



LES *Journées*
HORTICOLES & GRANDES CULTURES



Dernières avancées en termes d'aération et de drainage des sols organiques

Par Jean Caron¹, Y. Gomez, K. Smith, V. Grégoire, D. Bulot, K. Bourdon, C. Boily, L. Thériault, R. Deragon

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

5 décembre 2023

Plan de la présentation

- Facteurs de dégradation
- Conséquences agronomiques sur l'aération et le drainage
- Solutions
- Recommandations
- Conclusions

Mécanismes de dégradation : le vent, la décomposition du sol organique, l'affaissement et la compaction

Bilan provisoire de dégradation des 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

Comment se forme et évolue le sol ?

Évolution en cours des sols organiques dans la région de Sherrington

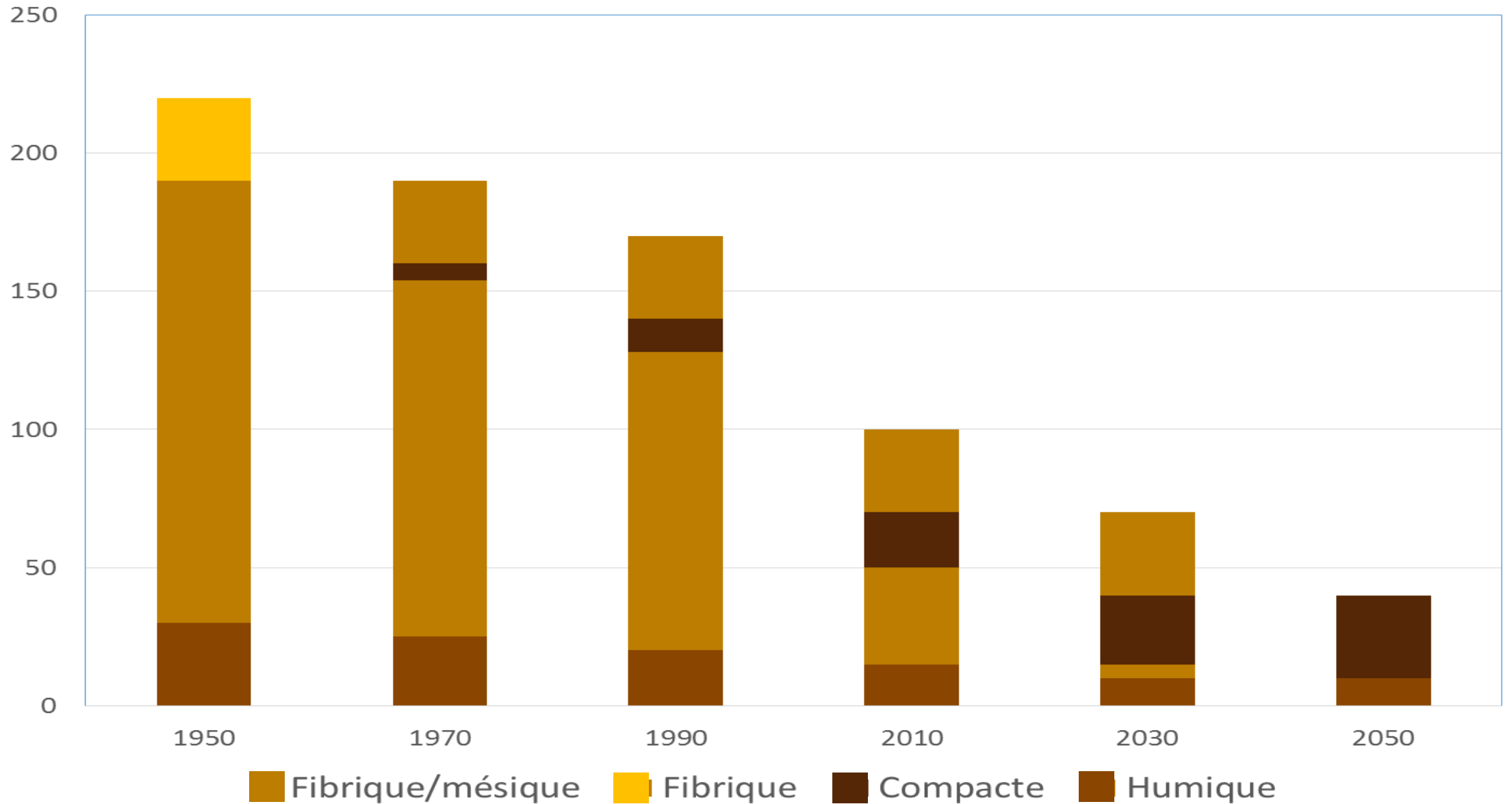


Tableau 1-Type de sols utilisés pour les expériences en serre.

Mélange	
1	Sols se drainant bien, meilleurs rendements, sols plus jeunes
2	Entre deux
3	Sols moins bien drainés, sols plus vieux
4	Sols très décomposés, très vieux, bordure de champ et Floride

Tableau 2-Valeurs des paramètres statiques et dynamiques pour différents degrés de décomposition de sol organique.

Niveau de décomposition		Unité	Statiques		Dynamiques					
			Porosité totale	Porosité d'air à 5 kPa	Conductivité saturée		α (non saturée)			
			$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$		$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$		cm s^{-1}		cm^{-1}	
	Jeune	1	0.89	A	0.27	A	0.064	A	0.073	A
	Intermédiaire	2	0.91	A	0.22	B	0.044	A	0.07	AB
	Vieux	3	0.84	B	0.12	C	0.018	B	0.063	B
	Très vieux	4	0.79	C	0.08	D	0.012	B	0.044	C

No de champ	Croissance	Porosité totale	MVA
		$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	g cm^{-3}
280	plus faible	0.76	0.38
302	bonne	0.82	0.28

Développement racinaire d'un semis de laitue romaine en sol compact et non compact

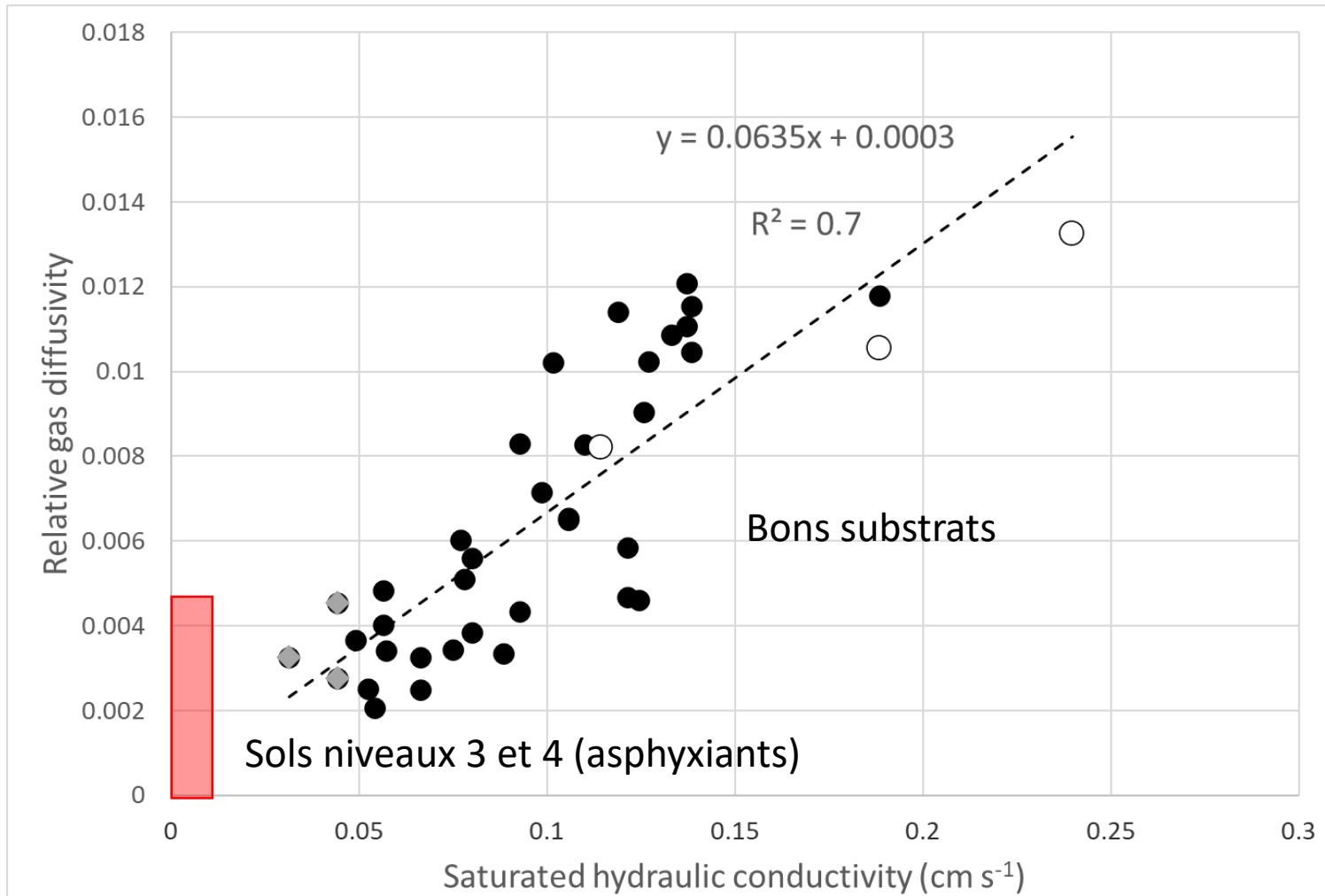


Compact semis

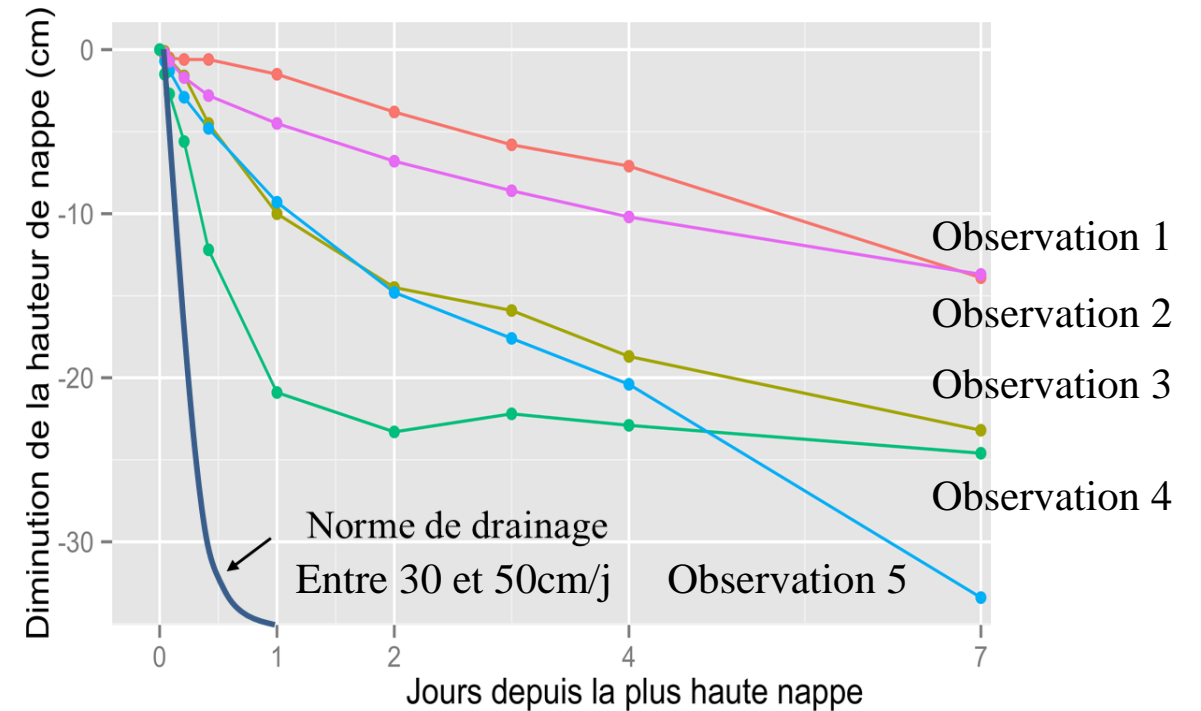


Sol profond semis

Chute de
conductivité
hydraulique
saturée
et chute de
diffusivité des
gaz en sols
organiques



