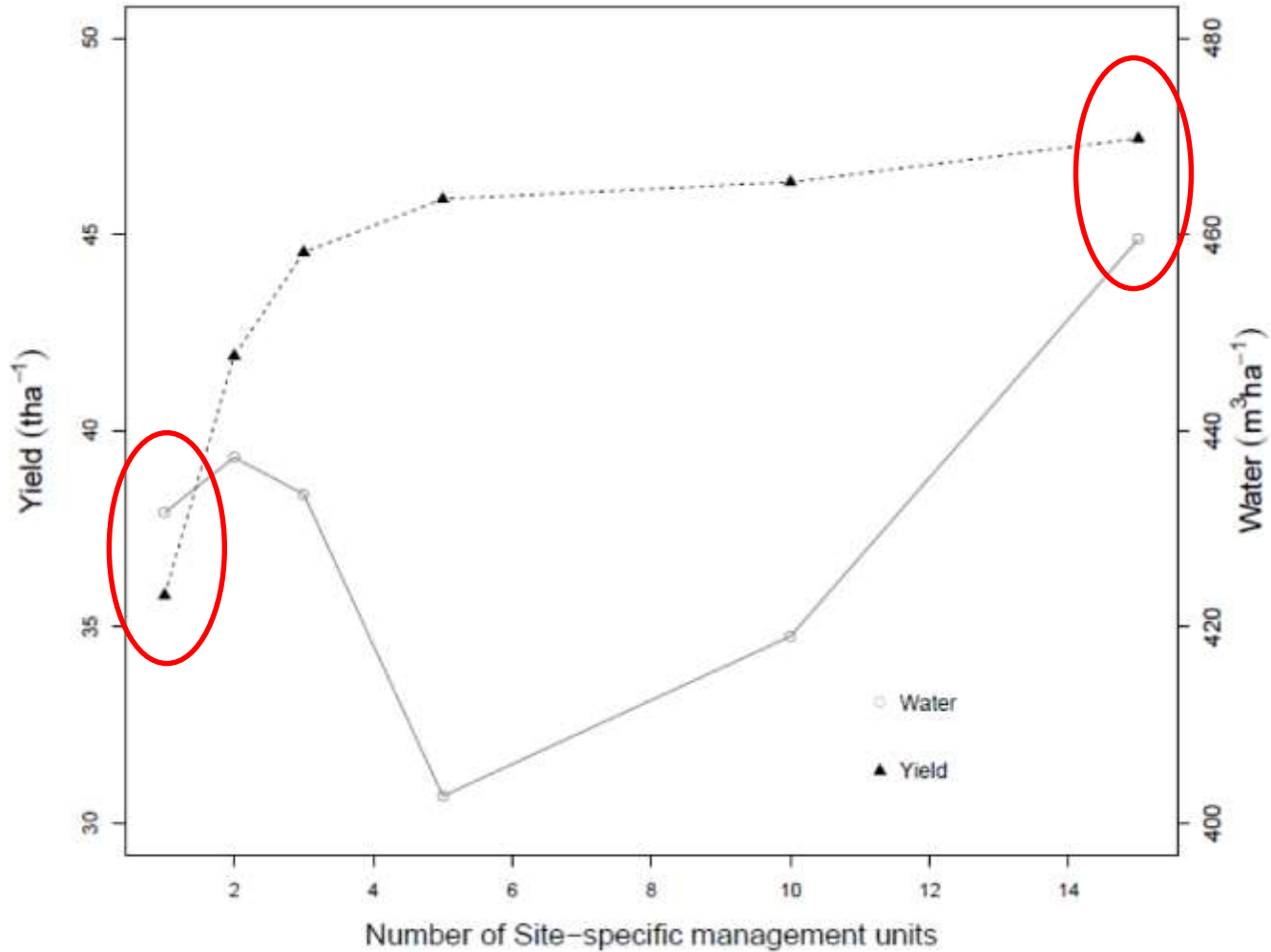
- Irrigation initiée lorsque la tension atteint un seuil critique
- En terres noires, lorsque le seuil atteint -30 kPa
(Plamondon, 2009; Bergeron Piette, 2010)
 - -15 kPa quand $ET > 4$ mm j^{-1} (Periard & al. 2012)
 - Tensiomètre sans fil
 - 3 profondeurs
 - 15 cm, 30 cm, 45 cm
- Moyennes des potentiels matriciels
 - 0-15 jours = 15 cm
 - 16-30 jours = 15 et 30 cm
 - 31-45 jours = 15, 30 et 45 cm



Effet de la gestion spatiale sur la brûlure et la biomasse vendable



Eau utilisée et rendement total en fonction de la subdivision des champs





Conclusions

Gestion locale:

- Réduit la brûlure de la pointe
- Accroît la biomasse commercialisable de 16.5% à 18.2%
- Accroît l'efficacité d'utilisation de l'eau par un meilleur contrôle de la brûlure
- Accroît les bénéfices nets pour le producteur

Irrigation de la laitue romaine

Premières trois années du projet : mécanisme de la brûlure

- Données météorologiques et stades de croissance (combien)
- tensiomètres (potentiel matriciel de l'eau du sol) (quand)

Deux années suivantes: gestion spatiale

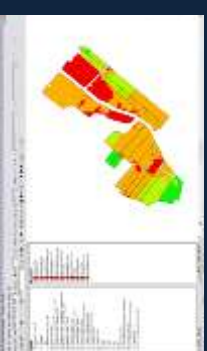
- Différent endroits au champ (où)
- Information en temps réel sur le climat et le statut de l'eau du sol (quand, où et combien)

Développement d'un outil logiciel (Agirrsol)



Objectifs

- Développer un outil de gestion de l'irrigation incorporant de l'information sur la culture, le sol, les conditions météo (ETP), et la capacité d'intervention.
- Cet outil de gestion prendrait la forme de cartes d'analyse du risque (nombre de jours pour intervenir)
- Incorporera la définition des polygones et un comparatif de cartes satellites



Données d'entrée

➤ Sol:

- Potentiel matriciel à différentes profondeurs
- Propriétés hydrauliques

➤ Météo (actuelles et prévisionnelles 3 jours):

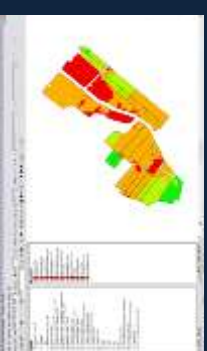
- Températures minimales et maximales,
- Vitesse du vent
- Humidité relative

➤ Culture:

- type de culture,
- Profondeur racinaire
- Date de plantation,
- Estimé des temps de récolte

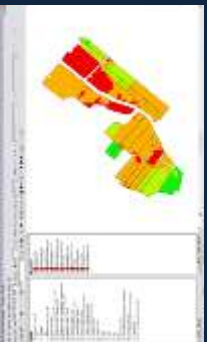
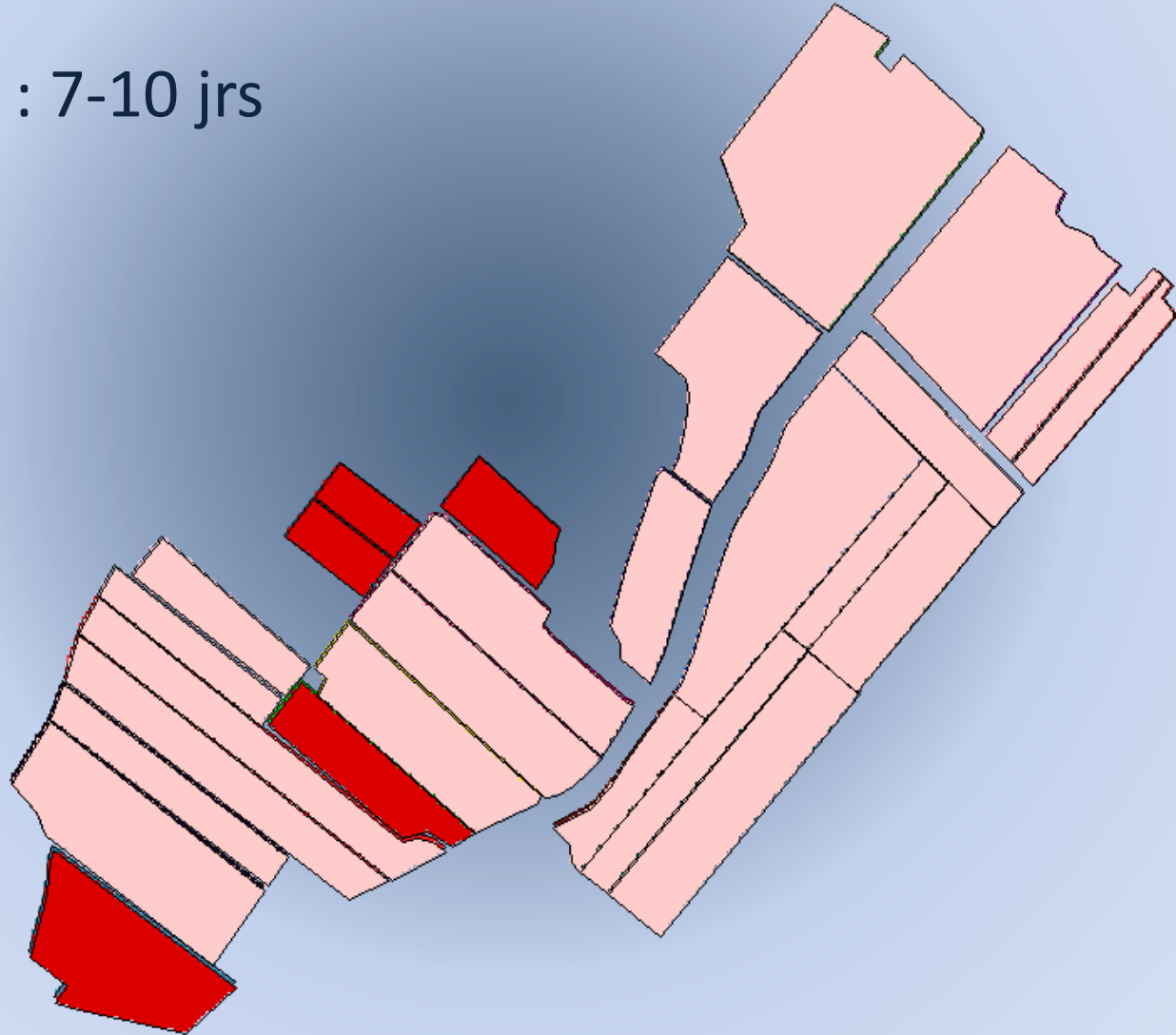
➤ Spatiale:

