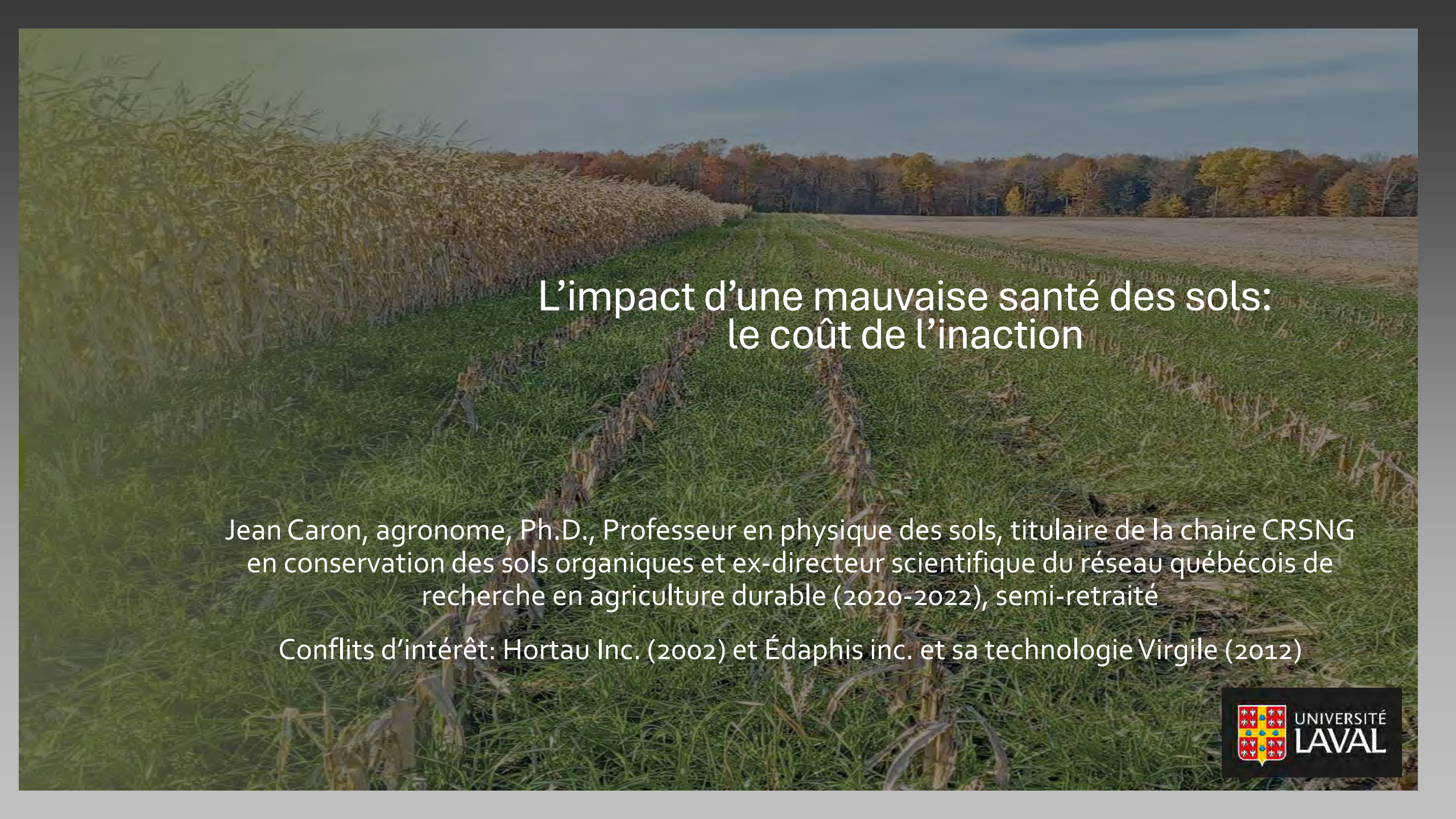




L'impact d'une mauvaise santé des sols: le coût de l'inaction

Jean Caron, agronome, Ph.D., Professeur 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 (2020-2022), semi-retraité

Conflits d'intérêt: Hortau Inc. (2002) et Édaphis inc. et sa technologie Virgile (2012)



L'impact d'une mauvaise santé des sols : le coût de l'inaction

1. **Portrait de l'état santé des sols aujourd'hui**
2. Évolution observée de la dégradation des sols depuis les 50 dernières années
3. Coûts engendrés par la détérioration de la santé des sols
4. Causes et solutions
5. Cas pratiques:
 - Indicateurs et méthodes de caractérisation
 - 2 exemples d'application