CONSTAT → MAUVAIS DRAINAGE DES TERRES PROBLÈME IDENTIFIÉ → EXISTENCE D'UNE COUCHE COMPACTE



Plan de la présentation

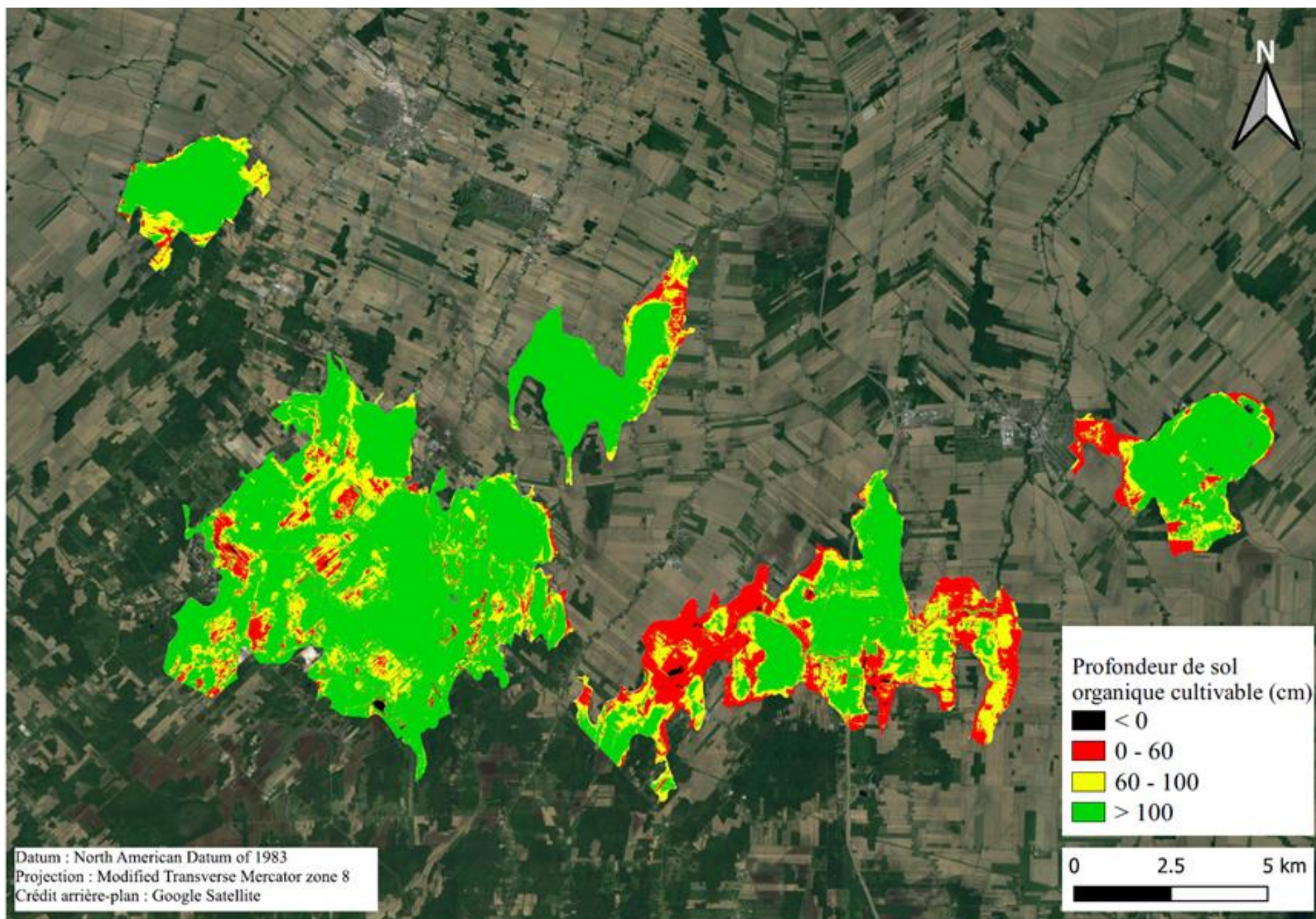
- Facteurs de dégradation
- Conséquences agronomiques sur l'aération et le drainage
- Solutions
- Recommandations
- Conclusions



Conservation et restauration des sols organiques

Processus dominants : où agir?

- Cartes d'intervention
- 60% des terres ont 100 cm et plus: ça va bien aller encore, contrôler l'érosion
- 24% des terres ont de 60 à 100 cm: conserver la hauteur, la structure et maintenir le drainage
 - Amender à 10-15 t par ha par an pour maintenir la hauteur
 - Contrôler l'érosion éolienne avec un brise-vent,
 - Problème d'affaissement (aération) si types 3 ou 4
 - Problème de drainage si apparition d'une couche compacte ou d'un Ksat initial faible
 - Cartographie de la couche compacte
 - Évaluation des Ksat à différentes profondeurs
 - Carte de drainage basée sur une intervention localisée, avec ou sans tranchées drainantes, avec ou sans bandes de saules
 - Sols de type 2 et 3, mais à drainage allant d'excellent à imparfait (couche compacte) : problème de drainage surtout
- 16 % des terres < 60 cm : types 3 et 4 (problème d'aération et de drainage), à restructurer



Carte régionale de zones de gestion des sols organiques basées sur deux seuils de profondeur de sol cultivable : 60 et 100 cm. (Deragon, 2021)



Affaissement à 60 cm et moins

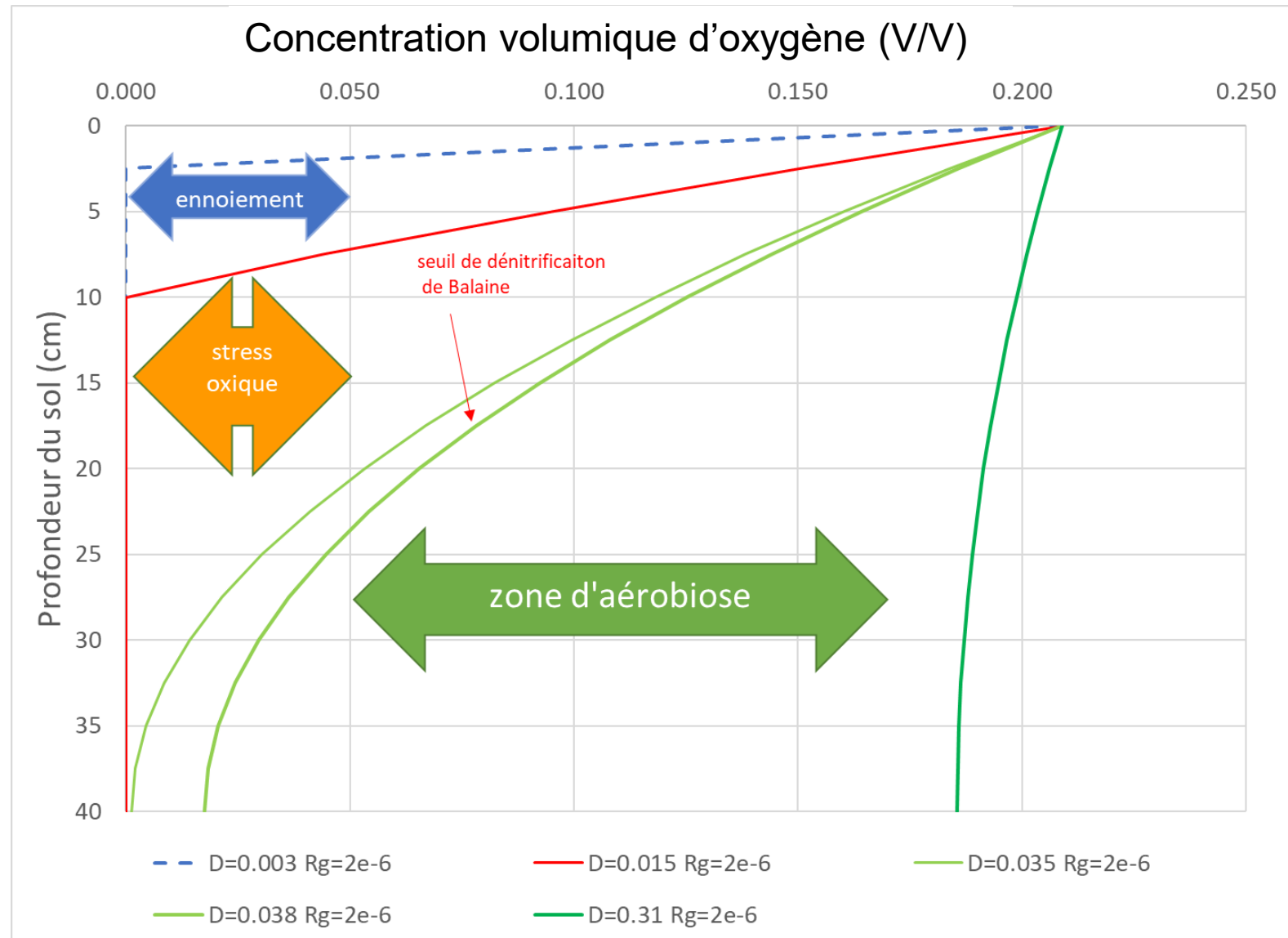
- Densification rapide avec l'évolution en classe 1, 2, 3 et 4
- On passe en classe 3 et 4 : perte de porosité drainable, perte de conductivité hydraulique saturée, perte d'aération, perte de diffusivité des gaz
- Diagnostics d'aération et caractérisation de l'état de surface nécessaires
 - Restructurations possibles par amendement (30 tonnes par hectare et plus avec forts risques d'immobilisation et de dénitrification confirmés) : travaux supplémentaires nécessaires
 - **Utilisation possible comme zone de production de biomasse : saule surtout, miscanthus pourrait être difficile à planter.**
 - **Si retournés en sols de production de biomasse, permettre la restructuration et la réutilisation du sol**
 - **Permettre la production de biomasse pour amender les sols de type 3 et les sols de 60 à 100 cm d'épaisseur**



Affaissement et perte d'aération : comment l'identifier

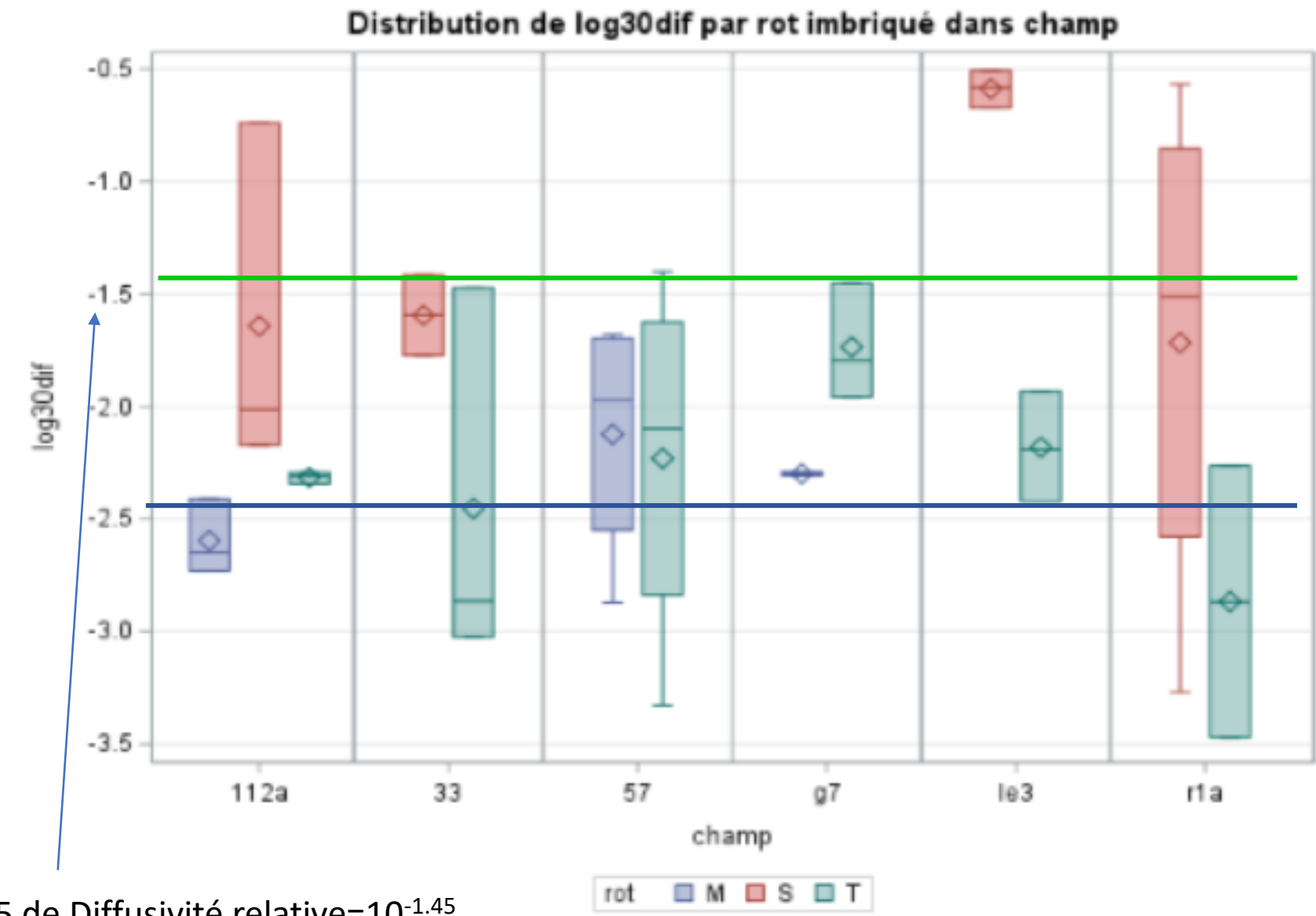
- Porosité d'air : mesure le stock d'air dans le sol
- Concentrations en oxygène
- Profil d'oxygénation : modélisation et prévisions à partir du taux respiratoire et de la diffusivité relative des gaz

Charte
d'interprétation avec
valeur de seuil
($D_s/D_o=0.035$).
À partir de cette
valeur, les 40
premiers cms vont
tomber en stress
d'oxygène