- Polygones de plantations et de propriétés de sol



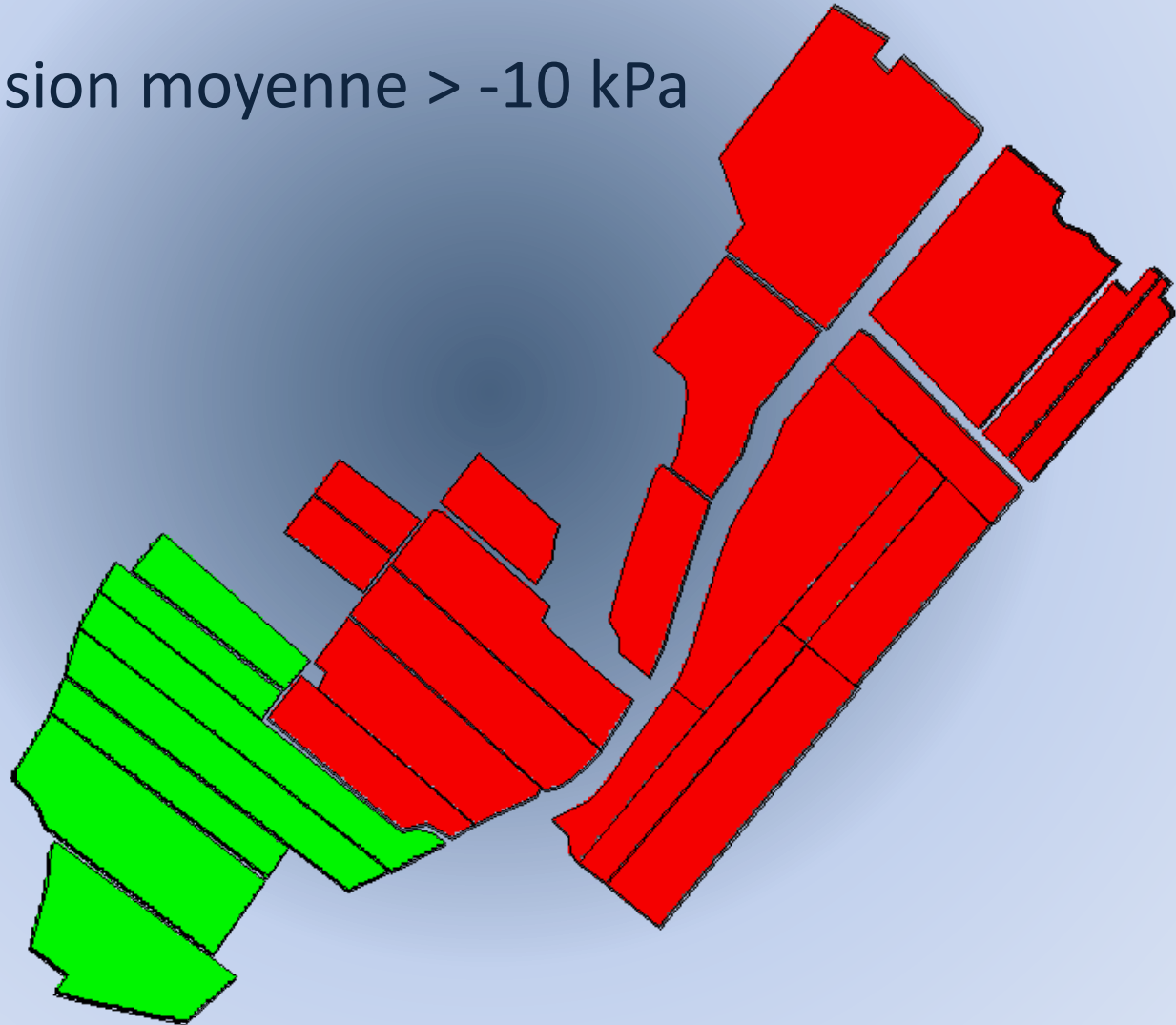
Étape 1. Saisie des Dates de semis (DS) sur polygone

➤ DS : 7-10 jrs



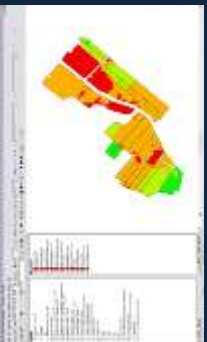
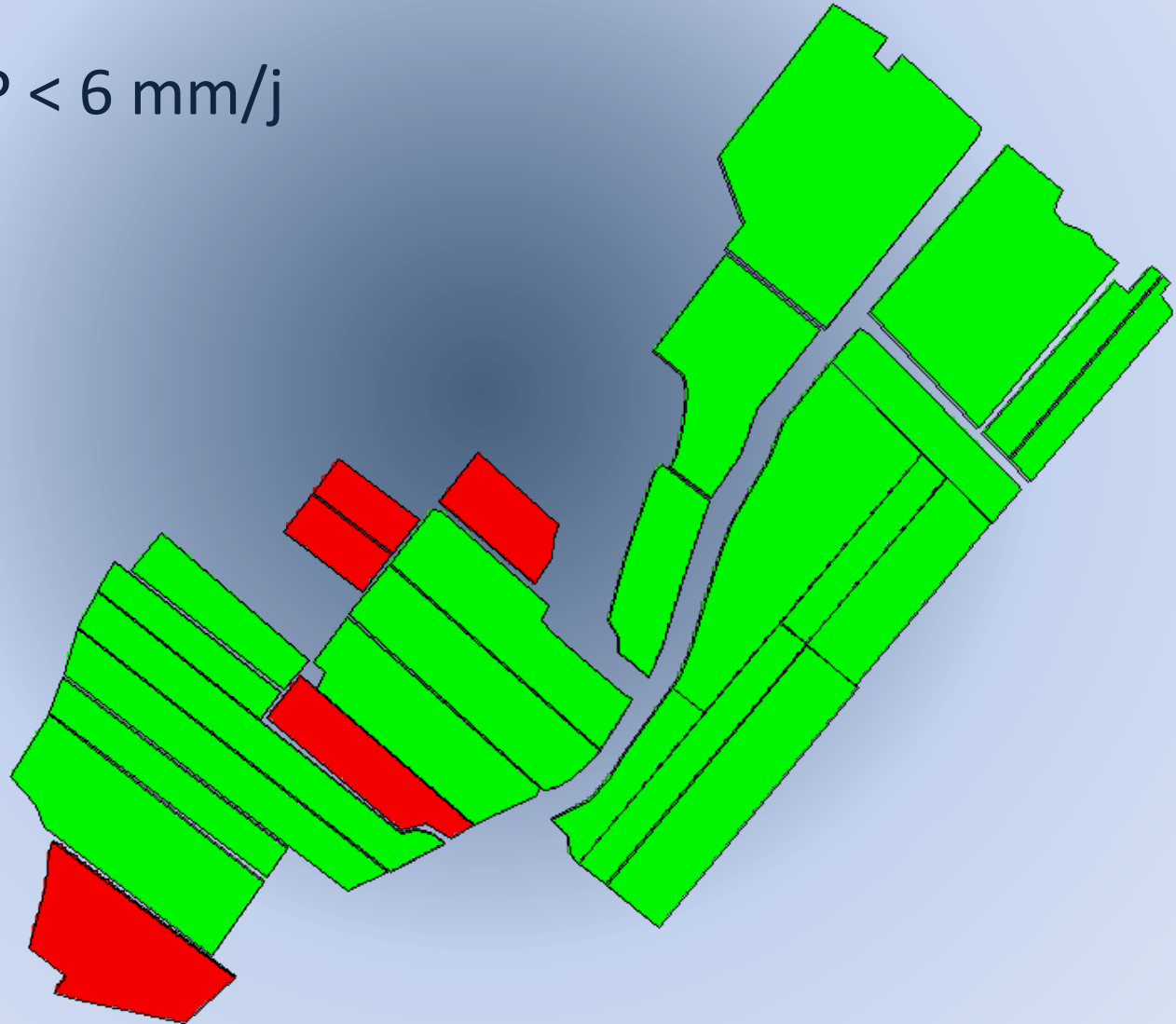
Étape 2. Tensions moyennes rapportées par sonde Hortau mise à jour aux 15 minutes