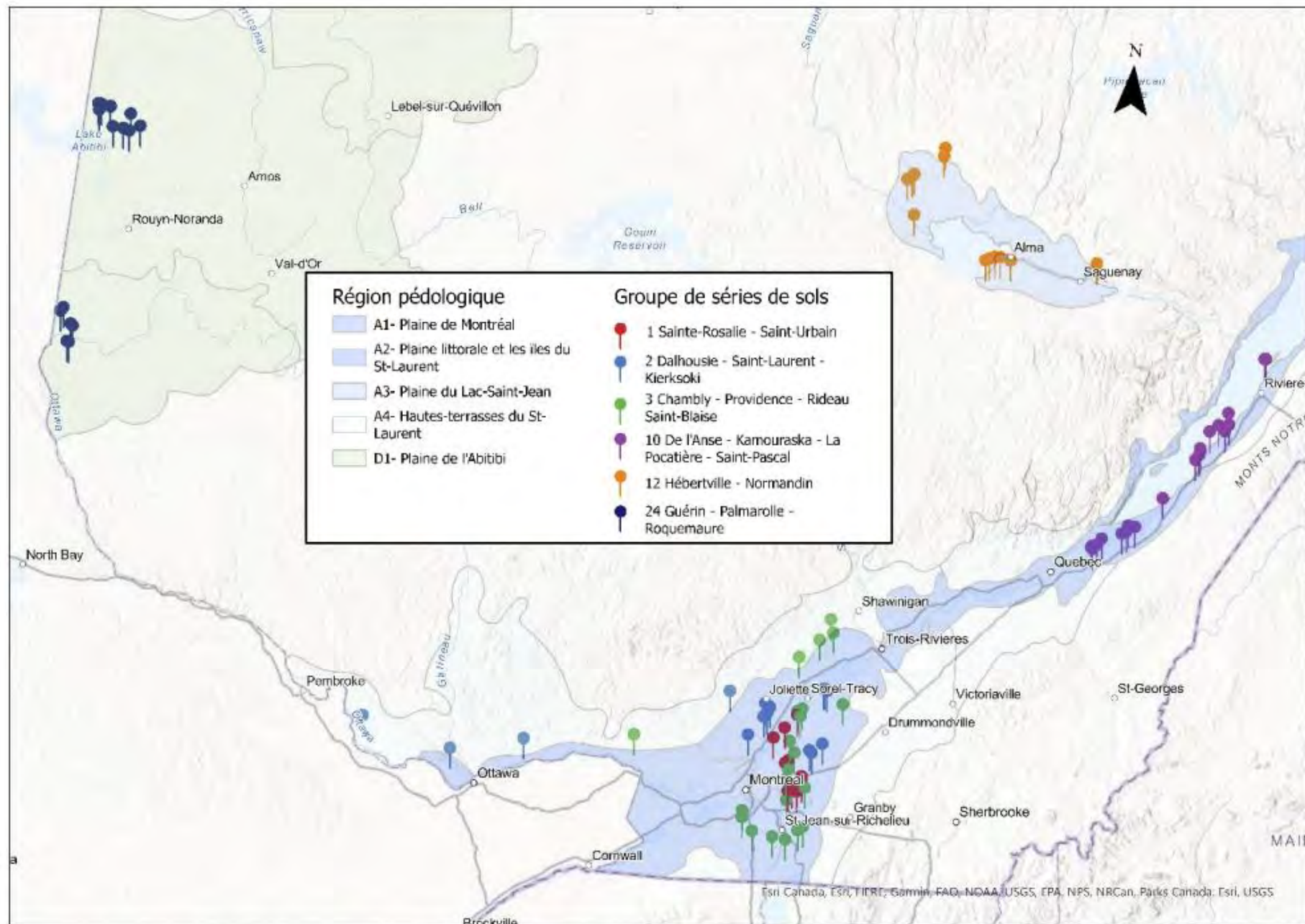


Figure 5 : Situation géographique des sites échantillonnés dans les sols issus de matériaux argileux et leurs régions pédologiques.