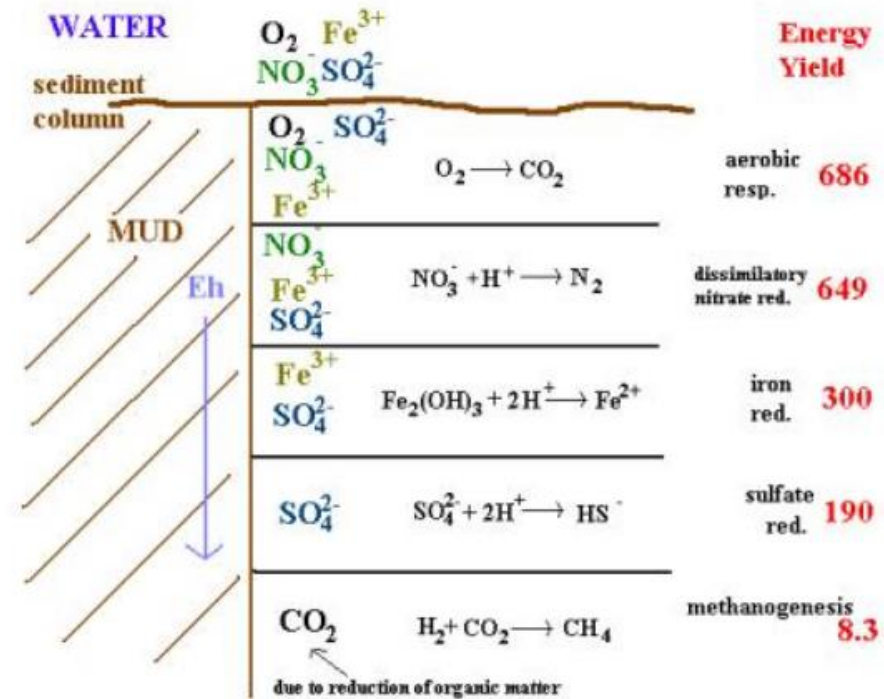
Effet des rotations longues (mischanthus (M) et saule (S) sur la diffusivité des gaz de la couche compacte en sols minces par rapport au témoin (T))



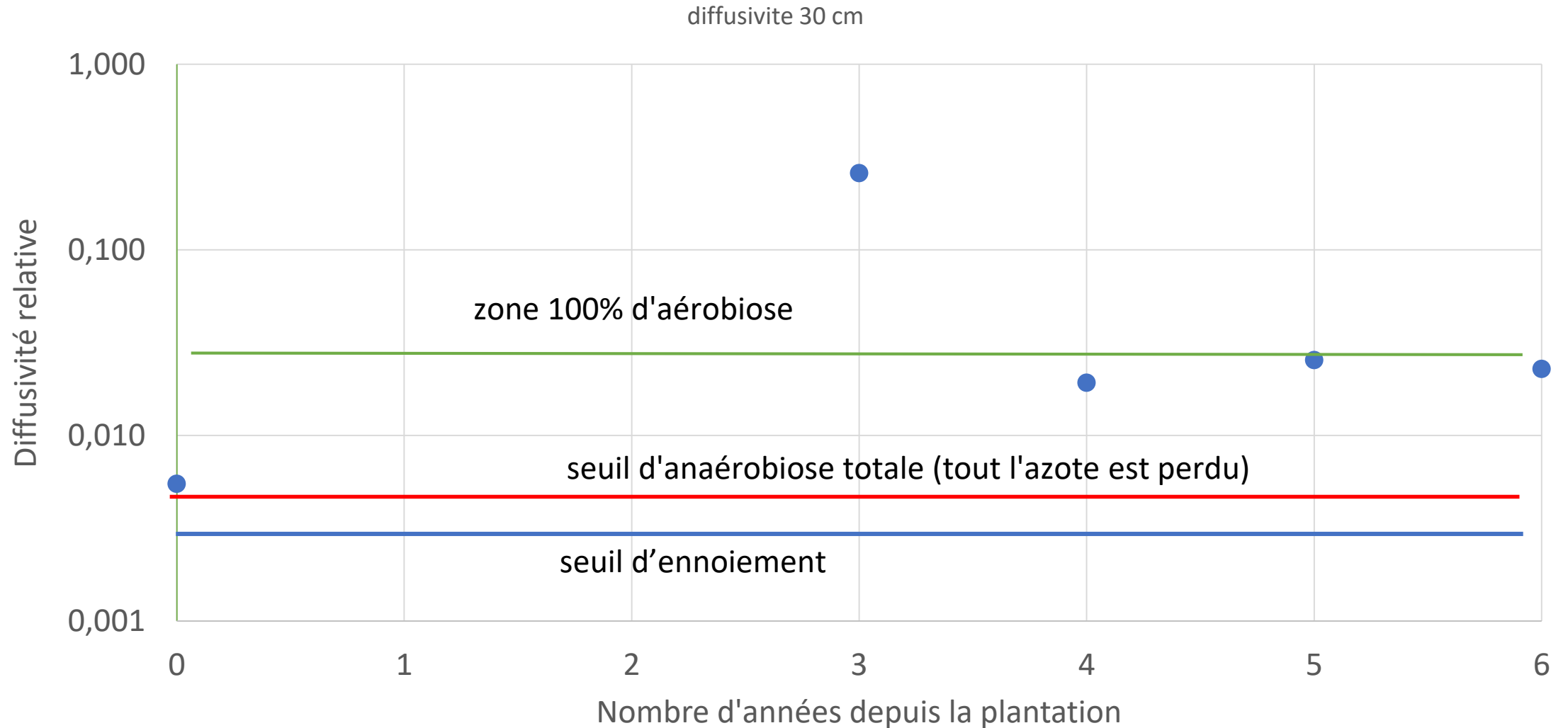
0.035 de Diffusivité relative = $10^{-1.45}$

Séquence
d'utilisation des
gaz durant la
respiration
microbienne

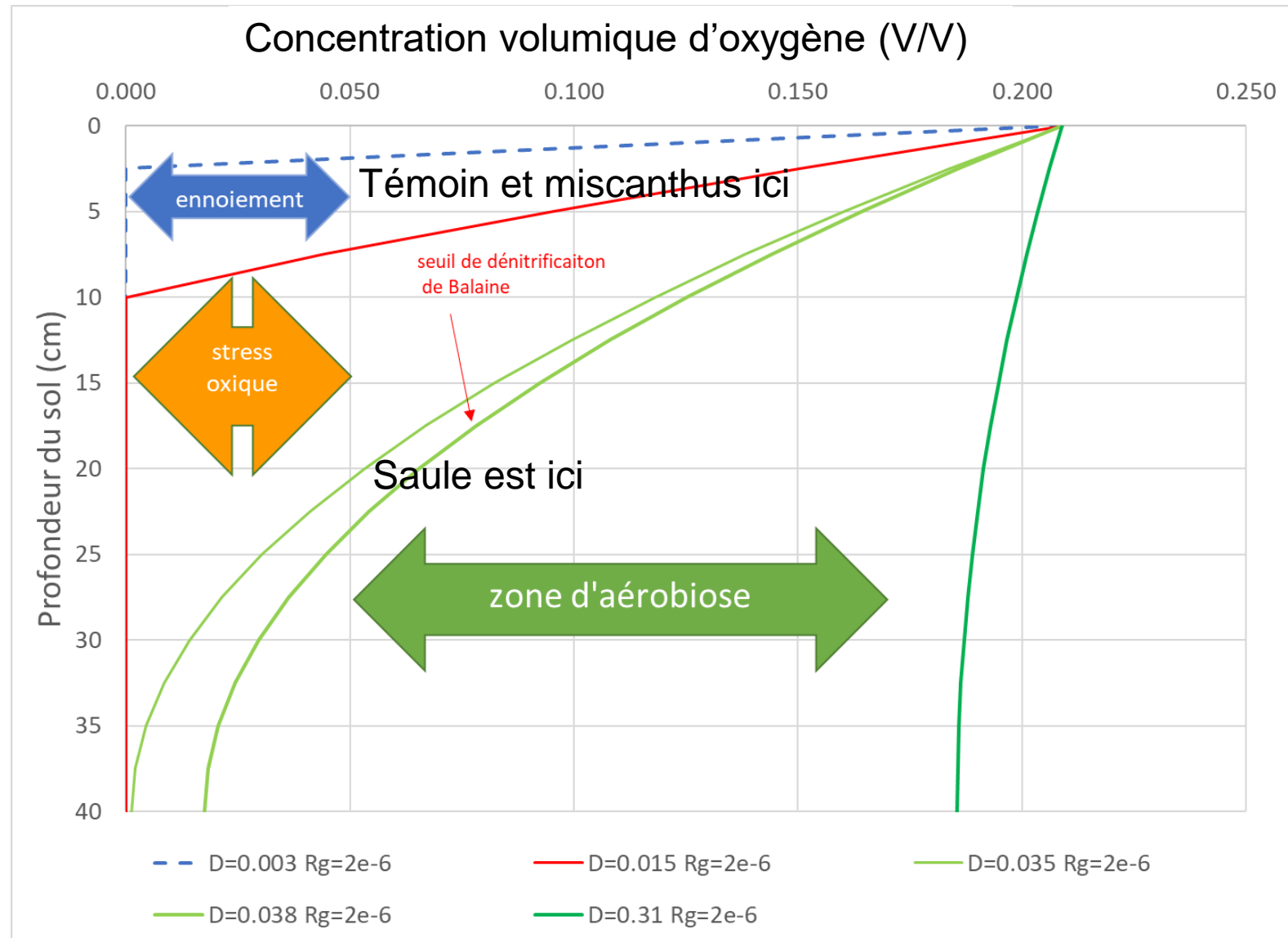
Oxidation of organic matter



Rythme d'amélioration de la diffusivité des gaz en fonction du nombre d'années en production de saule



Charte
d'interprétation avec
valeur de seuil
($D_s/D_o=0.035$).
À partir de cette
valeur, les 40
premiers cms vont
tomber en stress
d'oxygène





Conservation et restauration des sols organiques

Processus dominants : où agir ?

- Cartes d'intervention
- 60% des terres ont 100 cm et plus: ça va bien aller encore, contrôler l'érosion
- 24% des terres ont de 60 à 100 cm:
 - contrôle de l'érosion,
 - Problème d'affaissement si types 3 ou 4
 - Problème de drainage si apparition d'une couche compacte ou d'un Ksat initial faible
 - Cartographie de la couche compacte
 - Évaluation des Ksat à différentes profondeurs
 - Carte de drainage basée sur une intervention localisée, avec ou sans tranchées drainantes, avec ou sans bandes de saules
- Sols de type 2 et 3 mais à drainage allant d'excellent à imparfait (couche compacte): problème de drainage surtout
- 16 % des terres < 60 cm: types 3 et 4 (problème d'aération et de drainage)

Plan de la présentation

- Facteurs de dégradation
- Conséquences agronomiques liées à l'aération et au drainage
- Solutions
- Recommandations
- Conclusions

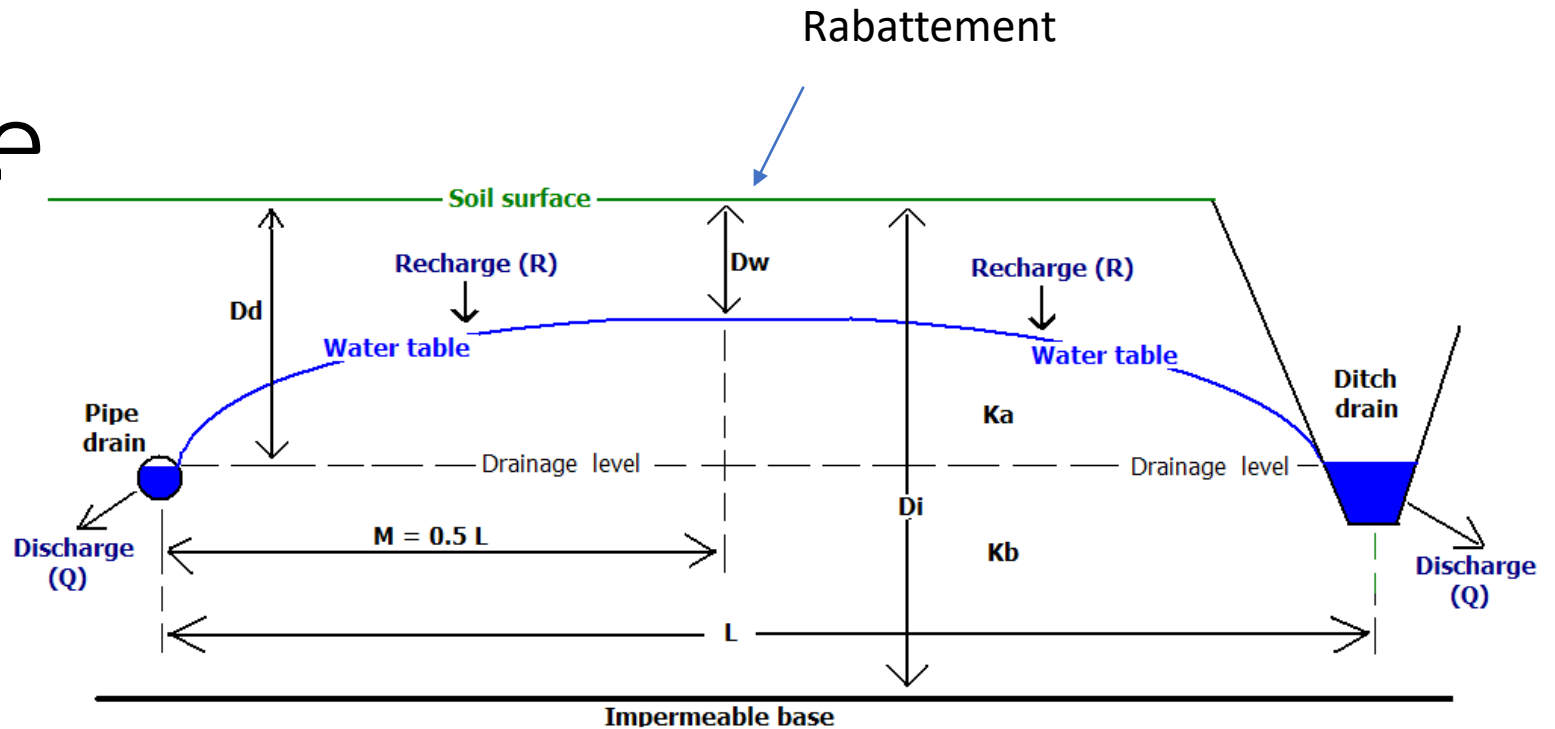
Solutions envisagées

- Rotations longues (2 ans annuelles)
- Amendements de surface
- Doublement des drains
- Sous-solage
- Tranchées drainantes
- Haies de saule