➤ Tension moyenne > -10 kPa



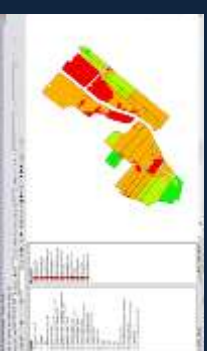
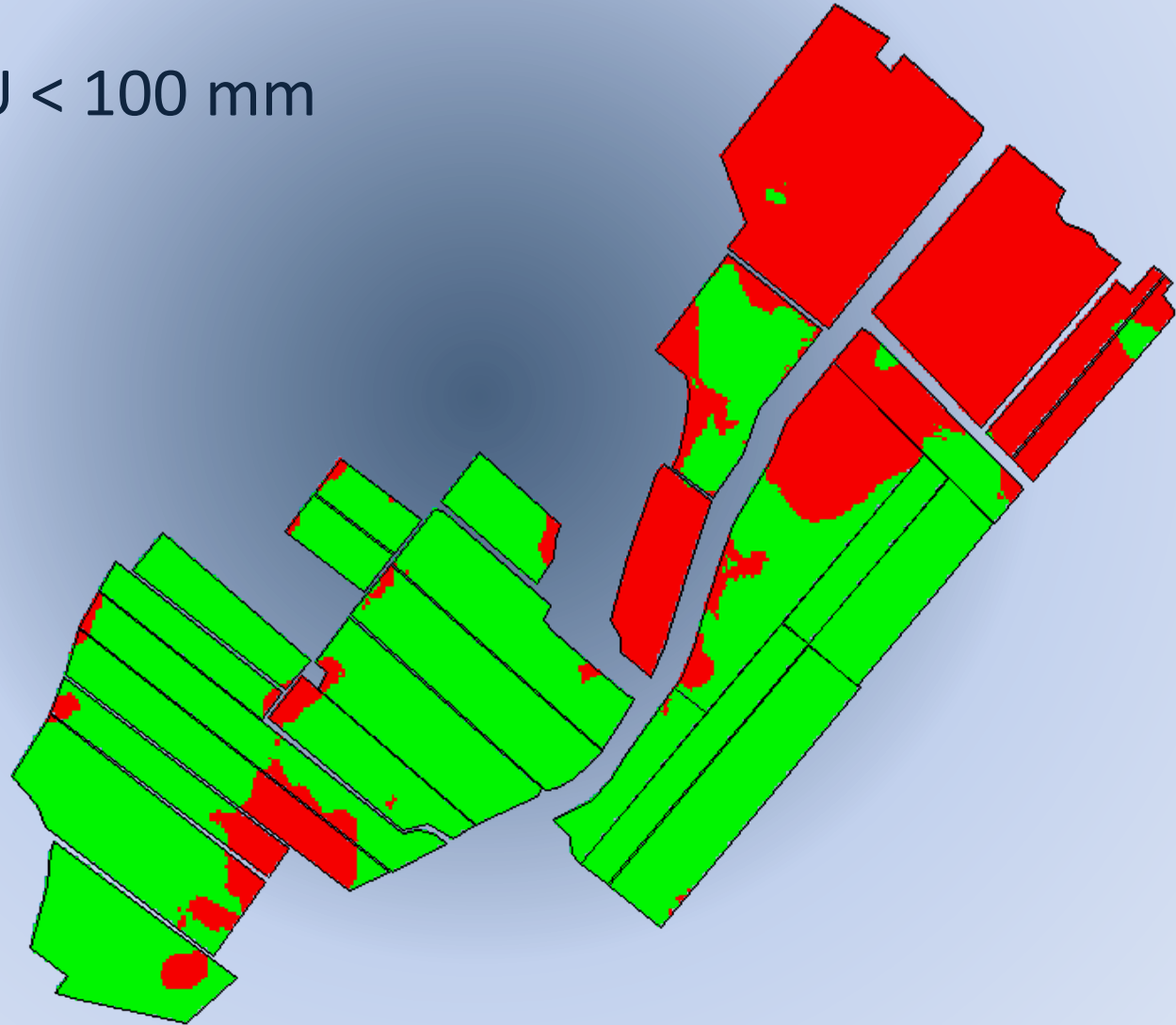
Étape 3. ETP (conditions météo évaluées in situ et obtenues par prévision pour les jours à venir)

➤ ETP < 6 mm/j



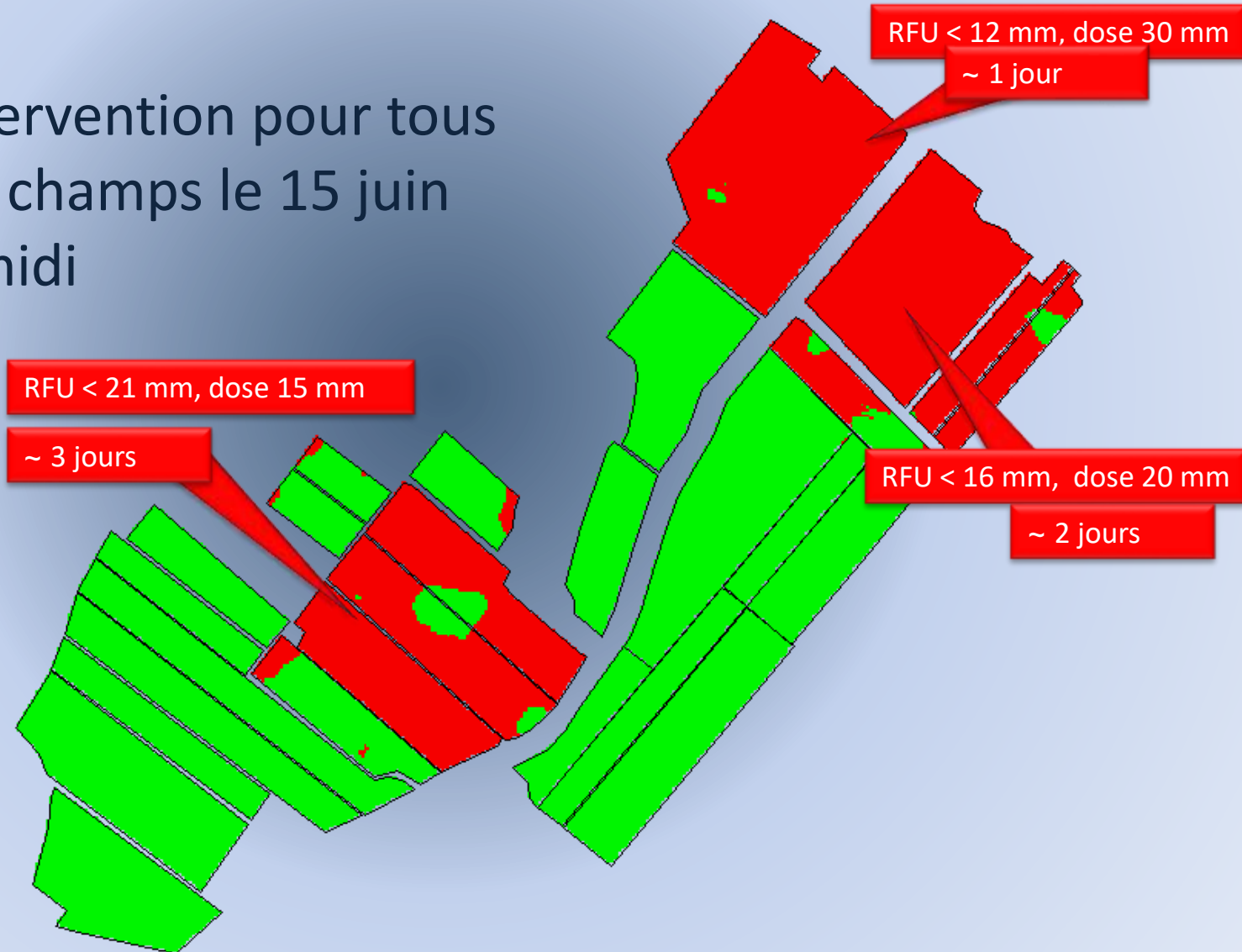
Étape 4. RFU (réserve en eau des sols actualisées)

➤ RFU < 100 mm



Étape 6. Carte totale actualisée à l'heure par priorité d'intervention d'ici 3 jours

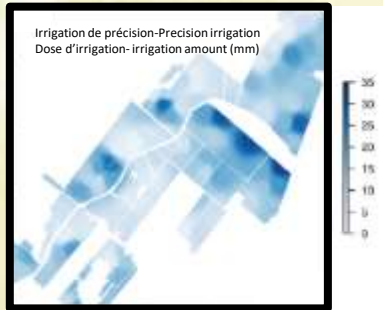
- Intervention pour tous les champs le 15 juin à midi



Prix Synergie Irrigation de précision de sols organiques cultivés en laitue



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



- ❖ 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



Recherche passée, présente et future

2007-2011

- Irrigation de la laitue, mesclun, épinard, oignons, cèleri
- Caractérisation des sols pour l'irrigation
- 1,8 M\$

2011-2013

- Optimisation du drainage
- Logiciel Agirrsol
- 0,6 M\$

2014-2019

- Cartographie des besoins de drainage
- Rotation et couches compactes
- 1,6 M\$

2016-2019

- Amendements et conservation des sols organiques (laboratoire)
- Caractérisation au laboratoire
- 0,9 M\$+0,2 M\$