Suivis de terrain de 2019-2022

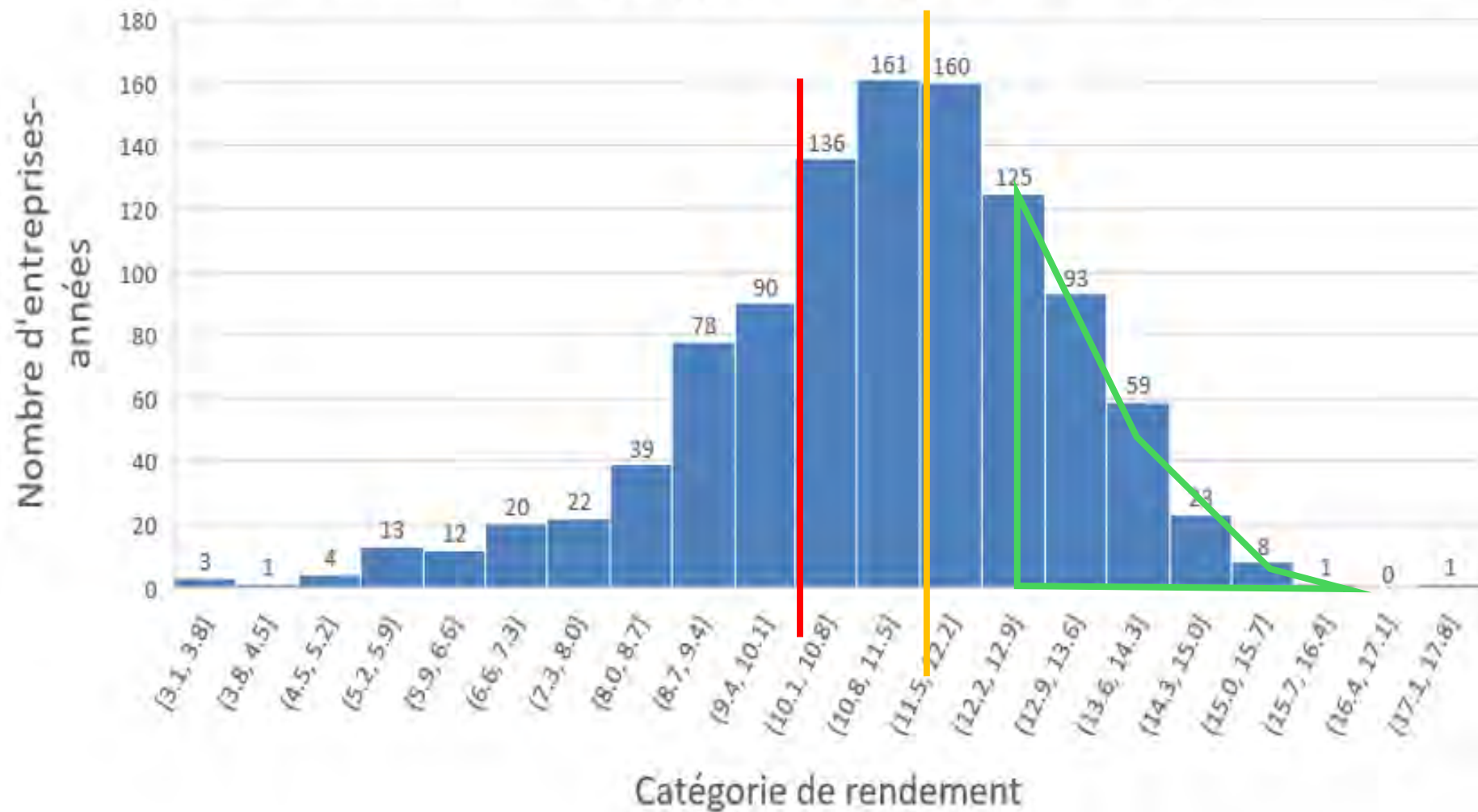
Des travaux ont donc été faits sur une vingtaine de sites en Montérégie sur 3 ans pour mesurer un ensemble d'indicateurs de terrain et évaluer de possibles liens avec la réponse à la fertilisation azotée en production de maïs grain où différentes doses d'azote allant de 50 à 250 kg par ha ont été appliquées



Important de diagnostiquer. Quels indices en sols minéraux et quelles valeurs seuils de comparaison?

caractéristiques	paramètres	unité	Valeur seuil minimale	Valeur optimale	Valeur excessive
drainage	rabattement	Cm j^{-1}	10	30 et uniforme	
aération	Porosité d'air au champ	$\text{Cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0,10	0,25	
aération	Diffusivité des gaz	$\text{m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}$	0,005	0,035	
Localisation de couches compactes	Masse volumique apparente	g cm^{-3}	0,90	1,1	1,5 (sols argileux)
drainage	Conductivité hydraulique saturée	Cm s^{-1}	0,0011 (ou 1 m par jour)		0,010