Deux critères de comparaisons

- Le rabattement de la nappe
- La conductivité hydraulique saturée (K_{sat} ou K_a)



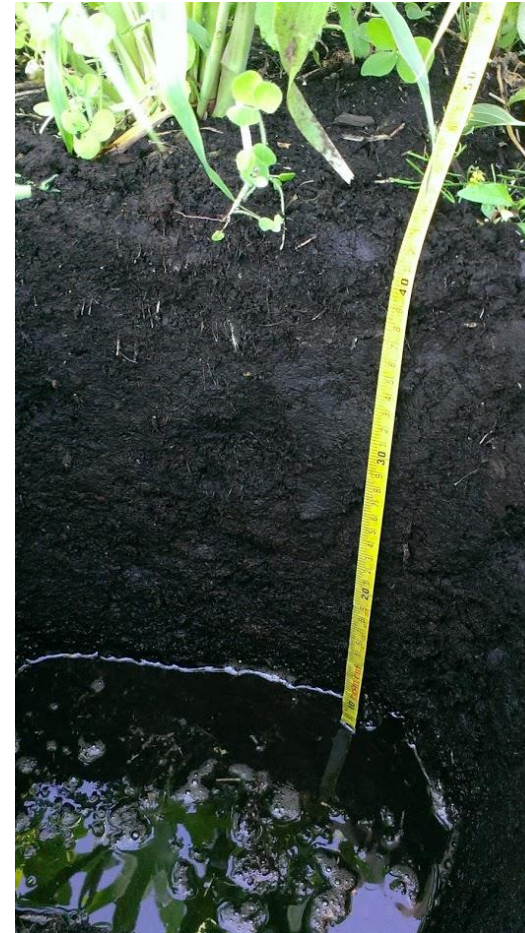
Geometry subsurface drainage system by pipes or ditches

D = depth K = hydraulic conductivity L = Drain spacing

By R.J.Oosterbaan at English Wikipedia - Transferred from en.wikipedia to Commons., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8962969>

Décompactation par les racines (Laura Thériault)

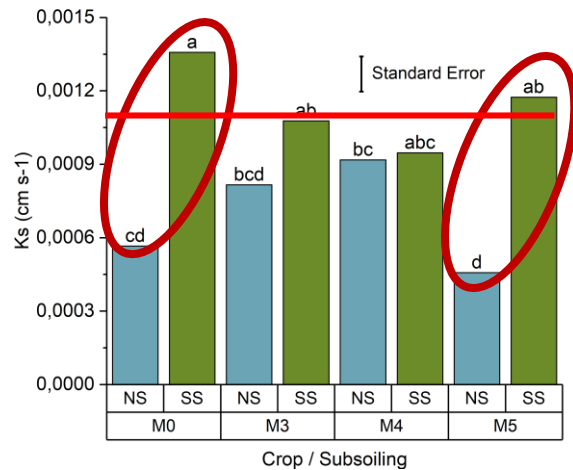
- Hypothèse que les racines de plantes pourraient traverser la couche compacte et améliorer l'infiltration (Hallema et al, 2015).
- Bons résultats en sols minéraux compactés (Meek and al., 1990 ; Gulick and al., 1994).
- Rien n'a été fait en sols organiques



Résultats – Conductivité hydraulique Printemps 2017

Effets significatifs du Ks en surface sur les deux sites au printemps de la 3^e année avant le travail du sol.

Site légèrement dégradé : Effet sous-solage × rotation (p=0,05)



Mélanges annuels

M0

Laitue (contrôle).

M3

Mélange avec radis tillage, trèfle et raygrass.

M4

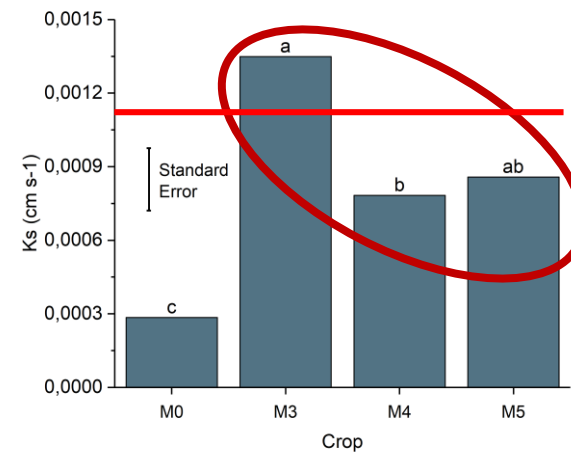
Maïs avec vesce commune en intercalaire.

M5

Sorgho avec féverole en intercalaire.

Ligne pointillée : Norme de drainage Ks = 1 m/jour

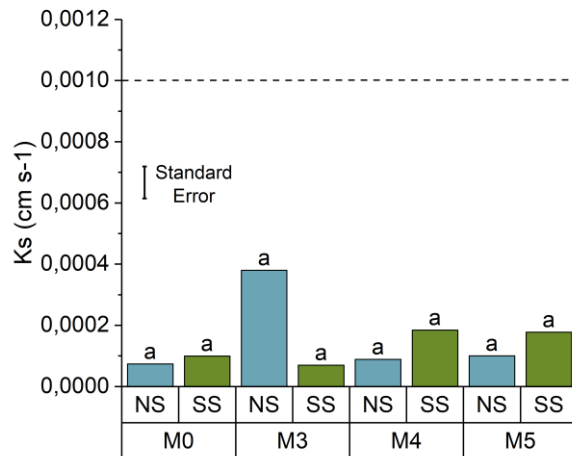
Site moyennement dégradé : Effet rotation (p<0,01)



Résultats – Conductivité hydraulique Été 2017

Les effets significatifs trouvés en 2016 sont complètement disparus au milieu de l'été 2017.

Site légèrement dégradé :
Aucune différence



Mélanges annuels

M0

Laitue (contrôle).

M3

Mélange avec radis tillage,
trèfle et raygrass.

M4

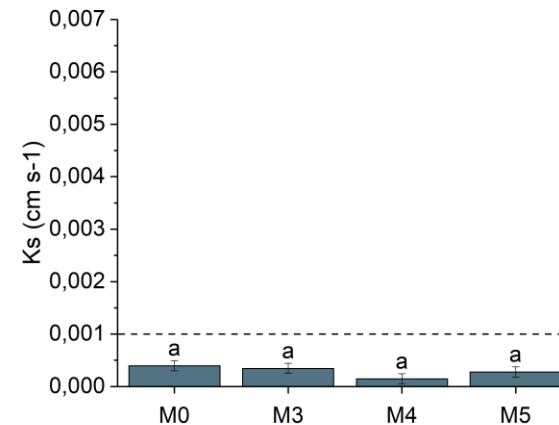
Maïs avec vesce commune
en intercalaire.

M5

Sorgho avec féverole en
intercalaire.

Ligne pointillée : Norme de
drainage Ks = 1 m/jour

Site moyennement dégradé :
Aucune différence

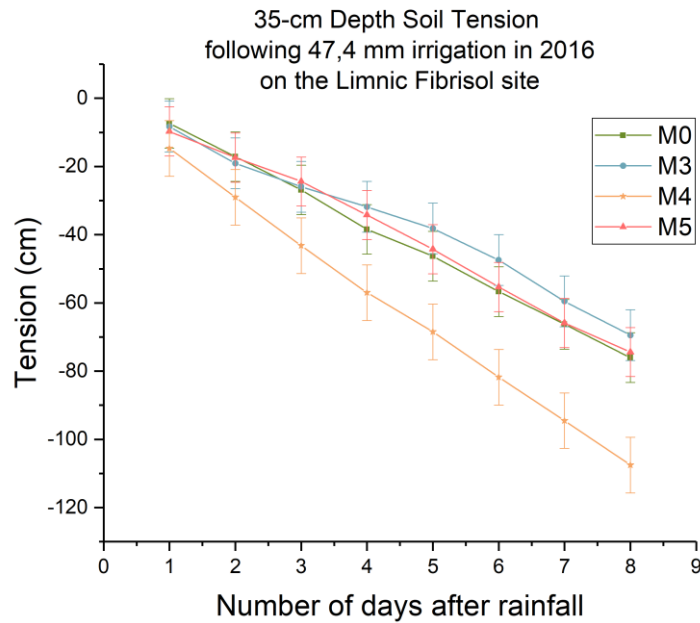




Résultats – Tensions

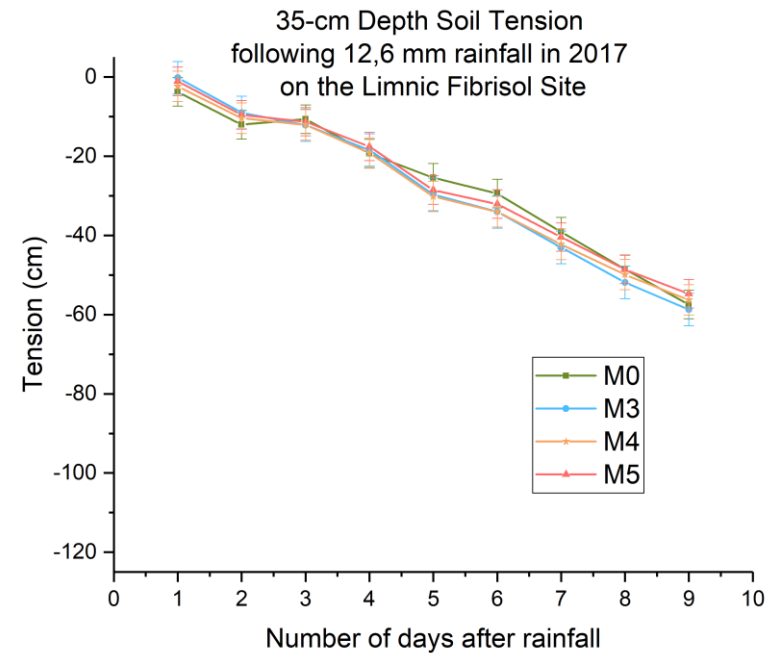
2016 – 47,4 mm d'irrigation

- Effet de la rotation en surface et en profondeur
- Contribution de l'évapotranspiration du maïs



2017 – 12,6 mm de pluie

- Aucun effet des rotations sur la tension



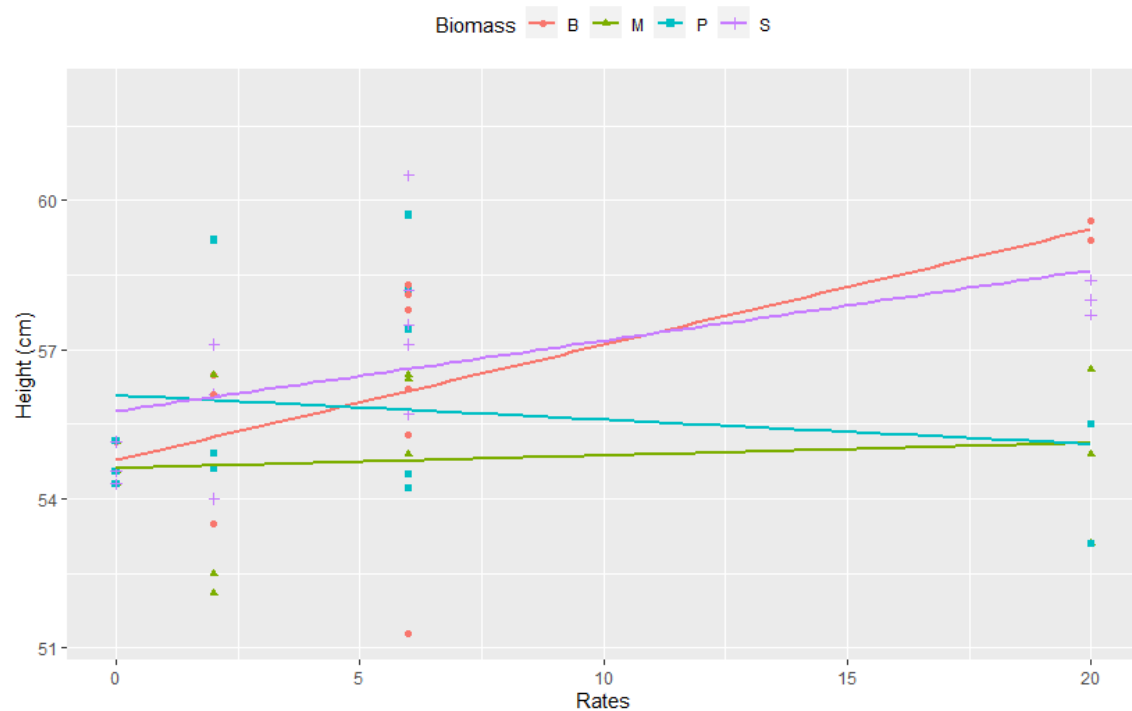
Solutions envisagées

- ✓ Rotations longues (2 ans annuelles)
- Amendements de surface
- Doublement des drains
- ✓ Sous-solage
- Tranchées drainantes
- Haies de saule