2018-2023

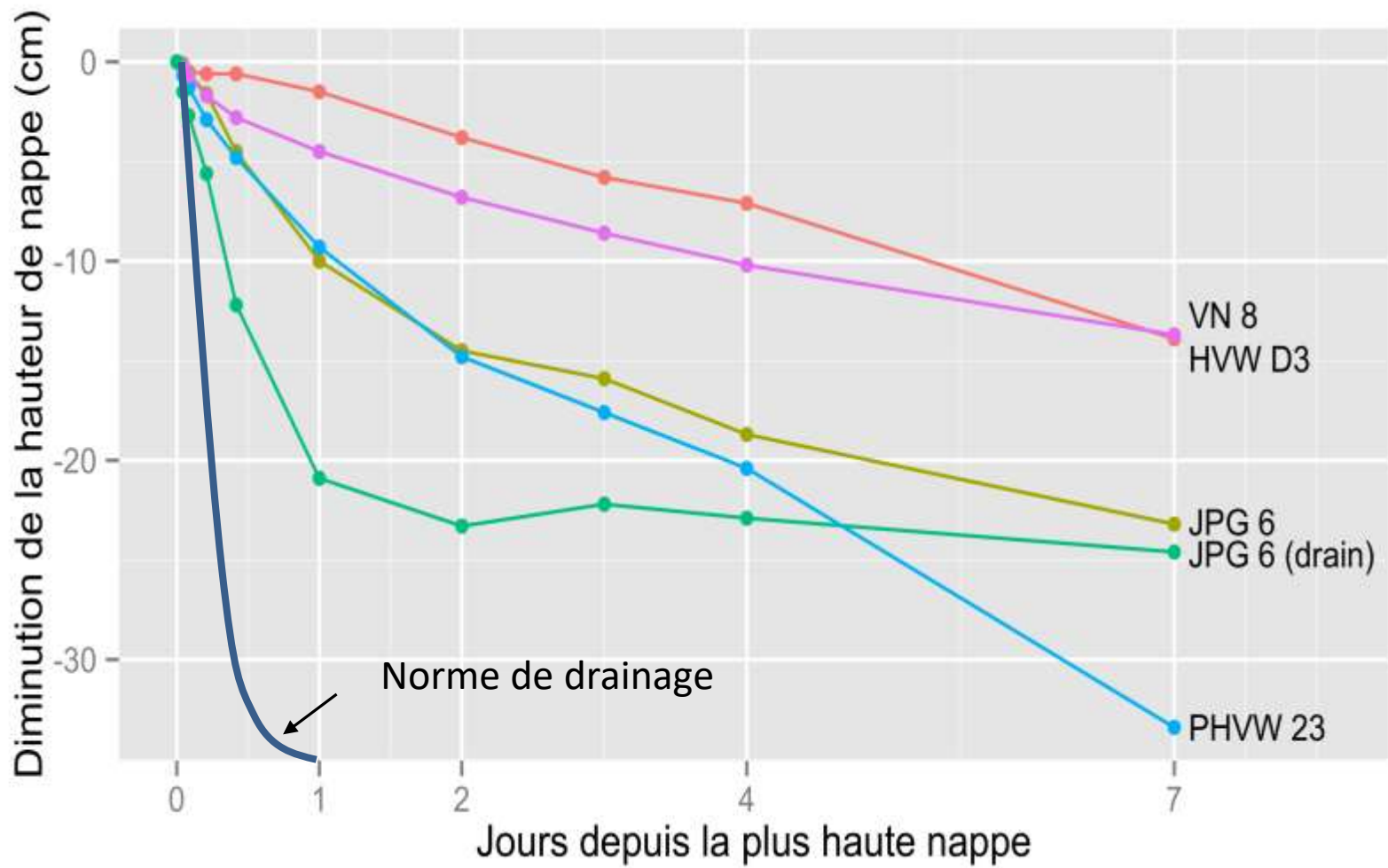
- Amendements et conservation des sols organiques (champ)
- Caractérisation au champ
- 5,5 M\$

Drainage

Jonathan Lafond, Ph.D.
Guillaume Thérroux Rancourt, agr., M.Sc.
Silvio J. Gumiere, Ph.D.
Jean Caron, agr., Ph.D.