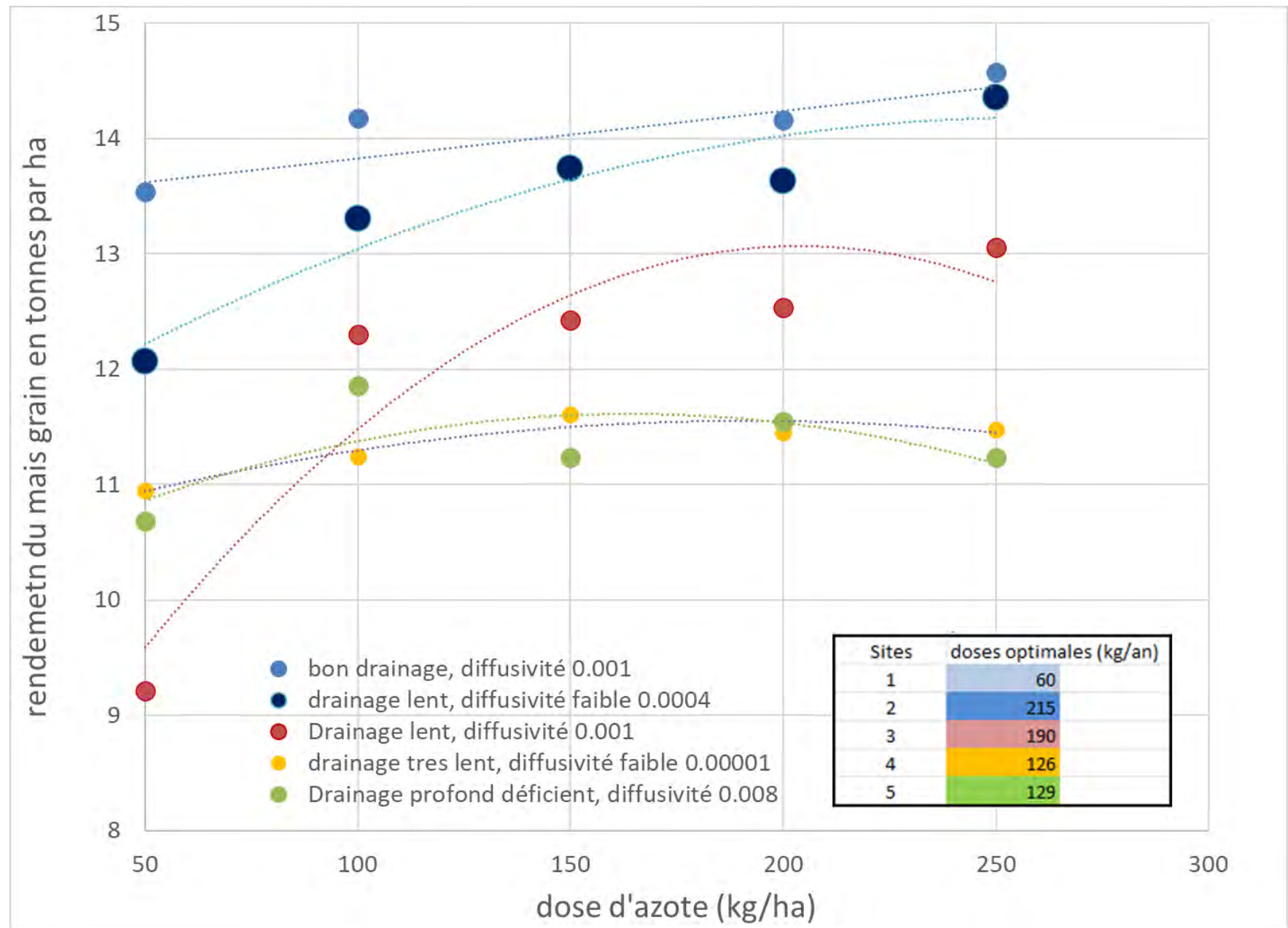
Rendement du maïs-grain (T/ha) dans la région 14 (2016-2018)



Quantiles (Définition 5)	
Niveau	Quantile
100Max 100%	17.3
99%	14.9
95%	14.0
90%	13.5
75% Q3	12.4
50% Médiane	11.2
25% Q1	10.0
10%	8.5
5%	7.2
1%	5.2
0% Min	3.1