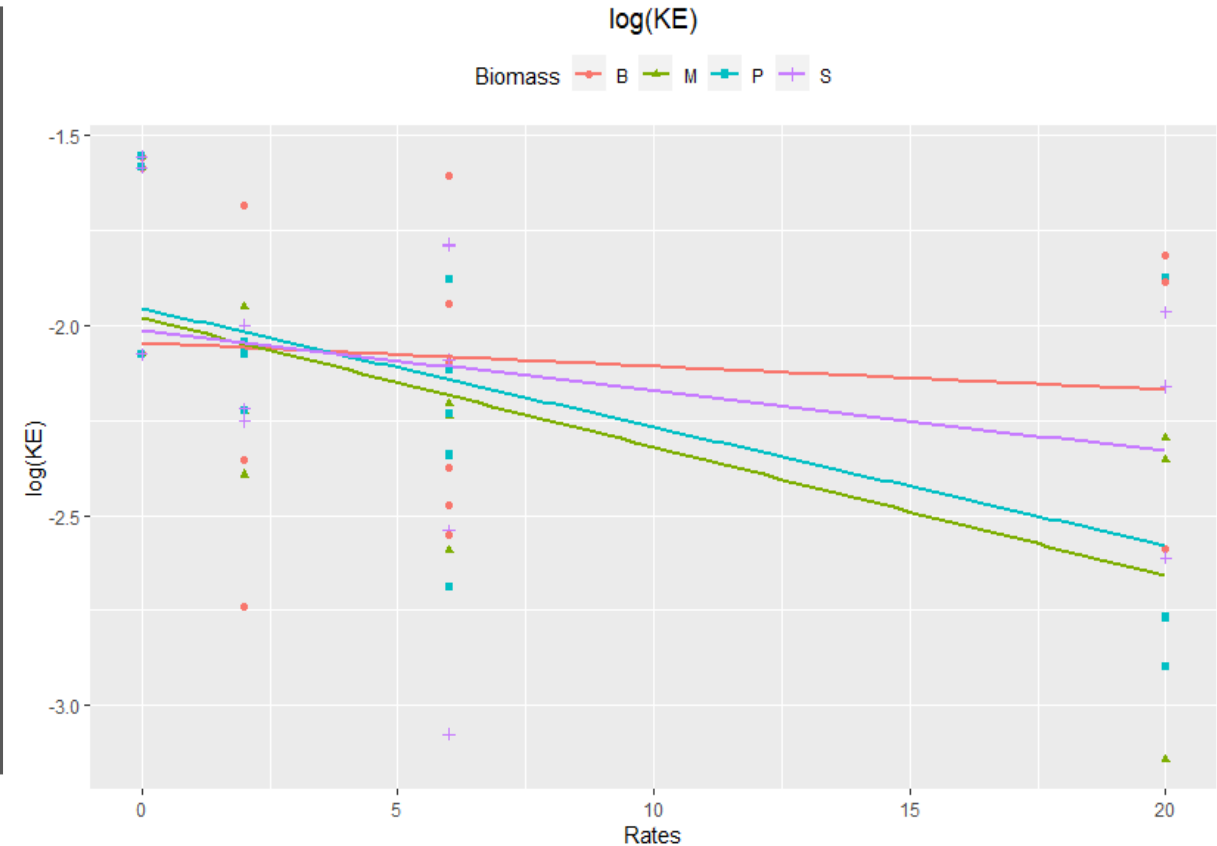
Effets des amendements sur la hauteur de sol (κ. Smith, V. Grégoire, D. Bulot, C. Boily, K. Bourdon)

Hauteur final des colonnes amendées en fonction du % d'amendement



Effets des amendements sur la conductivité saturée de colonnes amendées : drainage diminue à fortes doses

Terme du modèle	DF	F ratio	Valeur de P
Profondeur	94	10.691	0.0001
Taux:Profondeur	94	4.245	0.017

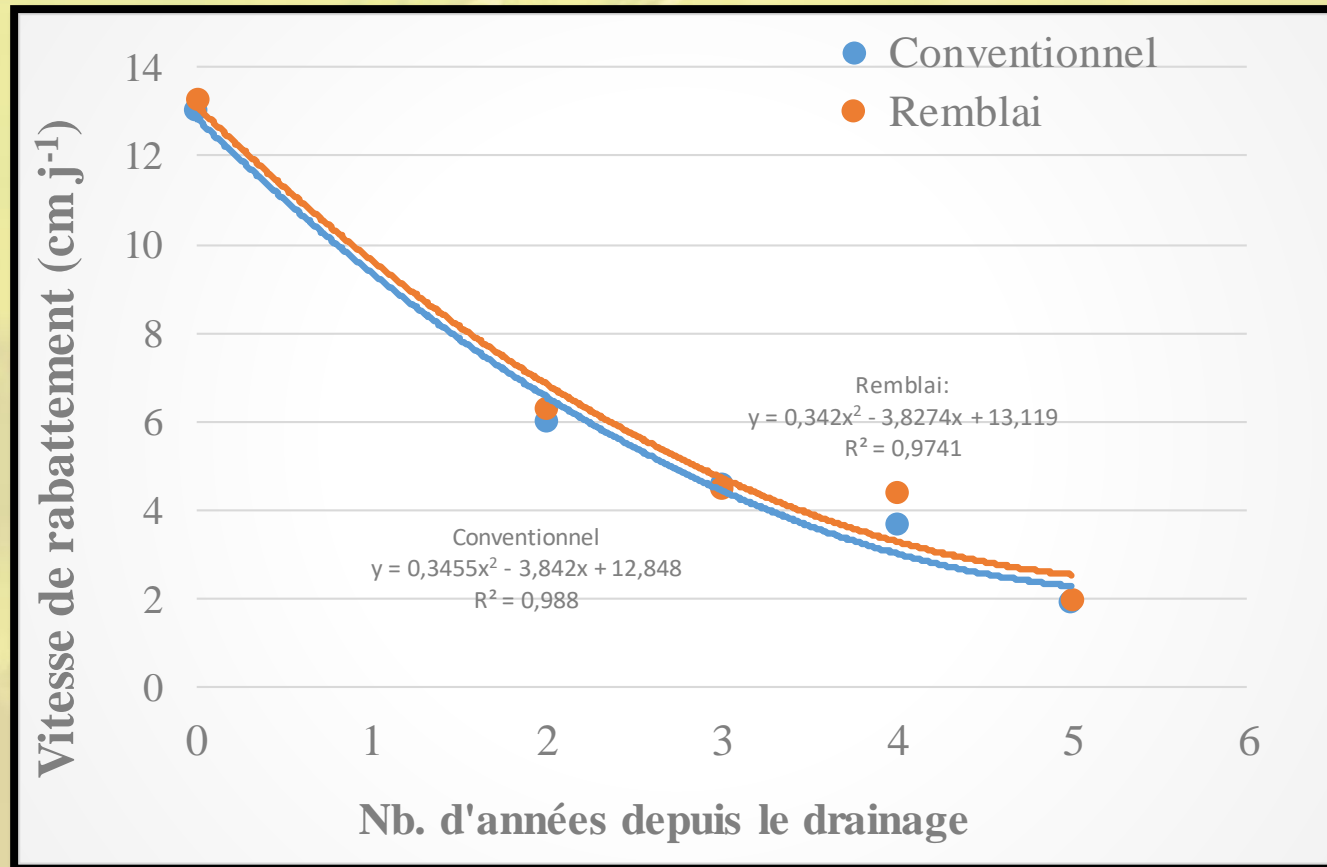


Solutions envisagées

- ✓ Rotations longues (2 ans annuelles)
- ✓ Amendements de surface
- Doublement des drains
- ✓ Sous-solage
- Tranchées drainantes
- Haies de saule



DRAINAGE EN SOLS ORGANIQUES, MÉTHODE PAR TRANCHÉES DRAINANTE (REMBLAI) (2011-2013)



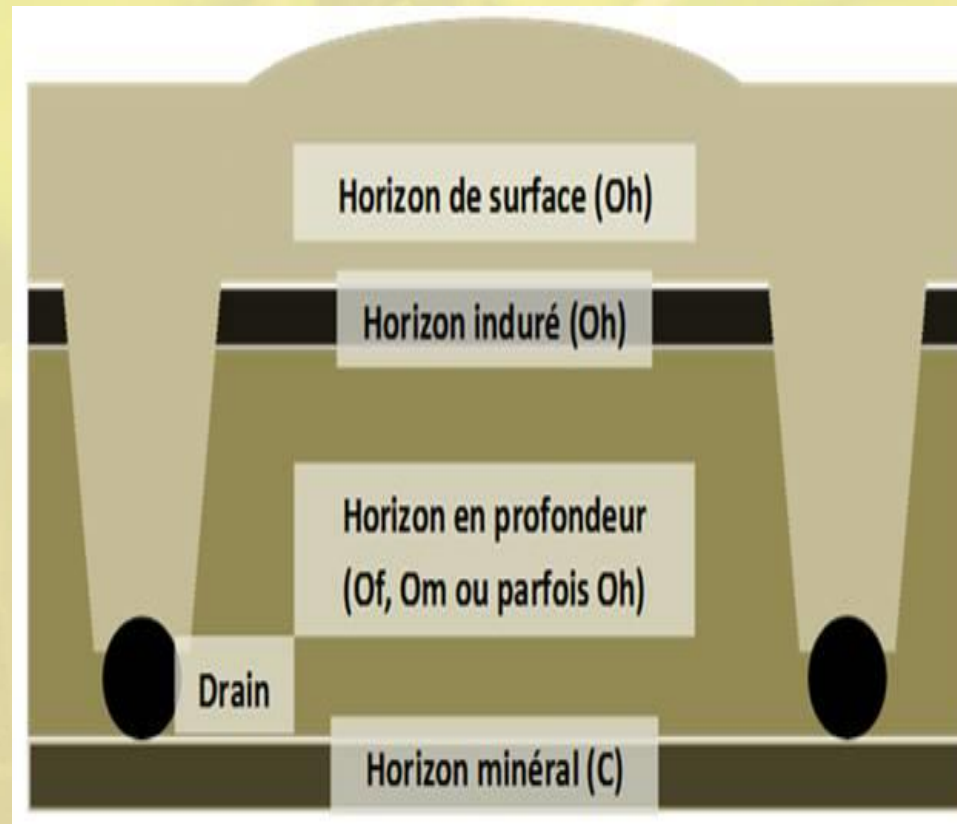
Solutions envisagées

- ✓ Rotations longues (2 ans annuelles)
- ✓ Amendements de surface
- ✓ Drainage conventionnel reste de mise, on parle ici de densification des drains
- ✓ Sous-solage
 - Tranchées drainantes
 - Haies de saule

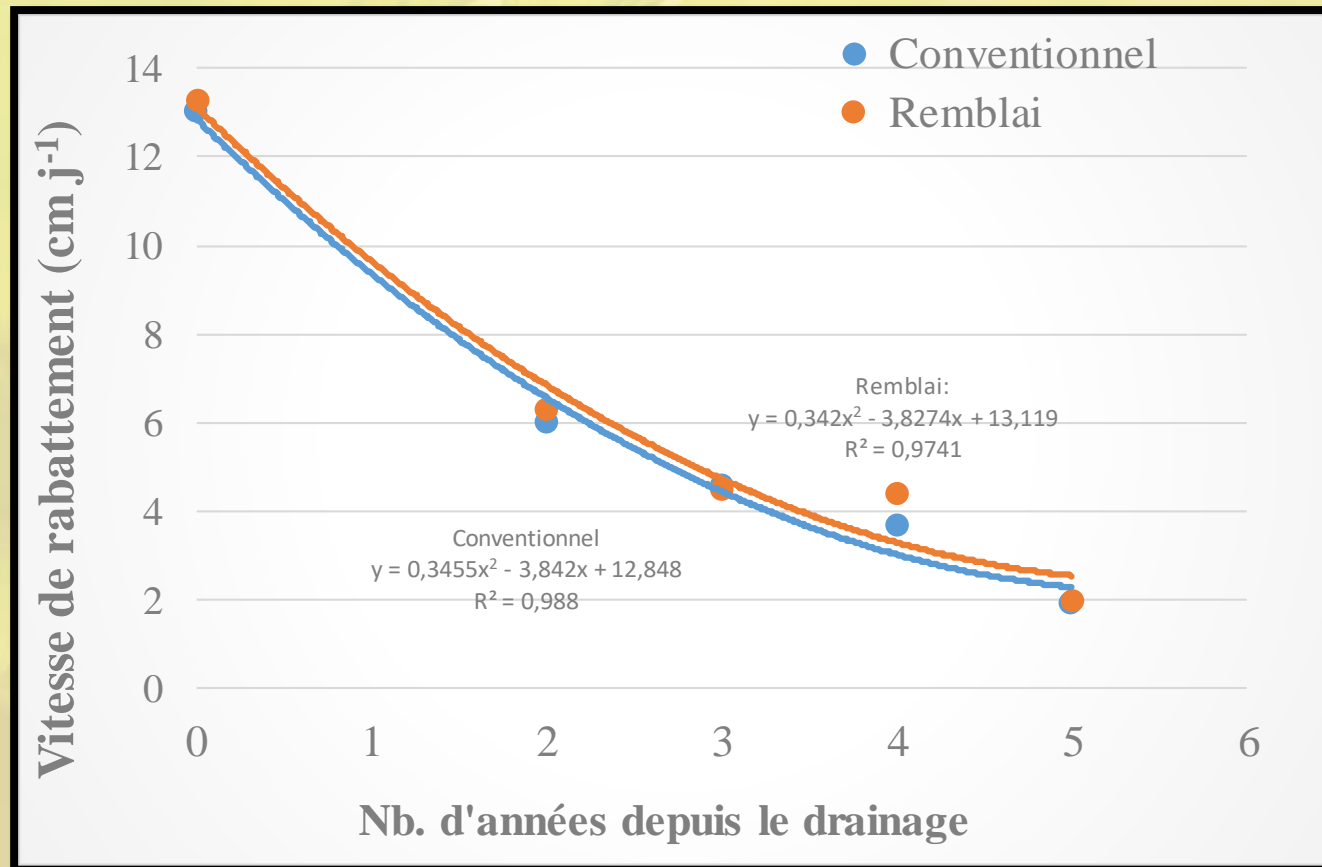


TRANCHÉES DRAINANTES

Dispositif avec emplacement des drains

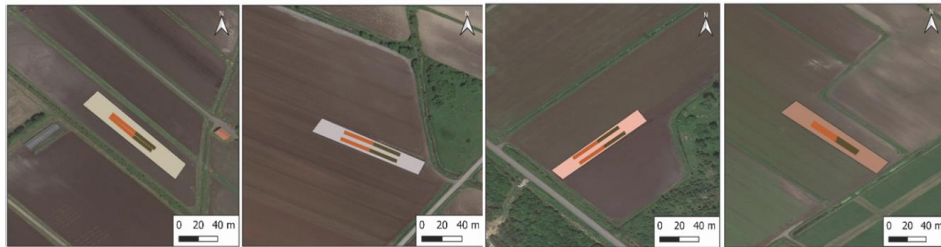


DRAINAGE EN SOLS ORGANIQUES, MÉTHODE PAR TRANCHÉES DRAINANTE (REMBLAI) (2011-2013)