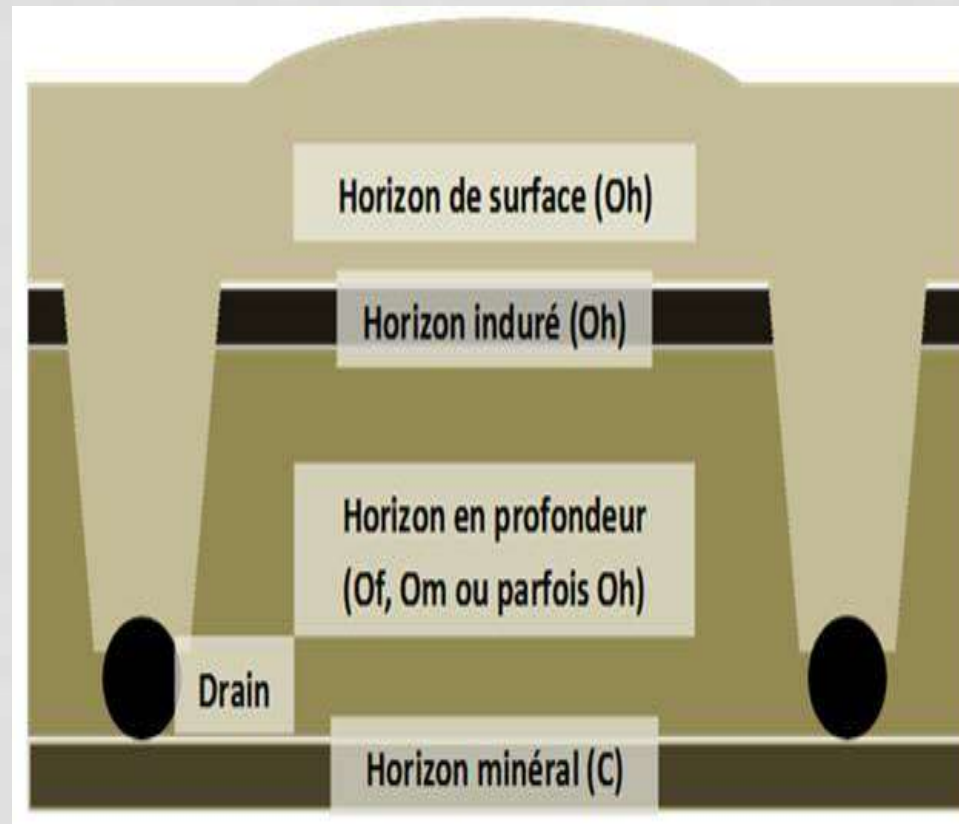


Présenté à Sherrington le 18 décembre 2013



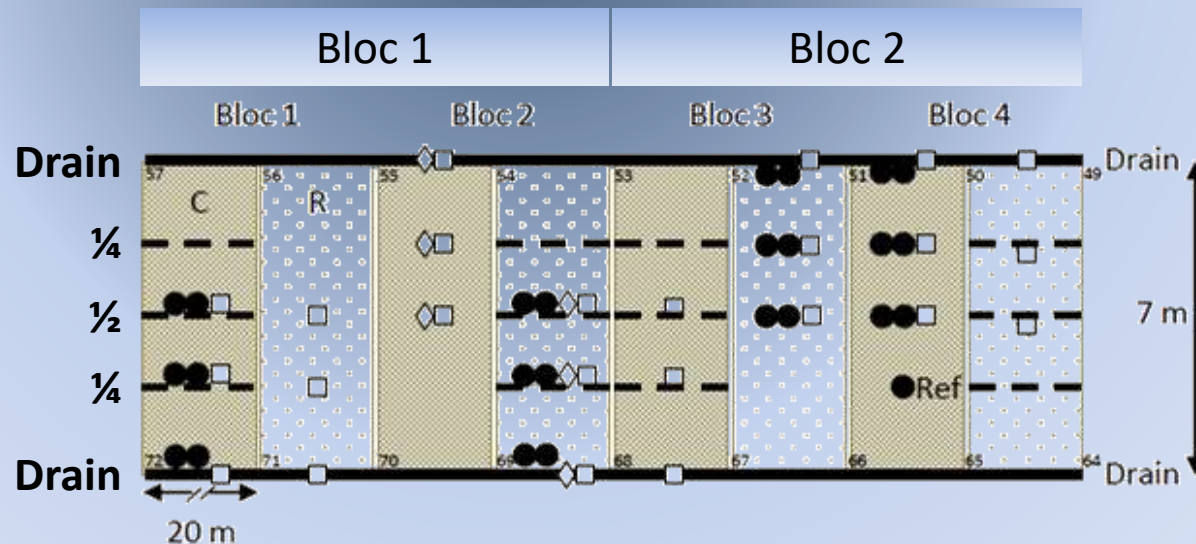
TEST GÉORADAR

Dispositif avec emplacement des drains



Retour sur le dispositif expérimental

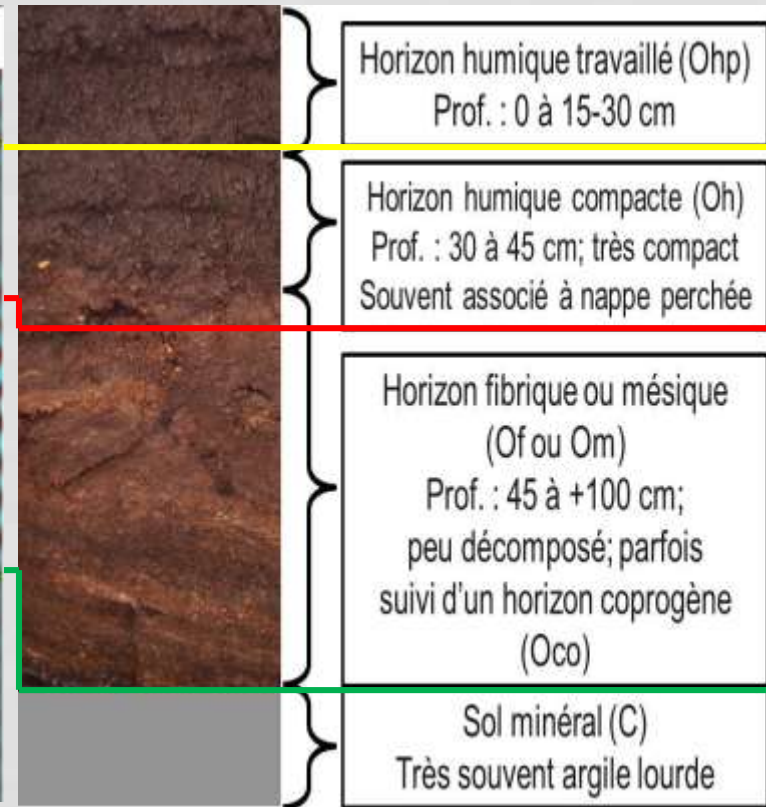
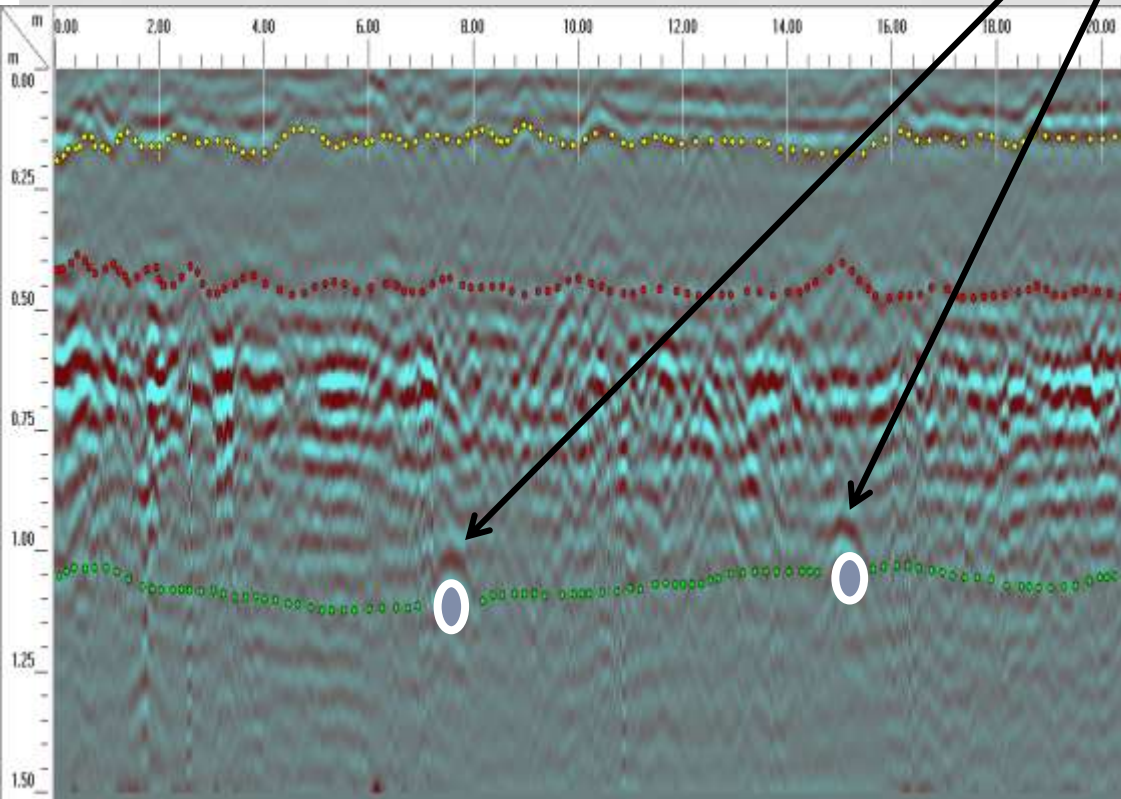
- On testait :
 - 2 traitements : conventionnel vs. remblai
 - L'effet complémentaire des tranchées drainantes (---)
- Suivi avec tous les instruments du 17 mai au 26 septembre 2013



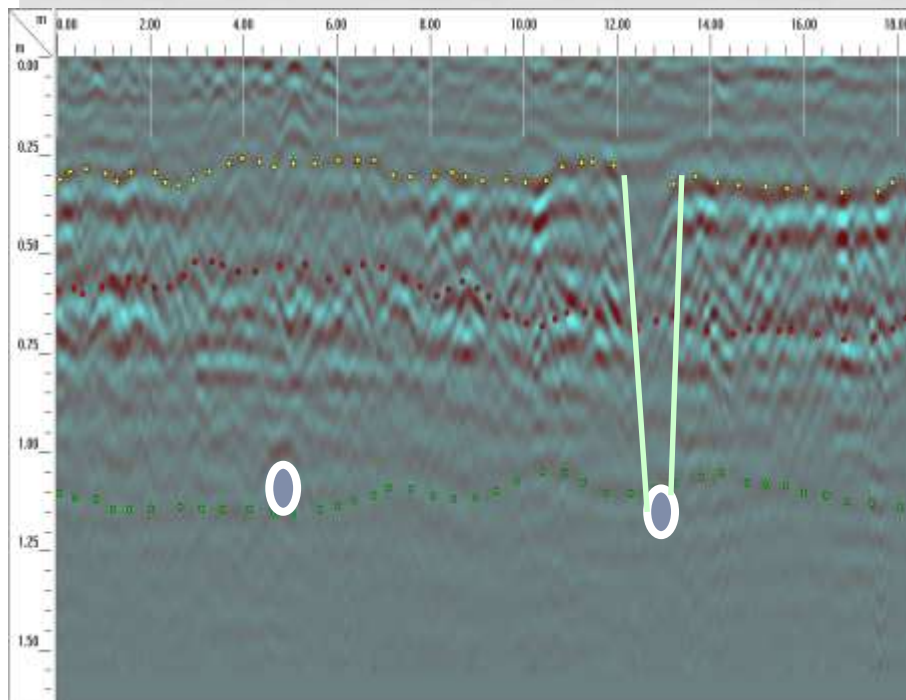
TEST GÉORADAR

- 4 couches distinguées sur la parcelle
- 2 Drains distingués sous la 3^e couche

Réflexion hyperbolique marque la présence d'un drain ●

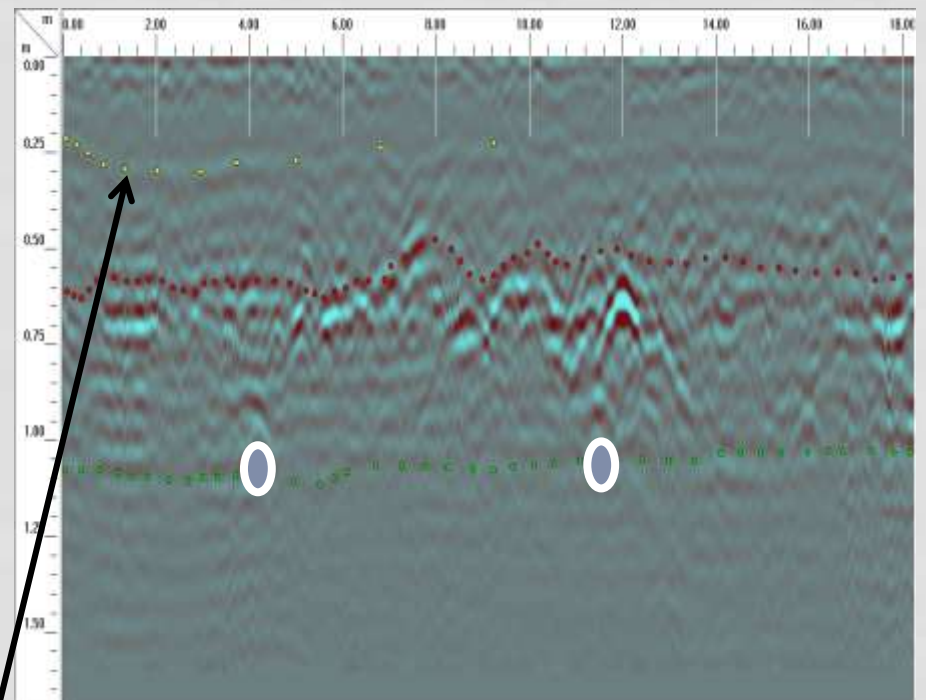


TEST GEORADAR



Transect 1

- 4 couches distinguées sur la parcelle
- 2 drains potentiels sous la 3^e couche



Transect 2

Couche moins visible et donc moins compacte qu'au transect 1 (peut être dû aux travaux sur ce champ)