N.B. Données non nominatives et non géoréférencées

Rendement et réponse à l'azote par site



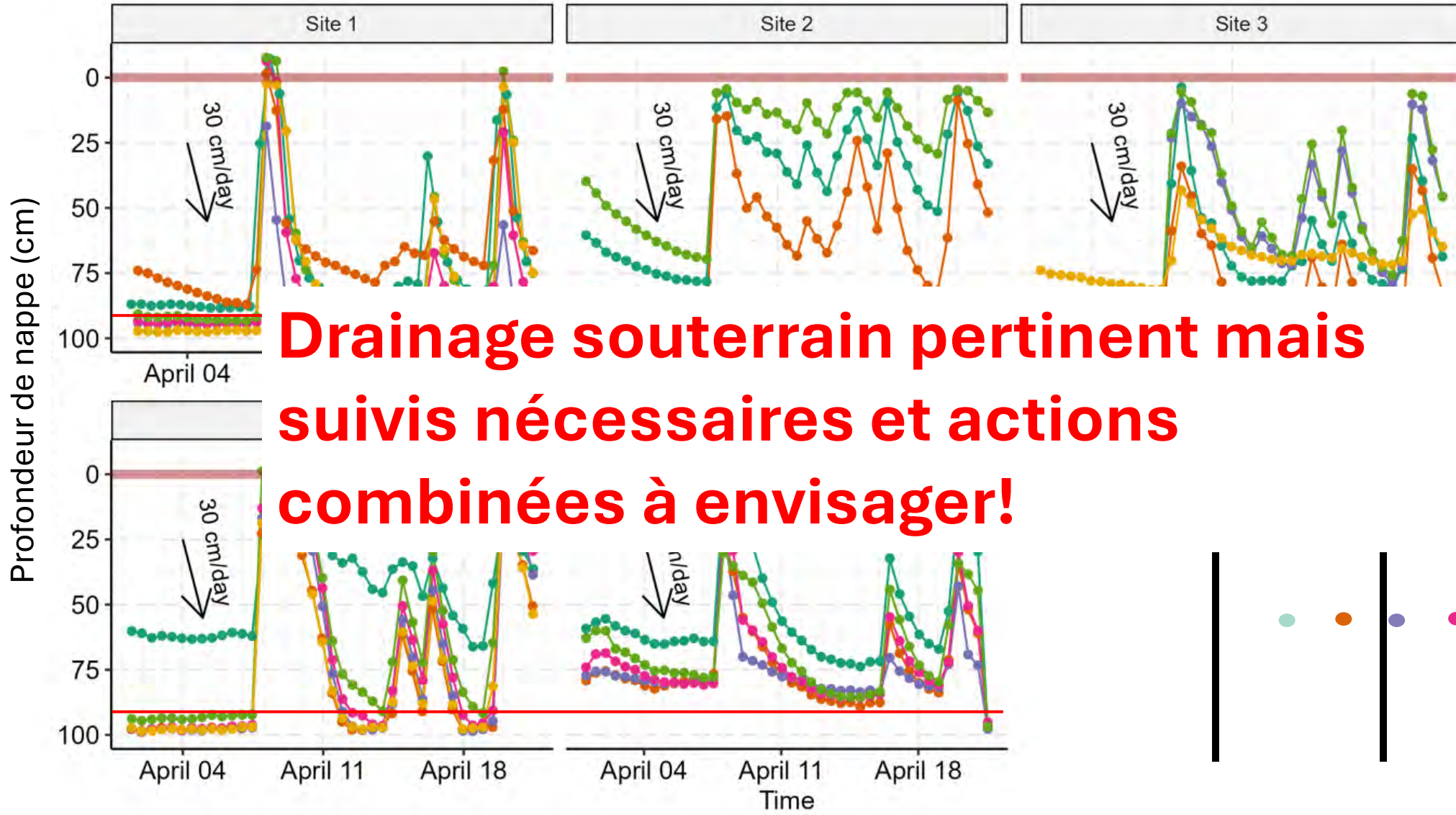
Indicateurs de niveau d'eau

- Tuyau crépiné (fentes horizontales) sous la couche compacte et isolé dans ses bordures
- Capteur de niveau de nappe



Transect Point

P1 P3 P5
P2 P4 P6

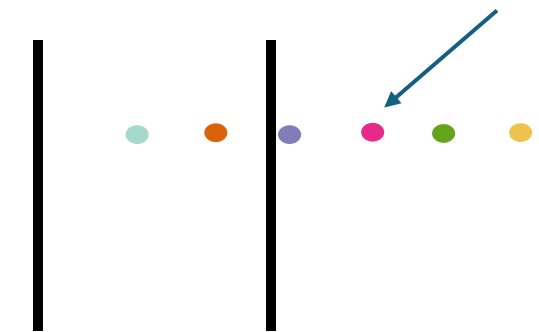


Drainage souterrain pertinent mais suivis nécessaires et actions combinées à envisager!