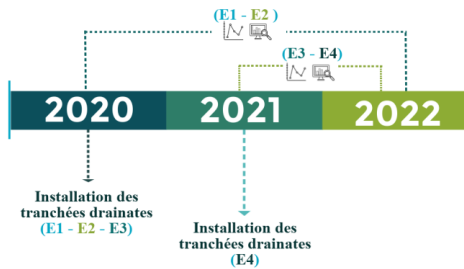
Méthodologie (Y. Gomez)

Drainage par tranchée drainante



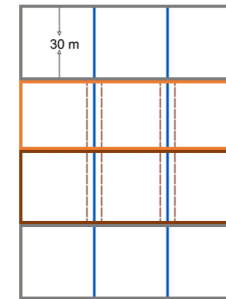
— Tranchée Hortifibre (TH) Site 1 (E1) Site 3 (E3)
— Tranchée Sol (TS) Site 2 (E2) Site 4 (E4)

- ✓ Sols : Perméabilité lente et un très mauvais drainage.
- ✓ Drains de 10 cm de diamètre et séparés de 4,5 m et 9 m

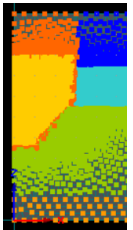
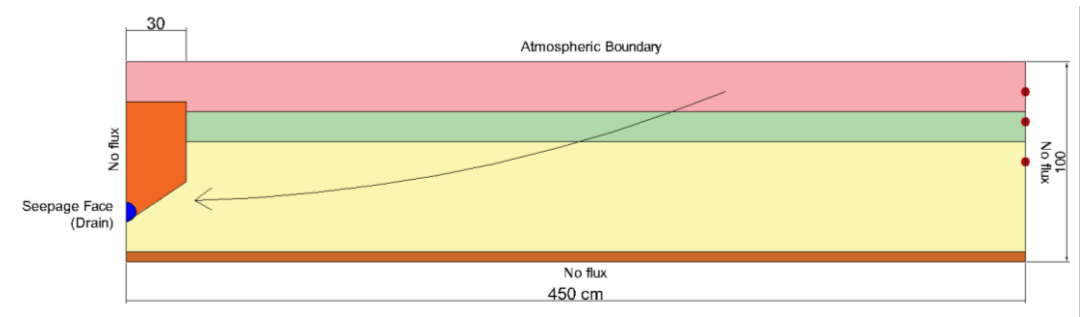
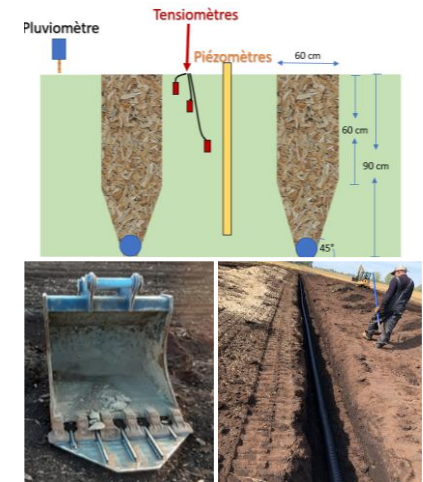


Suivi du drainage et des propriétés physiques du sol

- Potentiel matriciel du sol (h)
- Profondeur de la nappe phréatique (N_p)
- Pluviométrie
- K_{sat}
- MVA
- CR



— Drain en place
- - - - Tranchée drainante
— Tranchée hortifibre
— Tranchée sol en place
— Sections témoins



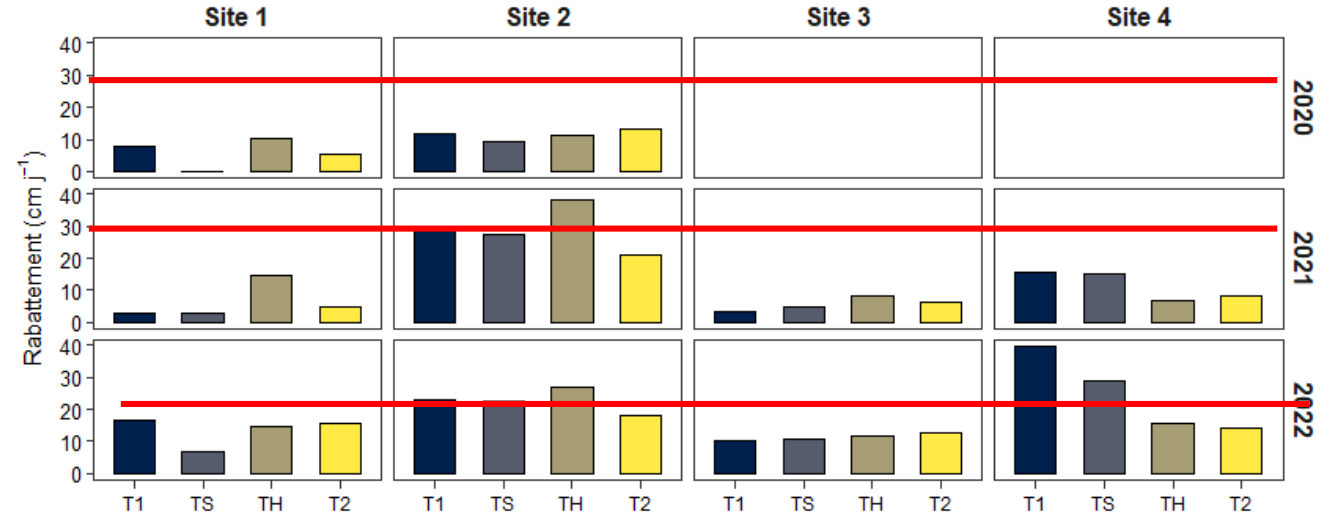
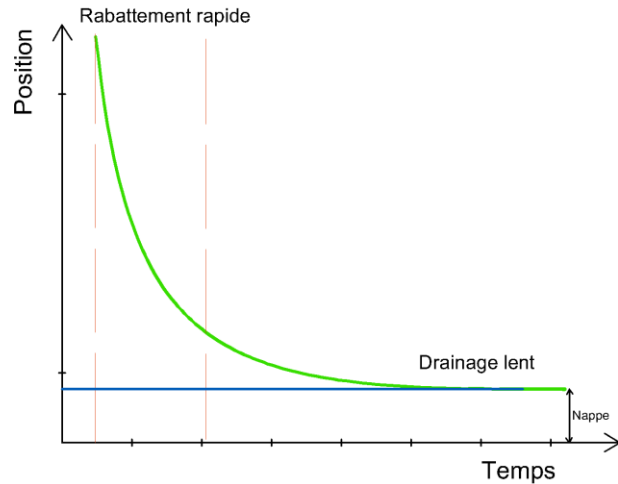
- ✓ Ajustement de la fonction à des points mesurés de la CR
- ✓ Ajustement des paramètres hydrauliques par modélisation inverse.
- ✓ Modélisation du rabattement de la nappe à partir de conditions de sol saturé.
- ✓ Calcul du rabattement en 24 h par des modèles analytiques (Hooghoudt)

Hydrus 2D

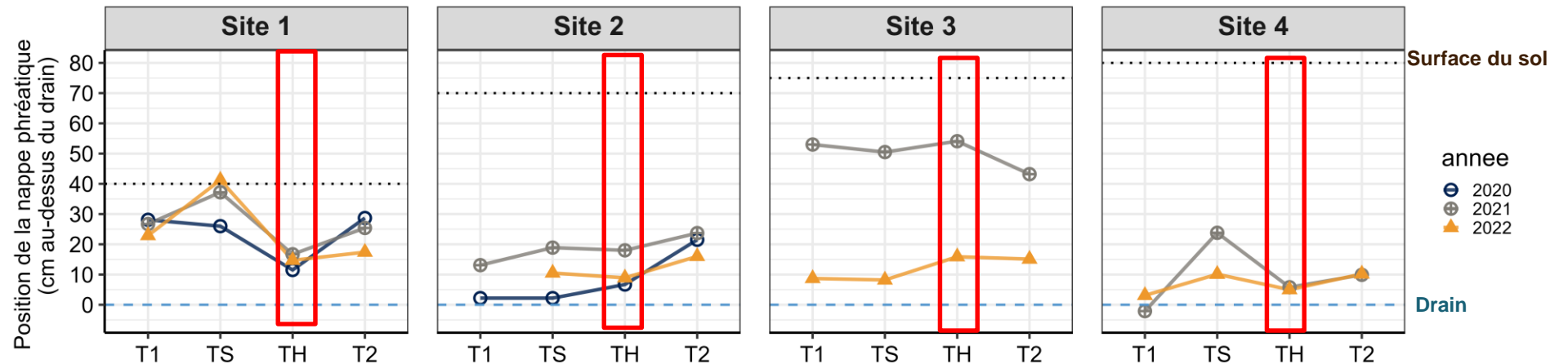
Résultats

Drainage rapide et drainage résiduel: pas d'effets majeurs sauf sur 1 site

Rabattement de la nappe phréatique en 24 heures lors d'une précipitation.



Drainage résiduel



Solutions envisagées

- ✓ Rotations longues (2 ans annuelles)
- ✓ Amendements de surface
- ✓ Doublement des drains
- ✓ Sous-solage
- ✓ Tranchées drainantes
- Haies de saule