VOLET 1 : DRAINAGE -MÉTHODE DU REMBLAI

➤ Retour sur les saisons précédentes

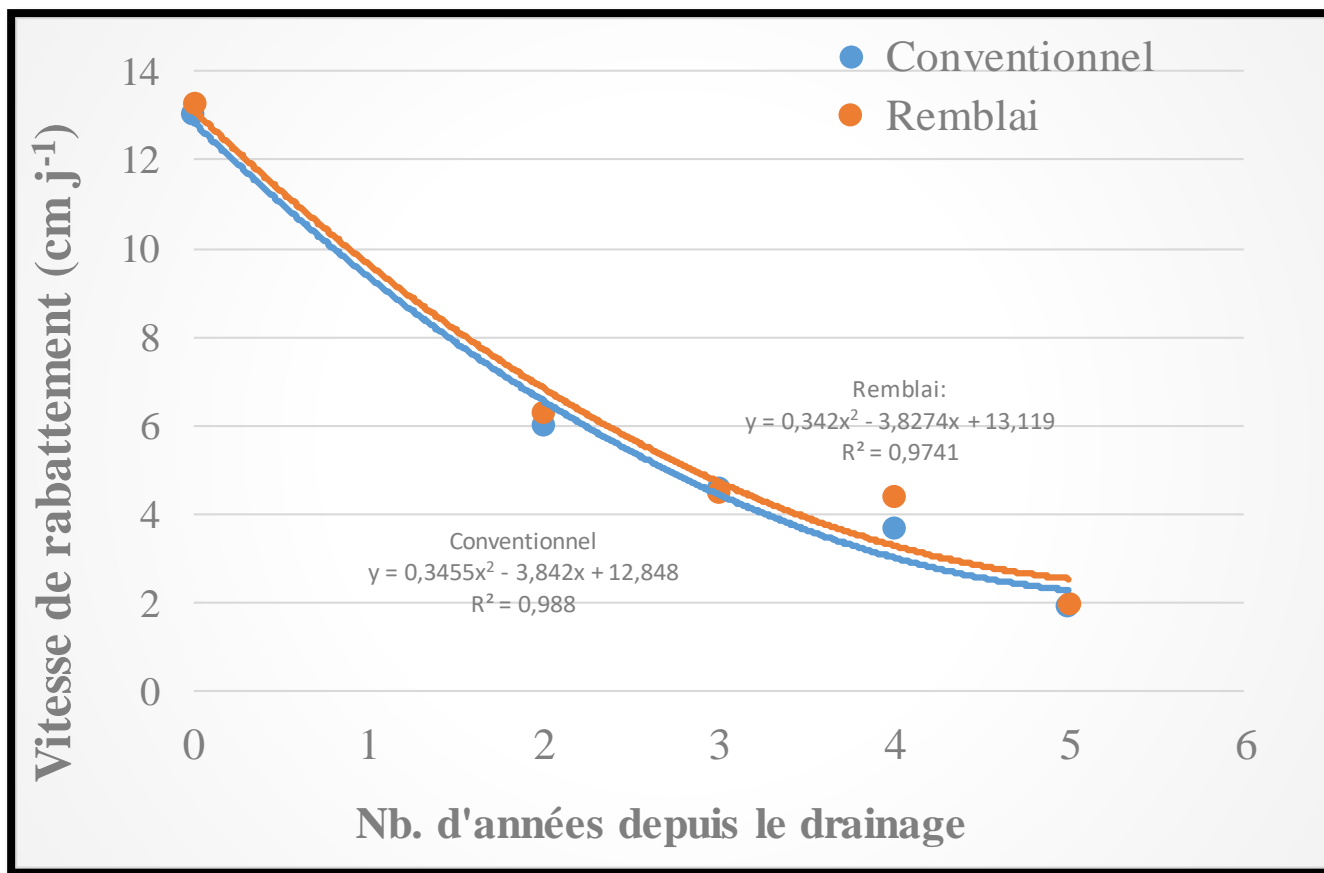
Moyenne des vitesses de drainage mesurées en 2011, 2013 et 2014 selon la méthode de drainage, en cm par jour (40 cm par jour)

	Conventionnel	Remblai
2011	13.0 ± 0.5	13.3 ± 0.5
2013	6.0 ± 0.2	6.3 ± 0.2
2014-PHVW	4.3 ± 0.4	4.5 ± 0.4
2014-Vert Nature	4.8 ± 0.3	4.5 ± 0.2
2014-Vert Nature-AT†	5.2 ± 0.5	4.3 ± 0.4
2014-Vert Nature-ST‡	4.4 ± 0.3	4.6 ± 0.3
2014-Vert Nature-AT	4.8 ± 0.3	
2014-Vert Nature-ST	4.5 ± 0.2	

†AT : Avec tranchée drainante

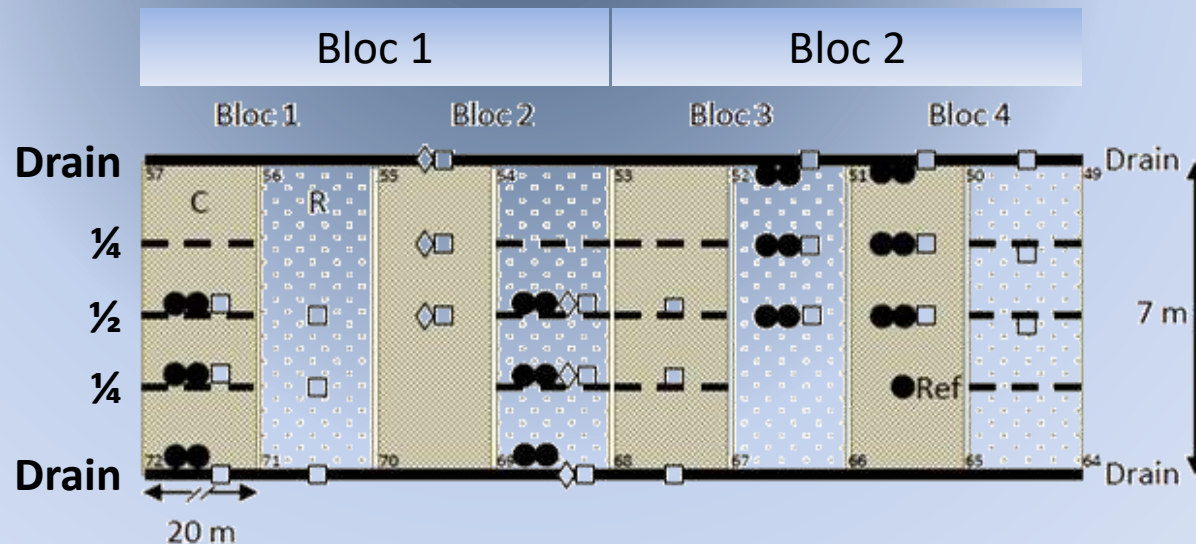
‡ST : Sans tranchée drainante

VOLET 1 DRAINAGE EN SOLS ORGANIQUES, MÉTHODE PAR CONTINUUM TEXTURAL



Résumé des résultats

- Différences mineures entre la méthode du remblai et la méthode conventionnelle
- En 2013: Diminution de plus de la moitié de la vitesse d'infiltration et du facteur de réaction



Présent



Recherche passée, présente et future

2007-2011

- Irrigation de la laitue, mesclun, épinard, oignons, cèleri
- Caractérisation des sols pour l'irrigation
- 1,8 M\$

2011-2013

- Optimisation du drainage
- Logiciel Agirrsol
- 0,6 M\$

2014-2019

- Cartographie des besoins de drainage
- Rotation et couches compactes
- 1,6 M\$

2016-2019

- Amendements et conservation des sols organiques (laboratoire)
- Caractérisation au laboratoire
- 0,9 M\$+0,2 M\$

2018-2023

- Amendements et conservation des sols organiques (champ)
- Caractérisation au champ
- 5,5 M\$

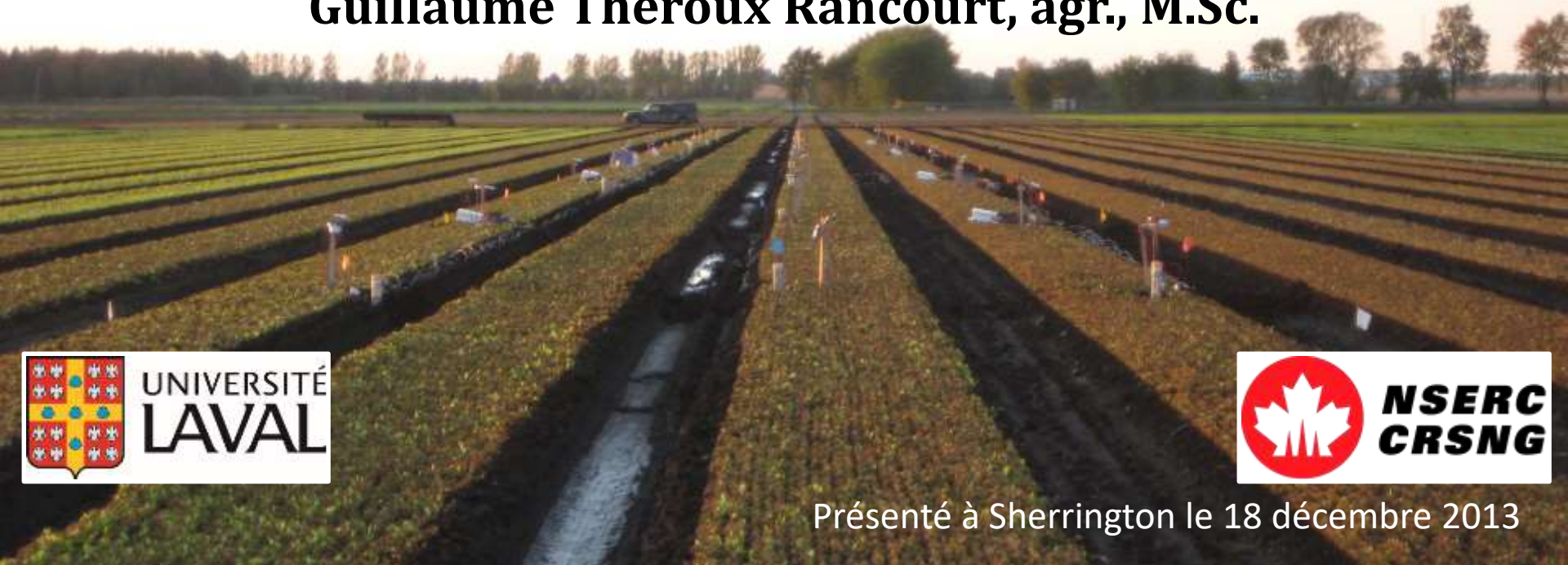
Drainage et infiltration de l'eau dans les sols organiques en maraîchage

Jean Caron, agr., Ph.D.

Silvio J. Gumiere, Ph.D.