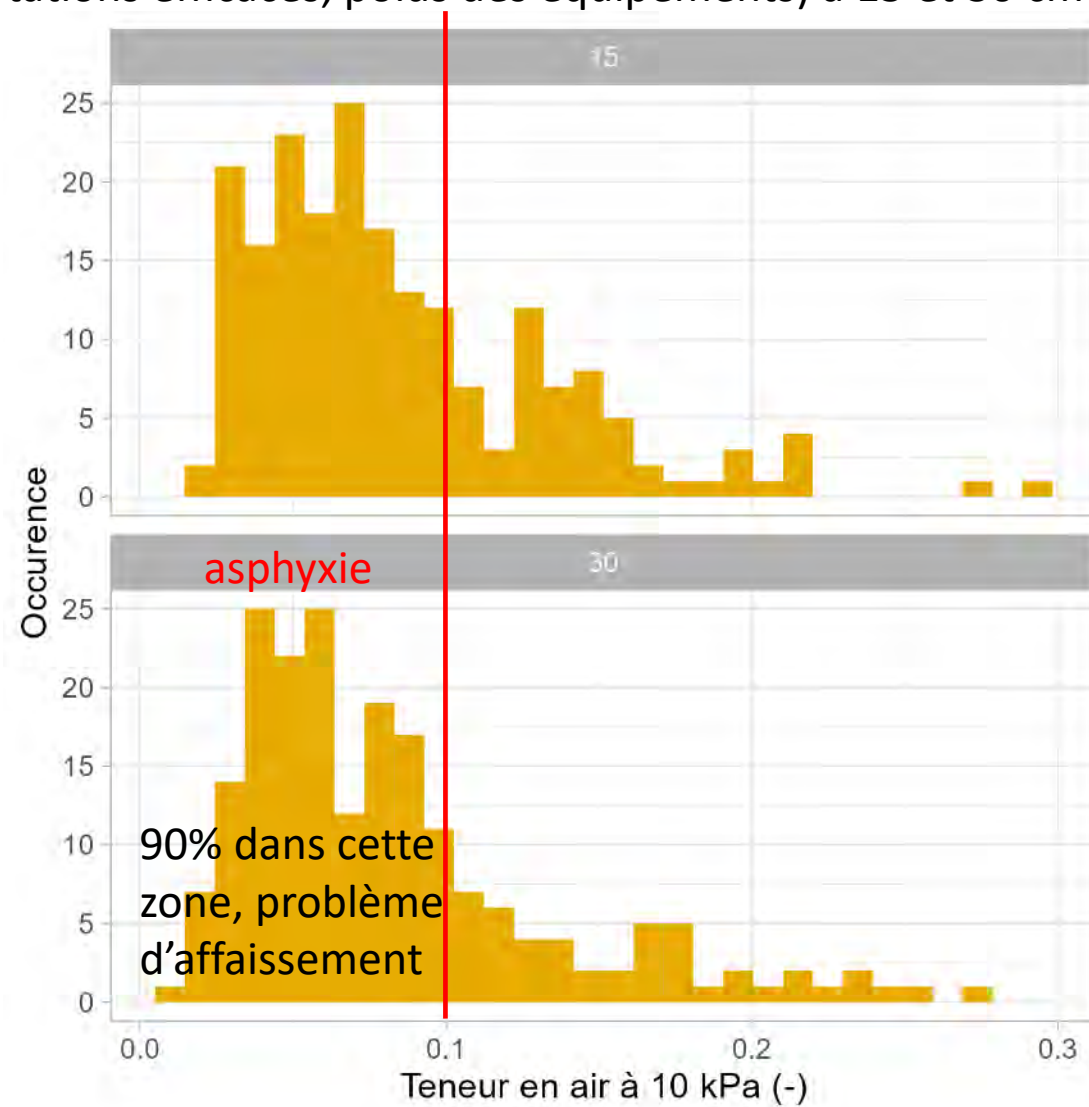
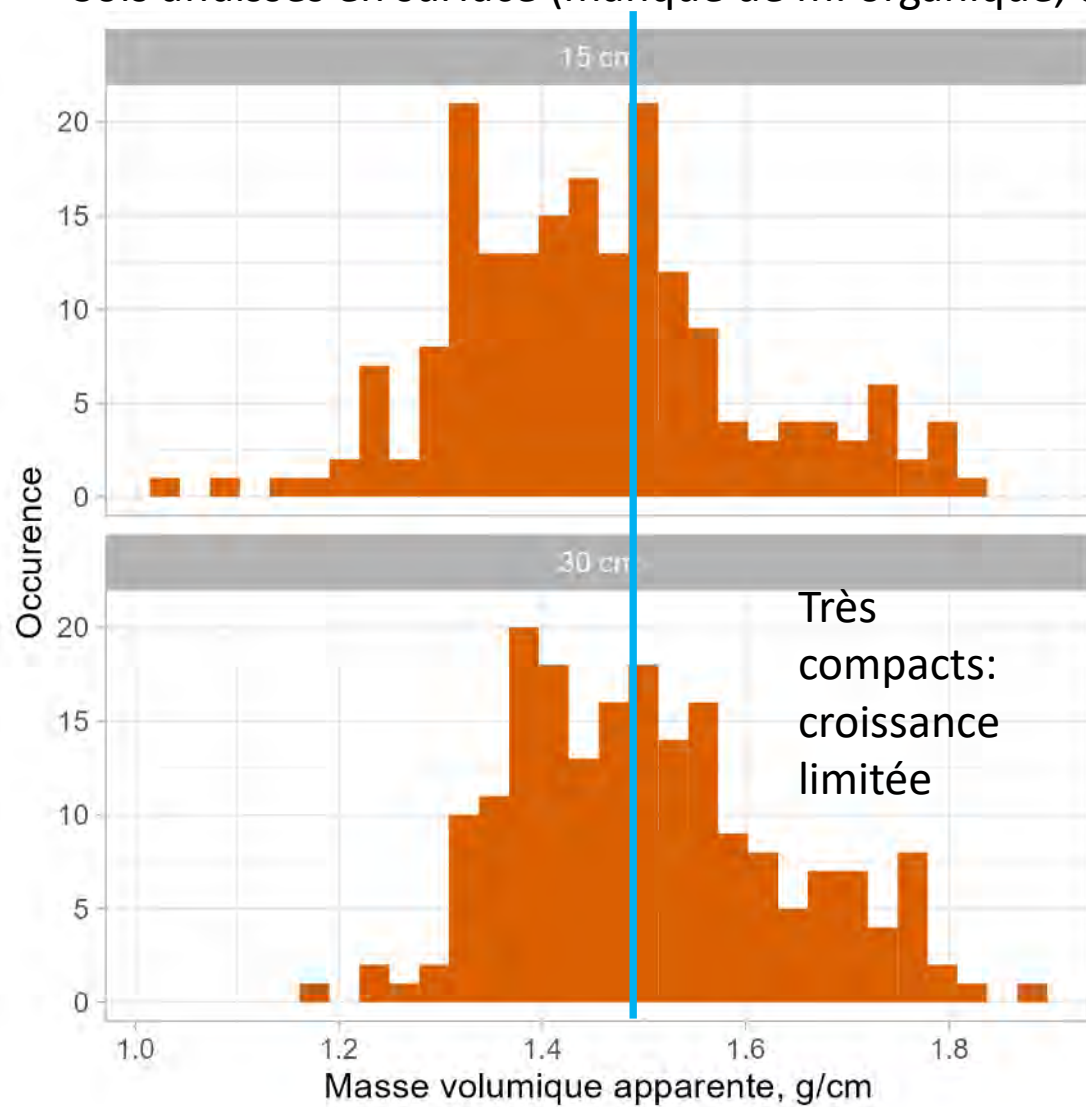
fondeur du drain