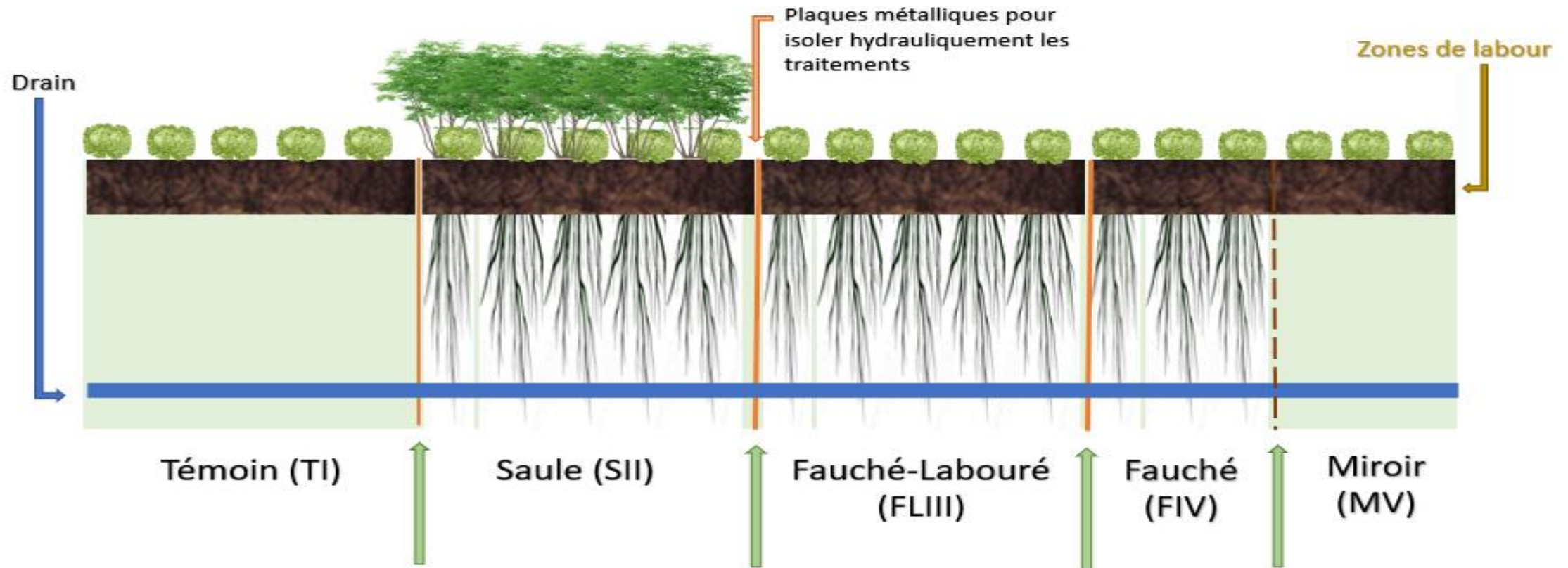
Haies de saule



Méthodologie

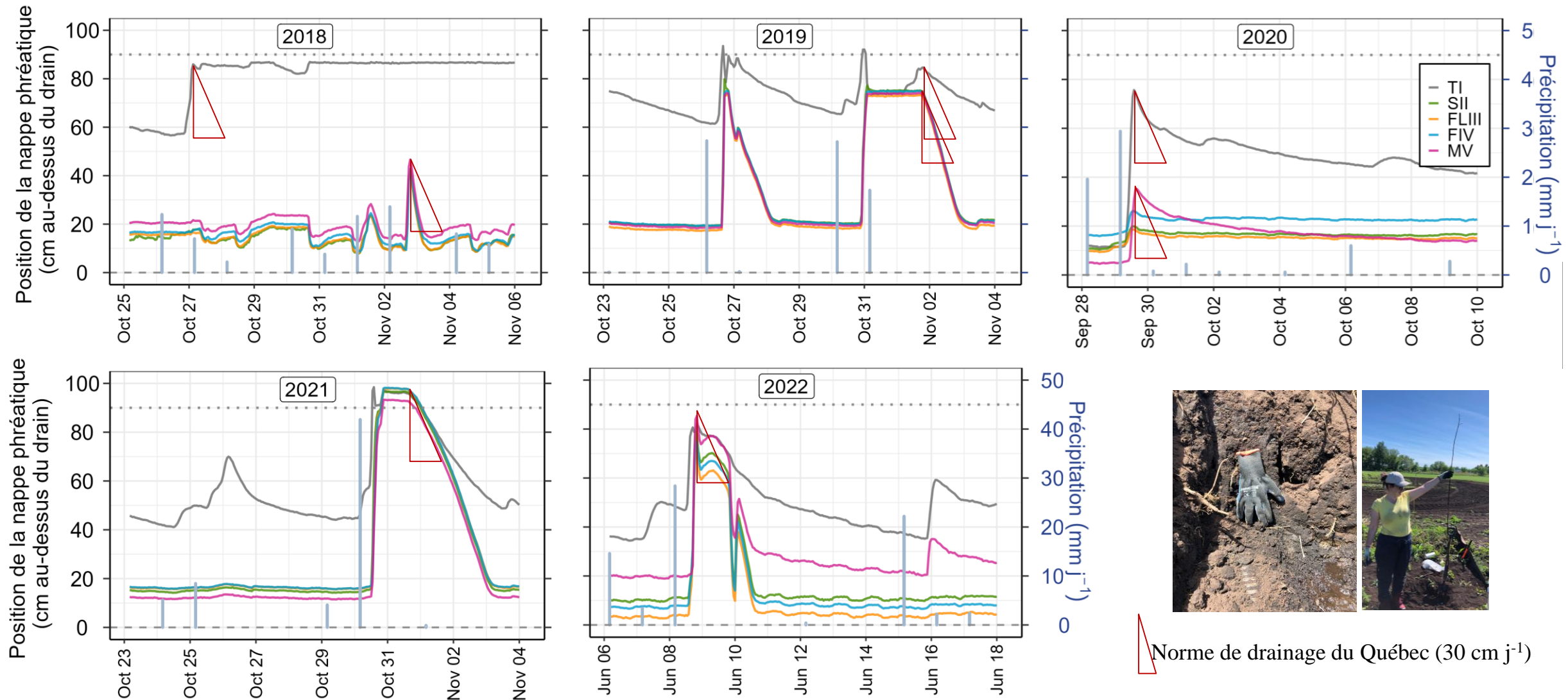
Dispositifs expérimentaux (Y. Gomez)

Parcelle	État de la culture
Témoin (TI)	Absence de culture de saule Culture de laitue*
Saule (SII)	Saule vivant Culture de laitue*
Fauché-labouré (FLIII)	Saule coupé Culture de laitue*
Fauché (FIV)	Saule coupé Culture de laitue*
Miroir (MV)	Absence de culture de saule Culture de laitue*



Résultats

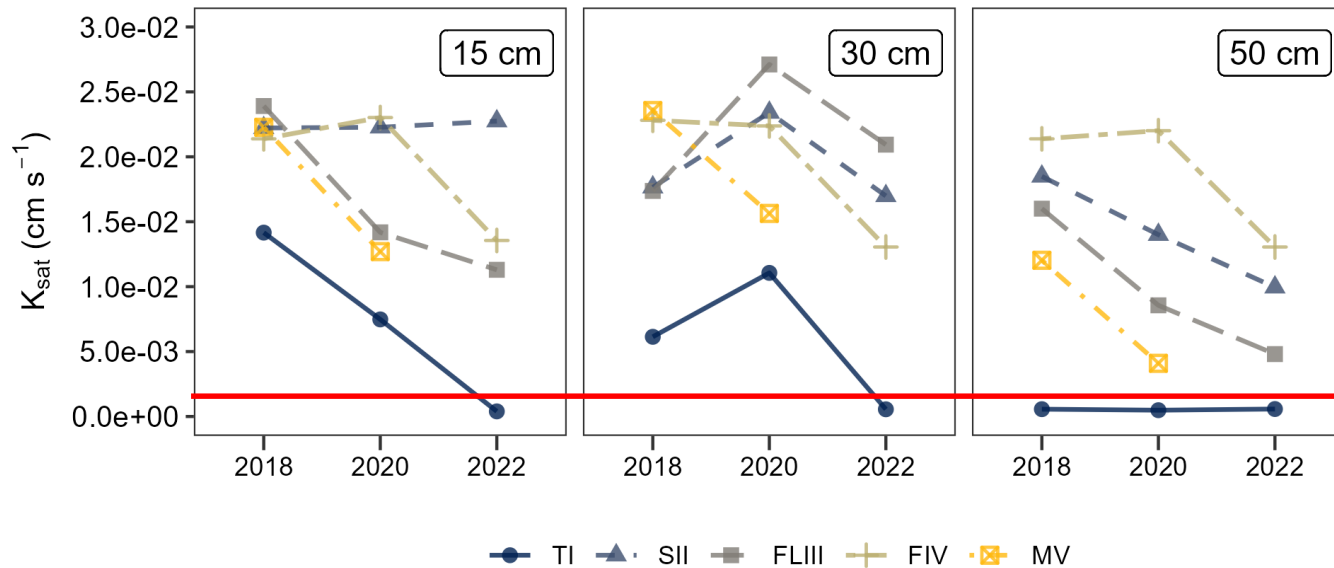
Évolution de la nappe phréatique: effet marqué



Résultats

Ajustement des paramètres hydrauliques par modélisation inverse.

Conductivité hydraulique saturée (K_{sat})

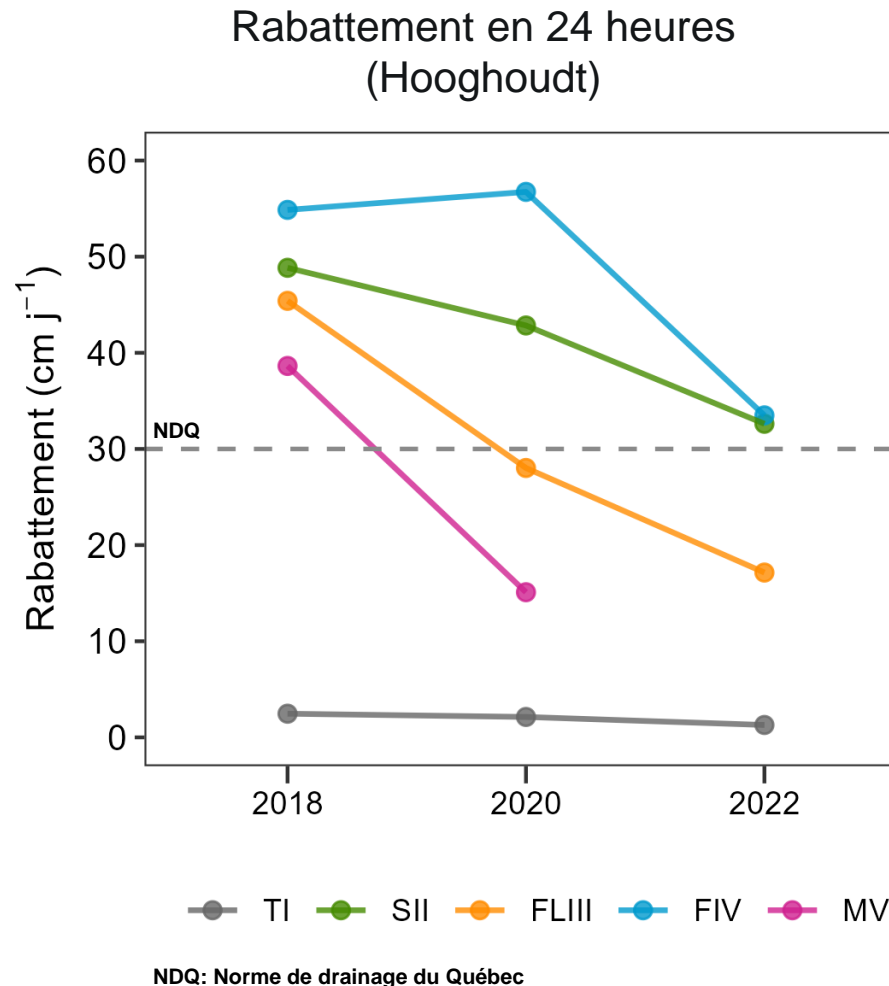
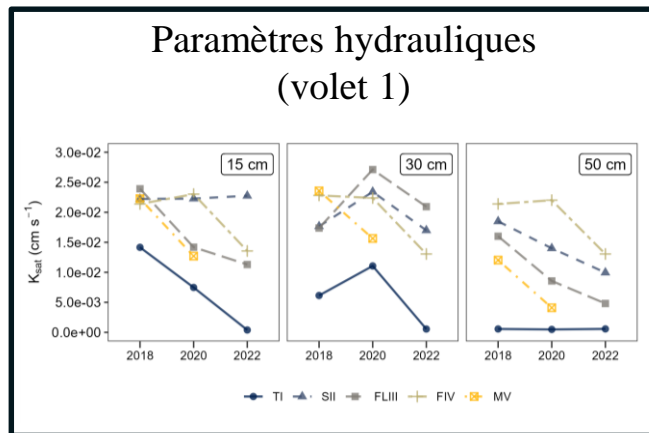


$$0.67 > R^2 > 0.99$$

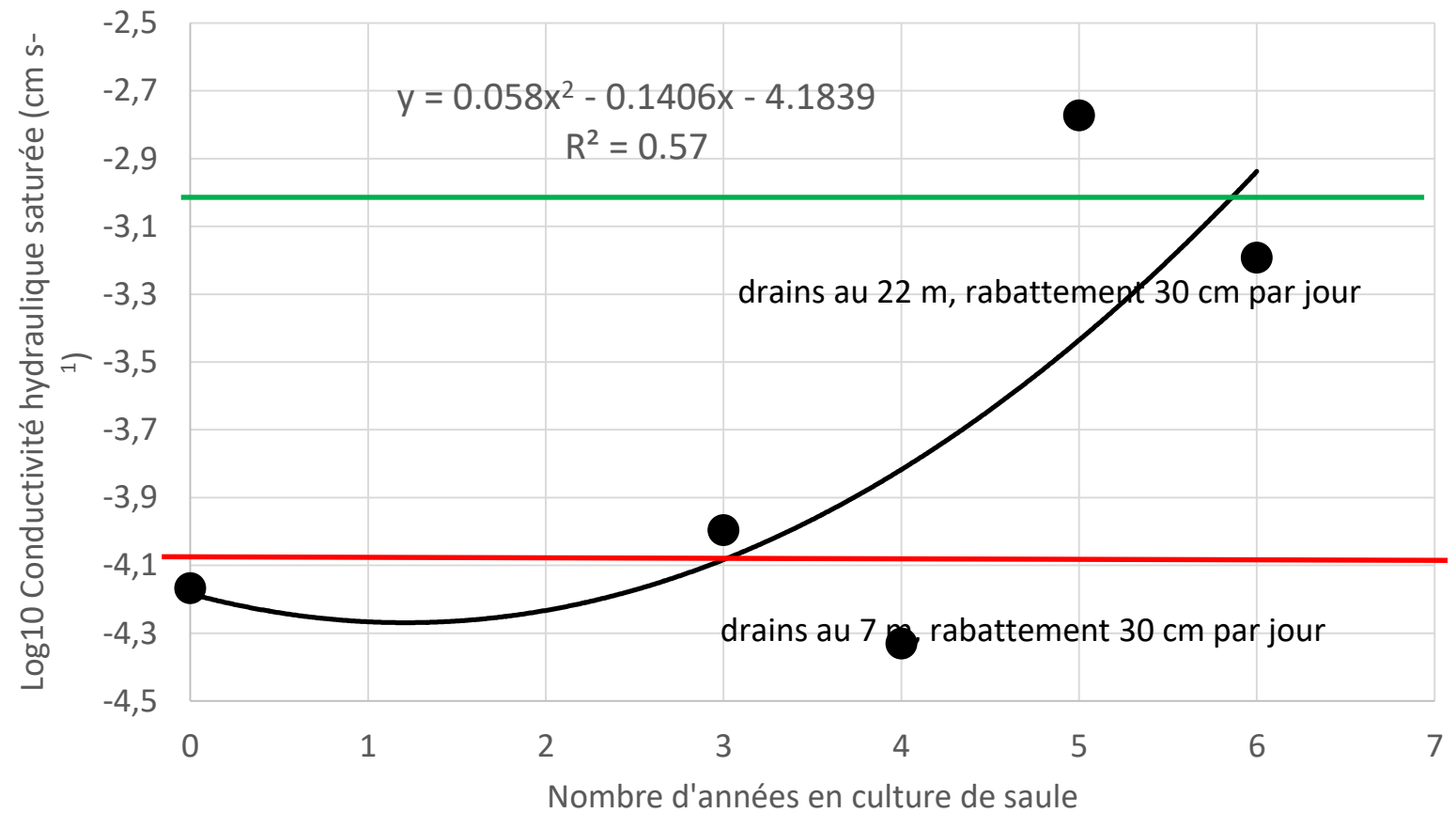
- Tendence à la diminution de la K_{sat} dans le temps pour chaque profondeur.
- Les traitements avec du saule demeurent efficaces en termes de drainage au cours des cinq années de l'étude, mais ses effets positifs diminuent progressivement.
- Le traitement MV est le premier à perdre de son efficacité.