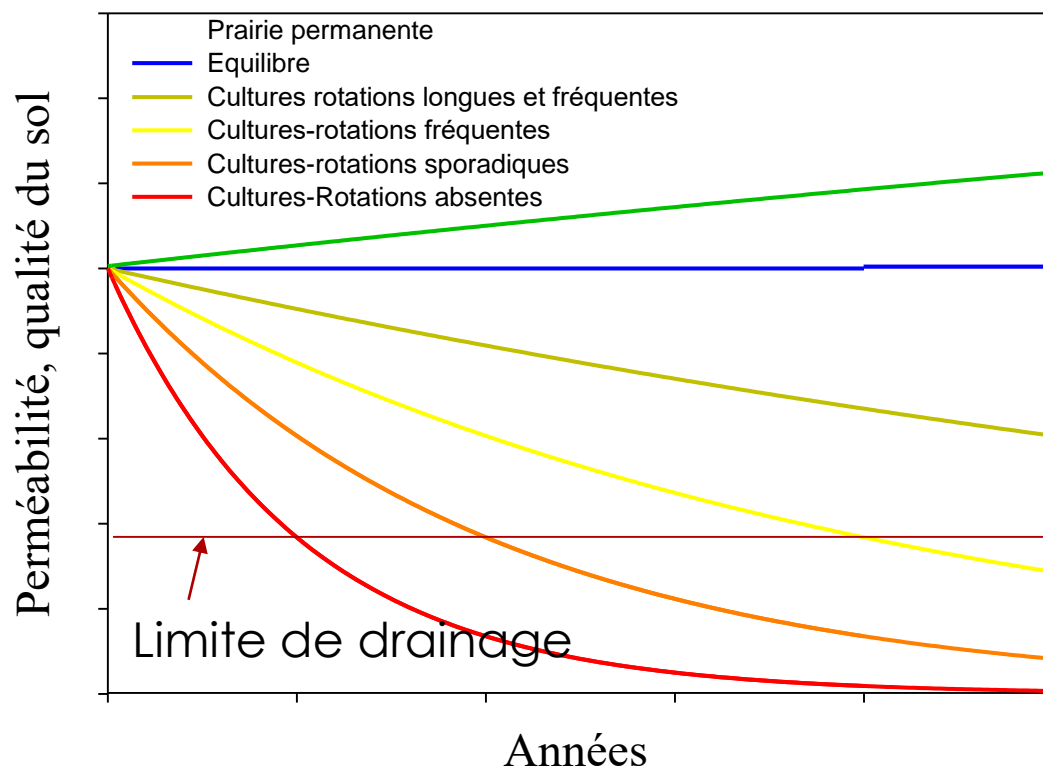
Jonathan Lafond, Ph.D.

Guillaume Thérroux Rancourt, agr., M.Sc.



Présenté à Sherrington le 18 décembre 2013

VOLET 2 : DRAINAGE ET ROTATION DE CULTURE



VOLET 2 : DRAINAGE ET ROTATION DE CULTURE

➤ Hypothèse:

L'introduction de plantes compagnes à enracinement abondant et profond pour au moins une année complète au champ permettra d'améliorer substantiellement l'infiltration d'eau au cours des années subséquentes.

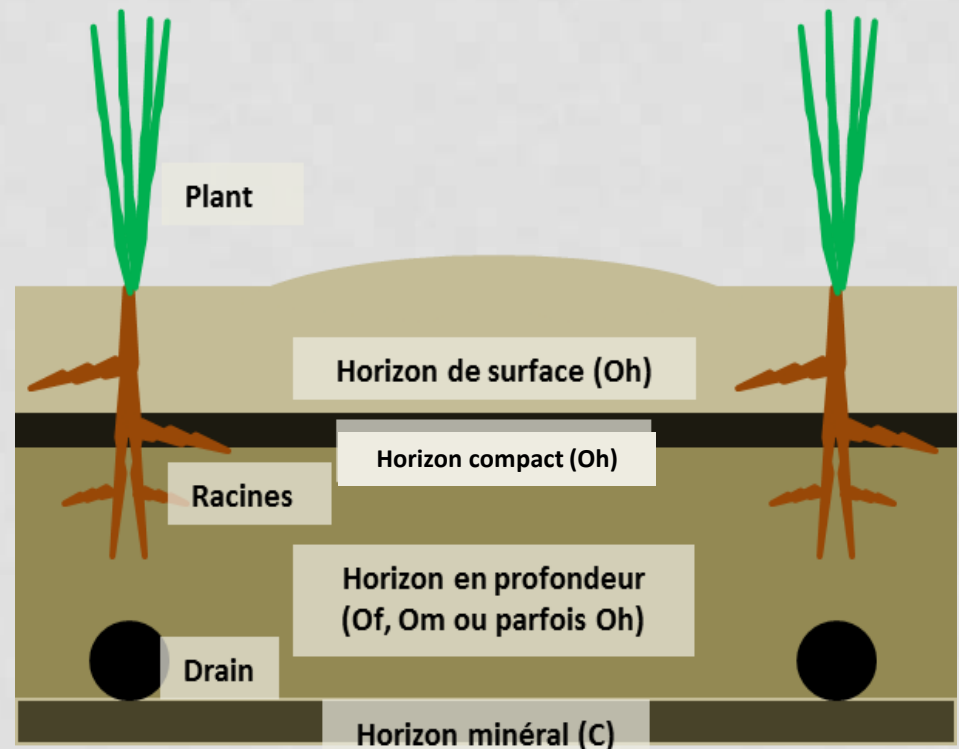


Schéma en coupe transversale du dispositif d'amélioration du drainage à l'aide de plantes compagnes.

Objectifs principaux

- **Améliorer le drainage** des sols organiques dans une perspective d'utilisation durable des sols agricoles et de l'eau
- **Comprendre** au champ l'origine du phénomène de **mauvais drainage** et de formation de l'**horizon compact**
- **Évaluer différentes plantes compagnes** comme méthode amélioratrice du drainage et de la structure du sol
- Limiter la dégradation des sols par une **cartographie des zones compactes et sensibles à la compaction**
- Contribuer à la **conservation des sols organiques** en permettant l'utilisation agricole la plus durable possible des sols organiques dans des conditions optimales d'humidité du sol et de degré de compaction tout en favorisant les rendements des plantes cultivés.



Calendrier préliminaire

	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
1: Drainage en sols organiques, méthode par continuum textural	■				
2: Drainage en sols organiques, méthodes des plantes compagnes	■ Suivi de l'établissement				
			■ Suivi de la décroissance		
3: Cartographie et caractérisation spatiale des zones de compaction		■			
4: Modélisation de systèmes de drainages		■			
5: Intégration des connaissances à l'échelle de l'entreprise (AGIRRSOL)			■		

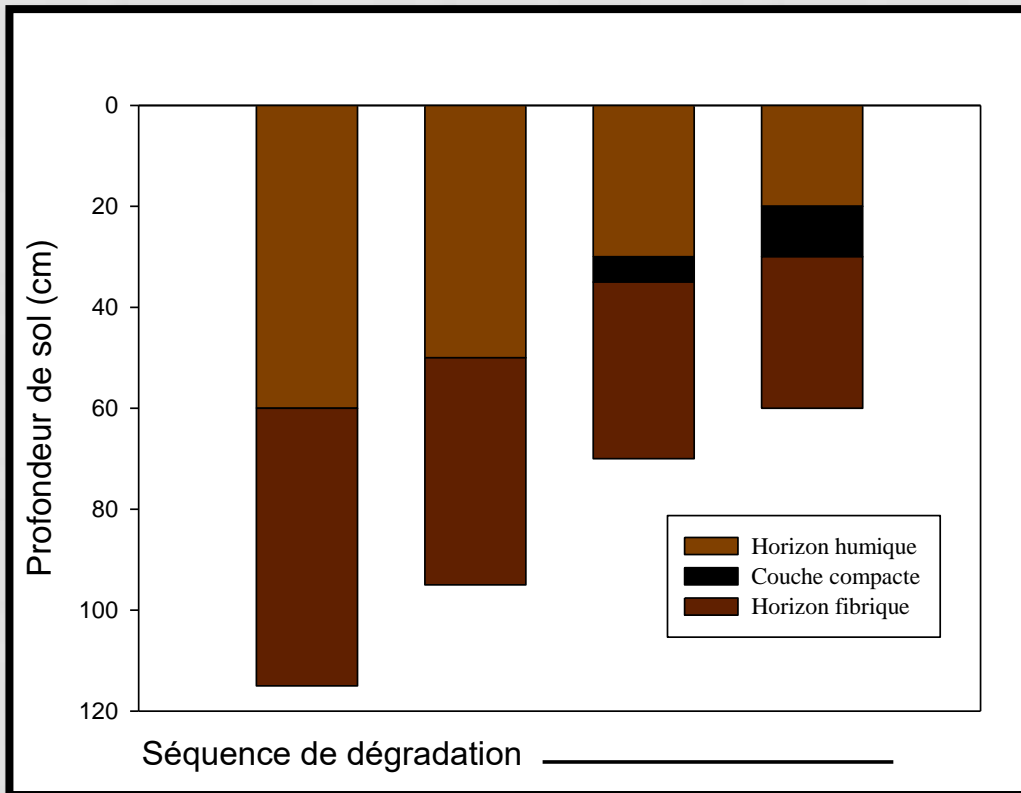


Futur



LA PROBLÉMATIQUE DU DRAINAGE EN SOLS ORGANIQUES

➤ La couche compacte



migration de matières organiques et de particules fines (fortement hydrophobique) dans le profil de sol