IS

ré de nappe

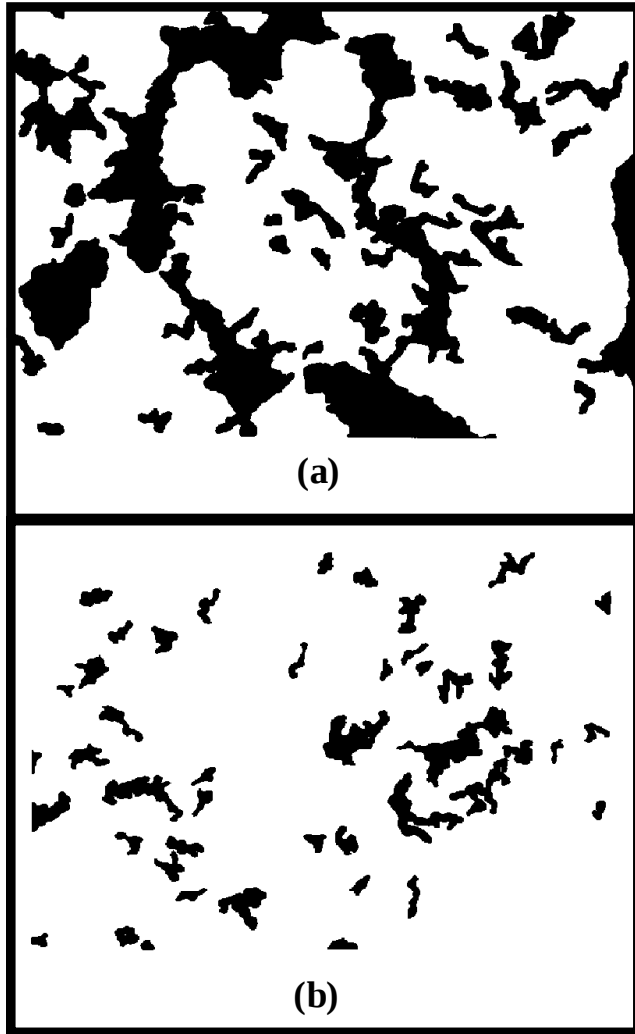


Sols affaissés en surface (manque de m. organique, de rotations efficaces, poids des équipements) à 15 et 30 cm



Quels devraient être de bons indicateurs?

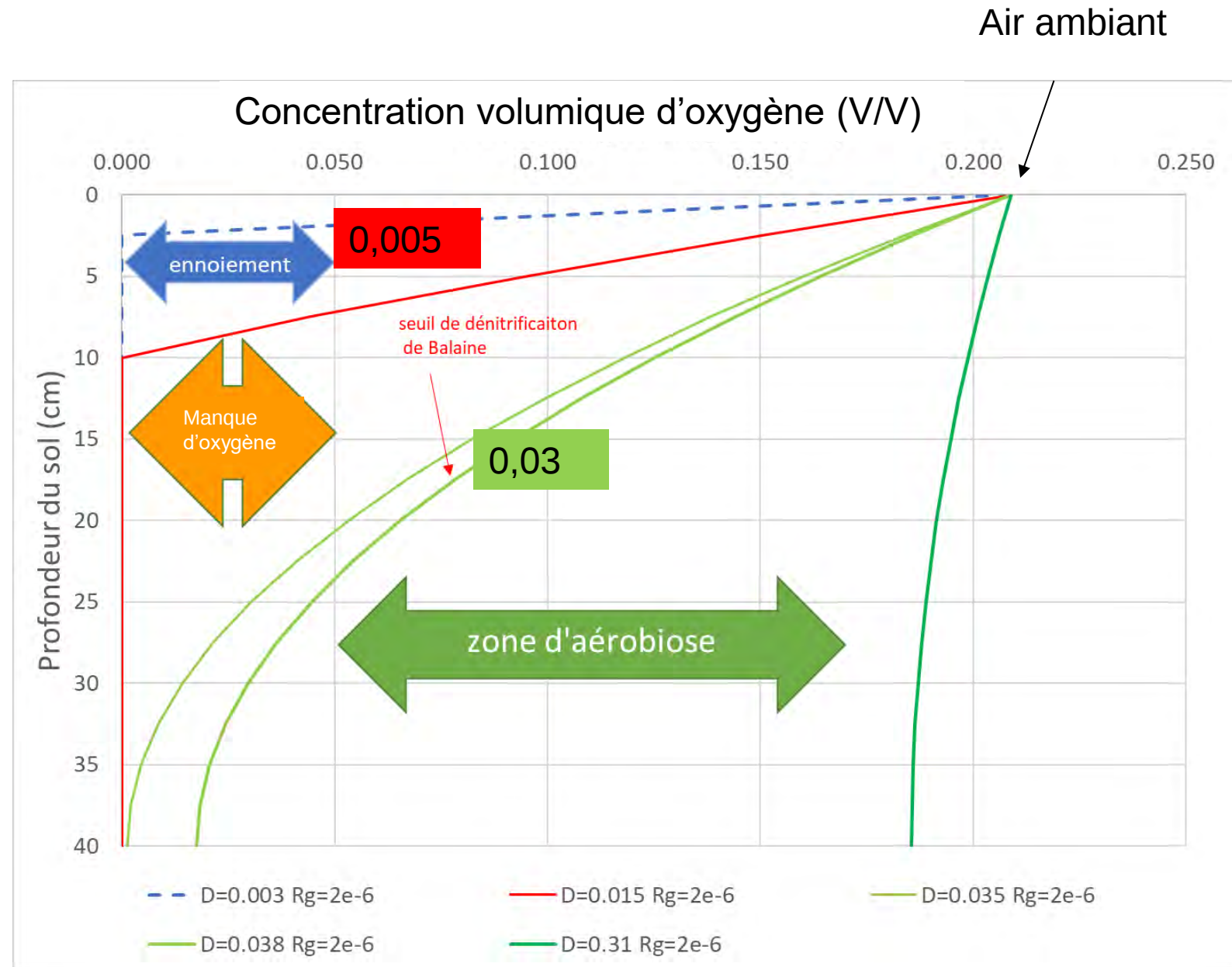
Analyse d'images d'un profil ouvert et d'un profil compact