Résultats

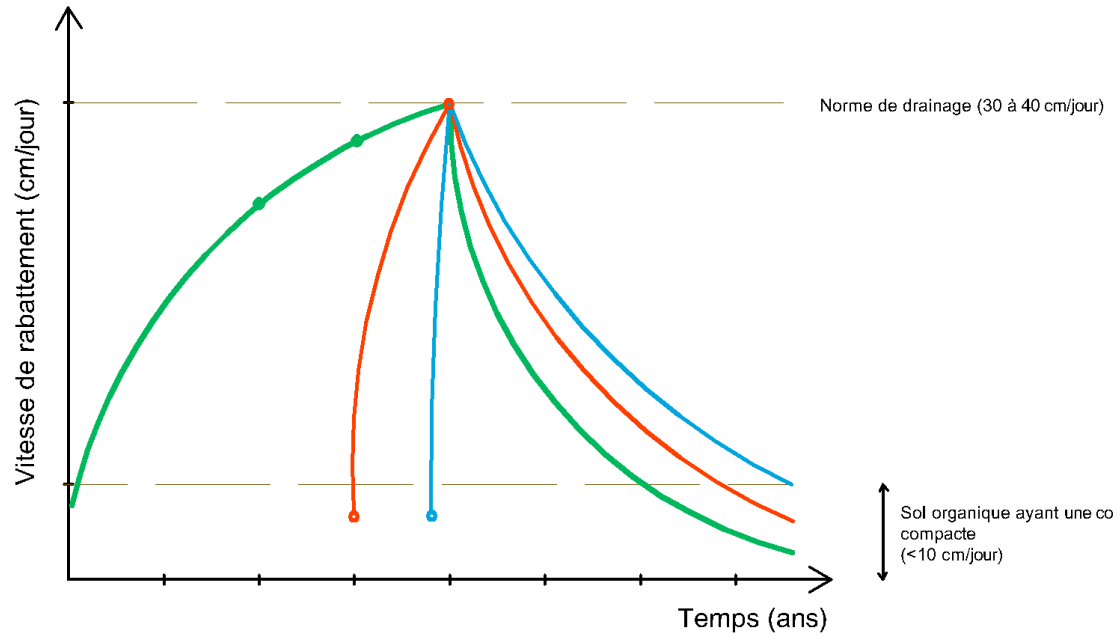
Modélisation du drainage par rotation de saule



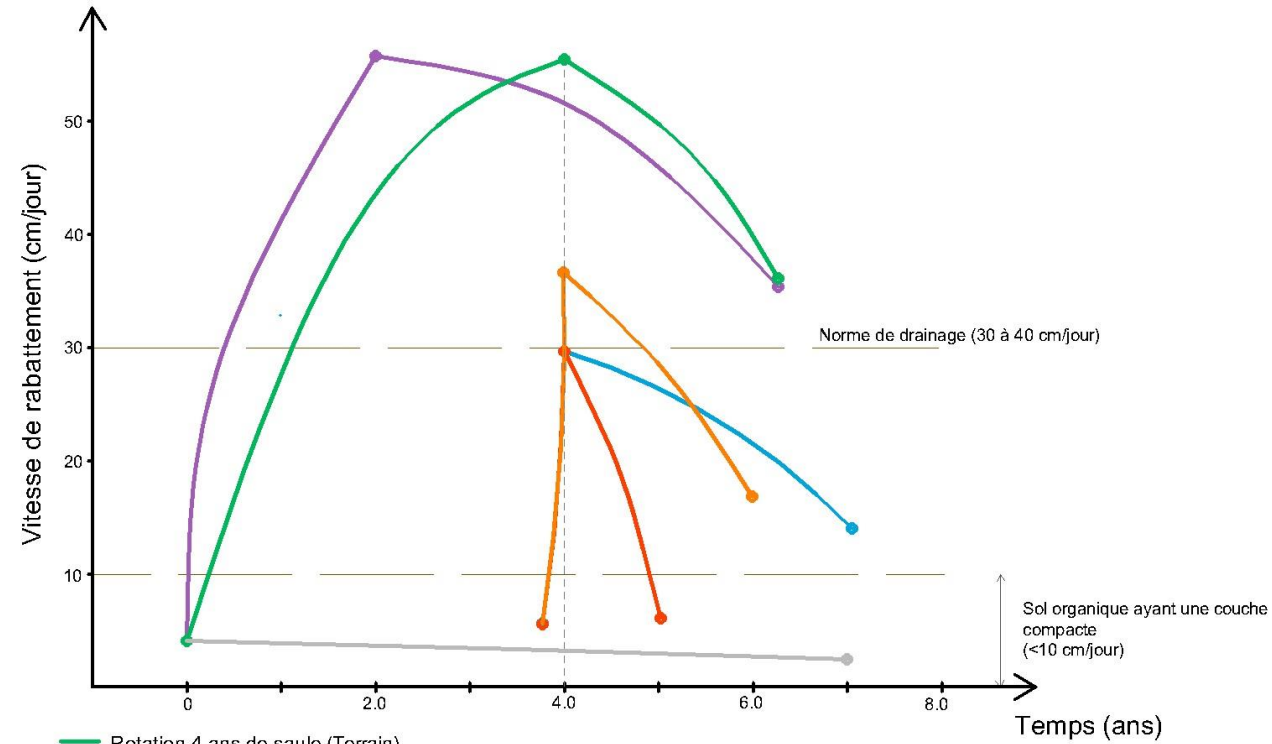
- Deux traitements avec du saule demeurent efficaces en termes de drainage au cours des cinq années de l'étude, mais ses effets positifs diminuent progressivement.
- Les traitements SII et FIV restent conformes à la norme de drainage du Québec après 4 ans de drainage → effet à long-terme.
- Le traitement FIV (rotation de 2 ans et comportant des racines de saule en décomposition depuis 2018) est autant efficace que le traitement SII (rotation de 4 ans)



Synthèse des résultats



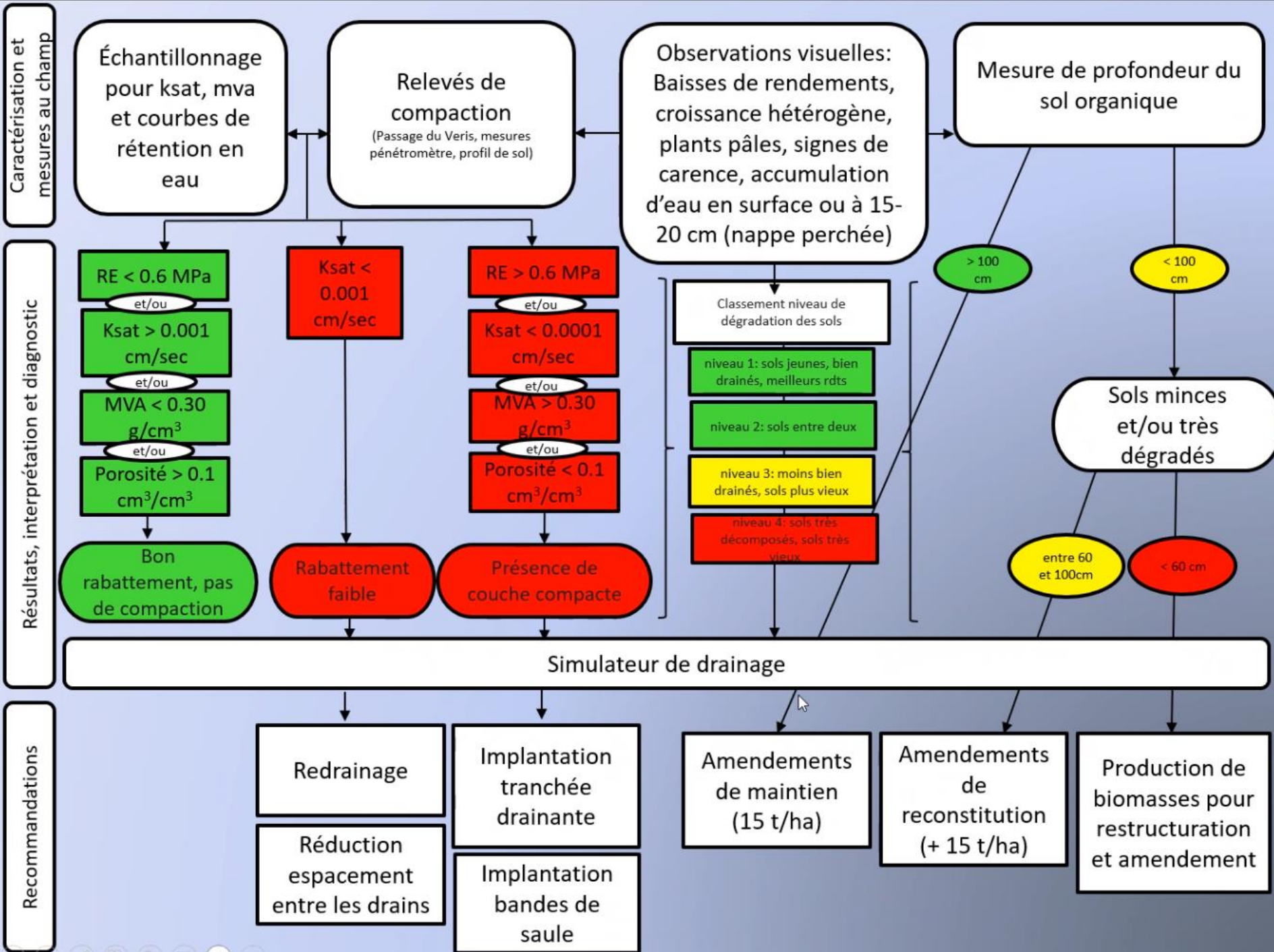
- Saule
- Tranchée drainante
- Tranchée drainante (Laboratoire)



- Rotation 4 ans de saule (Terrain)
- Rotation 2 ans de saule (Terrain)
- Tranchée drainante - Site 1 (Terrain)
- Tranchée drainante - Site 2 (Terrain)
- Tranchée drainante (Laboratoire)
- Témoin

Plan de la présentation

- Facteurs de dégradation
- Conséquences agronomiques sur l'aération et le drainage
- Solutions
- Recommandations: où et quand améliorer le drainage
- Conclusions





Conclusions aération

Rotation longue en saule

- L'effet positif est plus rapide que prévu (3-5 ans)
- Niveaux d'aération optimaux obtenus rapidement

Recommandation : Essais extrêmement prometteurs, mais la remise en culture sera critique. Des tests de remises en cultures devront être faits.



Conclusions drainage

Drainage conventionnel reste nécessaire, drainage supplémentaire par rotation de saule

- La méthode de drainage par rotation de saule présente des améliorations à long terme sur des propriétés physiques du sol (K_{sat} et porosité de drainage) permettant un rabattement de la nappe supérieur à 30 cm j^{-1} .
- L'impact positif sur le drainage persiste pendant 4 ans, mais les propriétés physiques du sol se dégradent progressivement.
- L'effet positif des racines en décomposition sur le drainage persiste après 4 ans de destruction des haies (sur l'un des traitements).

Recommandation : Les haies doivent être détruites après deux ans d'implantation de la culture (les racines favorisent le colmatage des drains).



Recommandations générales (ceci n'est pas une recommandation agronomique spécifique)

- Rotations de long terme comme le saule offre le meilleur potentiel de conservation et de restauration (et de lutte à l'érosion éolienne)
- Observations, relevés, mesures (pertes de sols, conductivité saturée à différentes profondeurs, aération, diffusivité des gaz, taux respiratoire, profil de densité)
- Spatialiser l'information (impact financier majeur)
- Générer des recommandations par clés décisionnelles (guide) ou par optimisation (priorisation)
- Calculer les retours attendus
- Cas par cas : mettre en place une équipe (2 personnes dont une agronome et une en agriculture numérique) de suivi (diagnostic et recommandations). S'autofinance.

Remerciements



*Équipe de recherche (Jean Caron) : professeurs, professionnels, étudiants des trois cycles, post-doc

JOYEUSES FÊTES!

Merci de votre attention!



UNIVERSITÉ
LAVAL

Rotations
longues:
Essai de
drainage par
bandes de
saule, de
luzerne et
autres



Solutions

- Engrais verts (coût moyens 200\$ par ha): travaux en cours
- Amendements (apport de saule ou de miscanthus acheté à l'externe ou produit sur terres louées (87\$ la tonne, 120\$ la tonne achetée externe): travaux en cours
- Plantation de haies de saules aux 6 ans pour améliorer le drainage et réduire l'érosion (7% de surfaces) coût d'implantation de \$10,669 par ha: travaux en cours
- Installation de tranchées drainantes en sols compacts (15,000\$ par ha)
- Restauration des sols minces en implantant sur toutes les surfaces du saule ou du miscanthus et surface remise en cultures après 15-20 ans: travaux en laboratoire en cours
- Interventions spatialisées: ressources humaines dédiée à l'établissement de zones où les interventions visées sont pertinentes (80% des effets sur 50% des surfaces). Travaux antérieurs
- Irrigation: retour sur investissement en 2 ans (travaux précédents sur 7 ans)