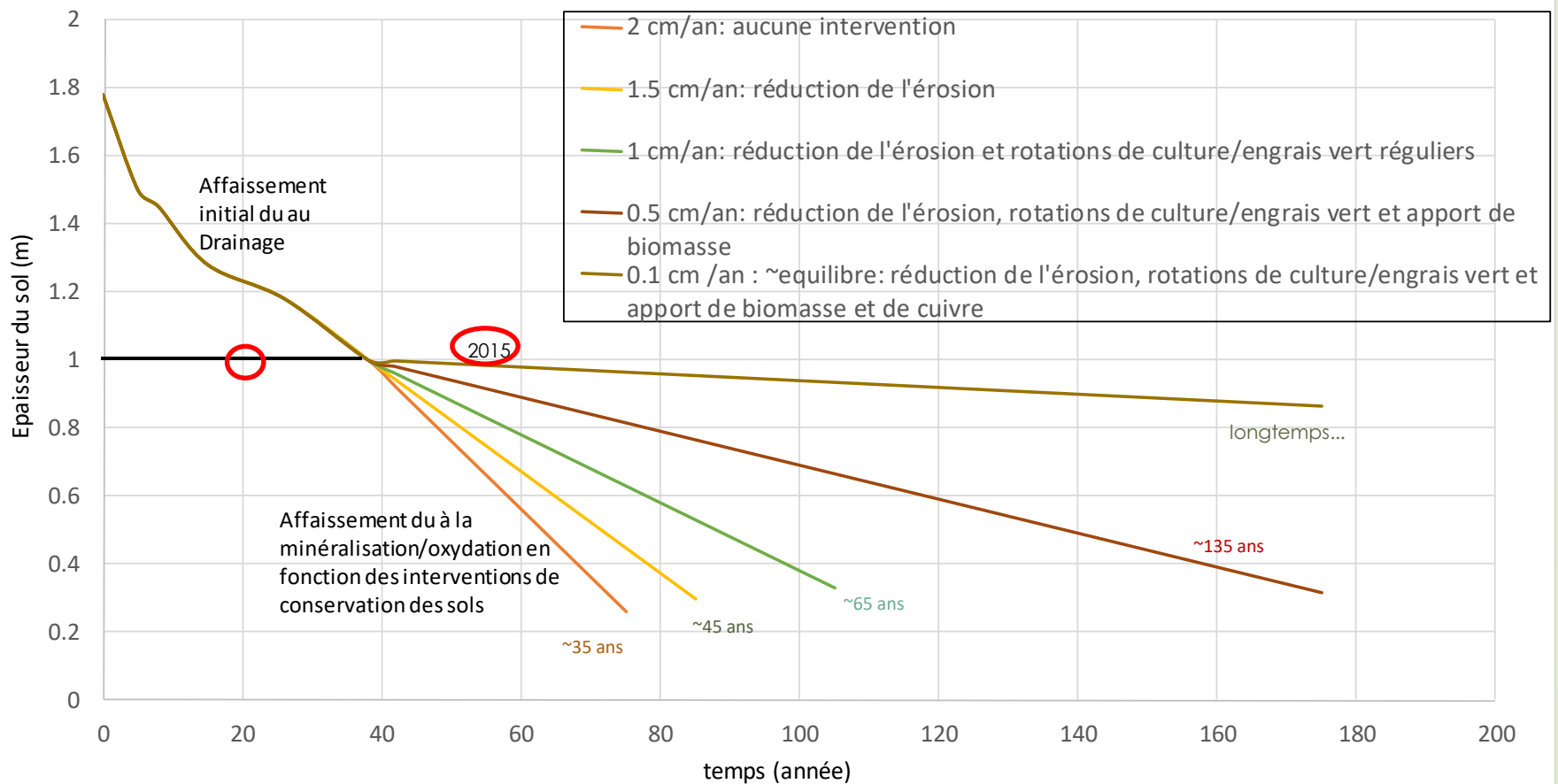
Création d'une stratification verticale dans le profil de sol:
Discontinuité texturale entre l'horizon arable et l'horizon fibrique

- Création d'une barrière physique:
- Réduit la pénétration racinaire
 - Réduit la remontée capillaire
 - Modifie la conductivité hydraulique verticale
 - Favorise l'apparition de nappe perchée

Mise à jour sur le nouveau projet CSOM

Rappel de la problématique

Modèle d'affaissement d'un sol organique



30 ans pour agir !

- Les sols minéraux se régénèrent à un rythme d'environ 7 t/ha/an
- Ce n'est pas le cas des sols organiques qui perdent annuellement de 0,3 à 4 cm de sol et qui ne se régénèrent pas.
- La production en sols organiques est de ce fait appelée à disparaître dans les 30 à 70 prochaines années si aucun effort n'est fait pour la conservation de ces sols.
- Il est urgent d'investir dans le développement durable des sols organiques afin de maintenir ce capital de production majeur pour l'industrie agroalimentaire du Québec.

Le cout annuel élevé de la dégradation

La valeur des terres noires en culture est évaluée environ à 44 000 \$ par hectare, et le secteur Montérégie Ouest compte environ 10 000 ha en terres noires, dont la moitié en production agricole pour un total de **220 millions de dollars**.

Pertes annuelles de (1-2 cm par an, durée de vie 50 ans) donc de 4.4 M\$ par an, excluant la valeur d'entreprise.

44,000\$ par an pour une ferme de 100 ha.

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 carbone 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.

Efforts financiers et progrès accomplis

2007-2011

- Irrigation de la laitue, mesclun, épinard, oignons, cèleri
- Caractérisation des sols pour l'irrigation
- 1,8 M\$

2011-2013

- Optimisation du drainage
- Logiciel Agirrsol
- 0,6 M\$

2014-2019

- Cartographie des besoins de drainage
- Rotation et couches compactes
- 1,6 M\$

2016-2019

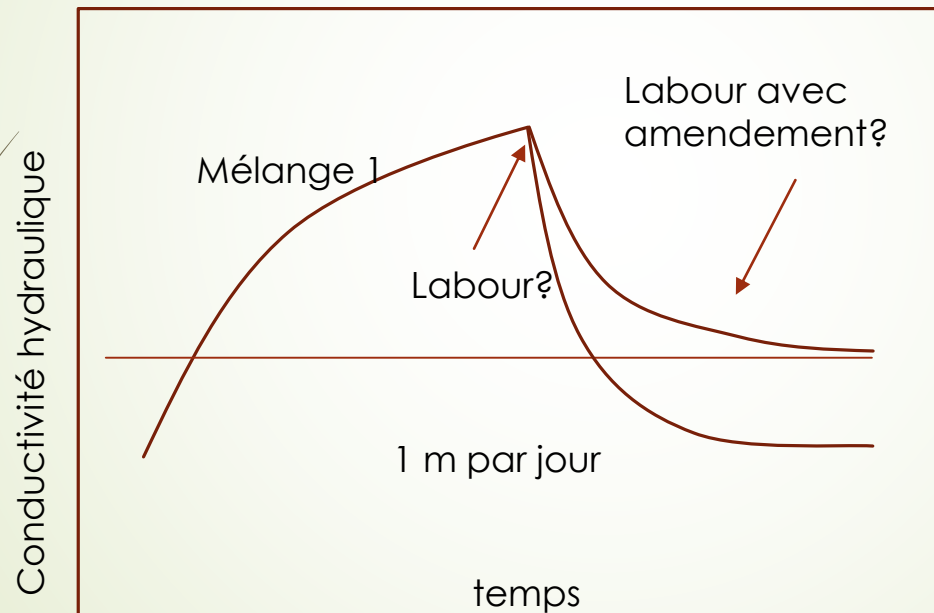
- Amendements et conservation des sols organiques (laboratoire)
- Caractérisation au laboratoire
- 0,9 M\$ + 0,2 M\$

2018-2023

- Amendements et conservation des sols organiques (champ)
- Caractérisation au champ
- 5,5 M\$

Projet de Chaire en conservation des sols organiques

► Rappel de la problématique



Premiere phase du projet de conservation

- **Projet Biomasse en serre.** Ce projet permettra d'investir rapidement SYNERGIE
- **Objectif:** Evaluer la possibilité d'utiliser la biomasse pour contrecarrer les pertes par oxydation et érosion et en estimer les doses minimales requises

	2016- 2017	2017- 2018	2018- 2019
Volet 1 : Caractériser l'évolution des propriétés hydrologiques des sols			
Essais en serres pour caractériser les propriétés de drainage et de rétention d'eau avec différents types et doses d'amendement et de cuivre			
Volet 2 : Caractériser l'impact sur la fertilité des sols			
Essais en serres pour caractériser l'impact des différents types et doses d'amendement sur la disponibilité des nutriments			

Efforts financiers et progrès accomplis

2007-2011

- Irrigation de la laitue, mesclun, épinard, oignons, cèleri
- Caractérisation des sols pour l'irrigation
- 1,8 M\$

2011-2013

- Optimisation du drainage
- Logiciel Agirrsol
- 0,6 M\$

2014-2019

- Cartographie des besoins de drainage
- Rotation et couches compactes
- 1,6 M\$

2016-2019

- Amendements et conservation des sols organiques (laboratoire)
- Caractérisation au laboratoire
- 0,9 M\$+0,2 M\$

2018-2023

- Amendements et conservation des sols organiques (champ)
- Caractérisation au champ
- 5,5 M\$

Concepts

- Utiliser des zones dégradées pour cultiver miscanthus, panic érigé ou saule
- La biomasse produite 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.

Projet audacieux et visionnaire

Le projet s'élève à environ 5,5 millions (montant provisoire) pour une chaire en conservation des sols organiques.

Les cinq partenaires-producteurs du projet actuel investissent déjà Recherche un appui financier supplémentaire en cours de négociation **(250,000\$ par an)**

Deux scénarios envisagés:

1- Entreprises additionnelles (4-5)

- Caractérisation de leur site
- Des essais chez eux
- Une information personnalisée intégrée en logiciel de gestion Agirrsol

2-Appui de l'association des producteurs maraichers (APMQ) ou d'une autre structure appropriée. Discussion en cours (UPA, MAPAQ, APMQ).

Les producteurs seront consultés prochainement sur l'opportunité de se donner un Fonds de recherche et développement

Entreprises partenaires

Réunion d'information pour les intéressés

- 19 décembre 2016 13h30
- La salle du centre LOUIS GEORGE LAMOUREUX
224 des loisirs, Sherrington
- Info: jean.caron@fsaa.ulaval.ca

Merci!!