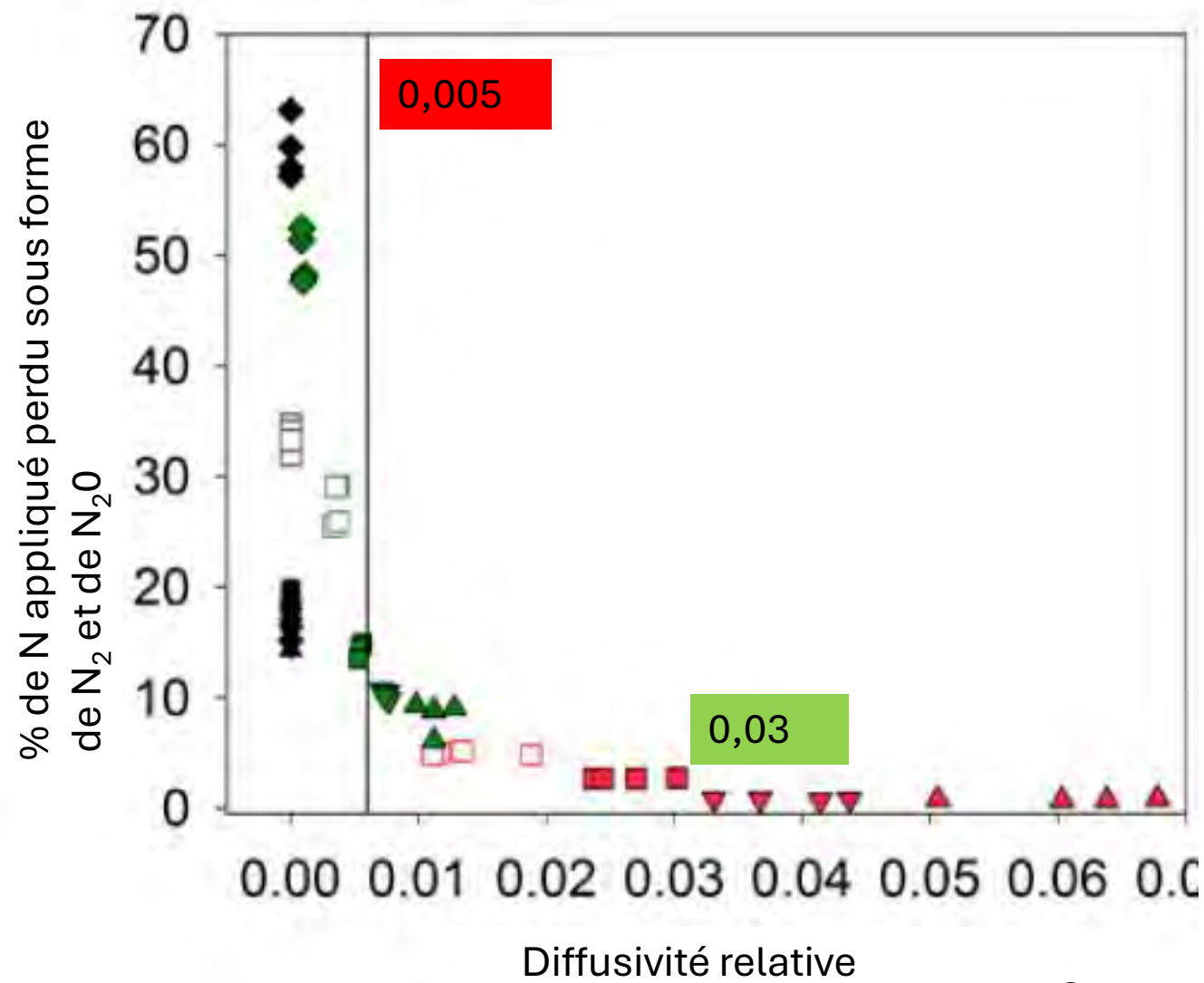


- On observe en A des pores plus nombreux, de plus grandes dimensions et mieux connectés ce qui permet des échanges gazeux rapides et un drainage rapide.
- On observe en B des pores beaucoup plus petits, une masse volumique apparente plus élevée, des pores moins bien connectés, ce qui ralentit passablement la vitesse de drainage.

Pourquoi la diffusivité (D_s/D_o)? Pour prédire le risque de manque d'oxygène, lent à se manifester

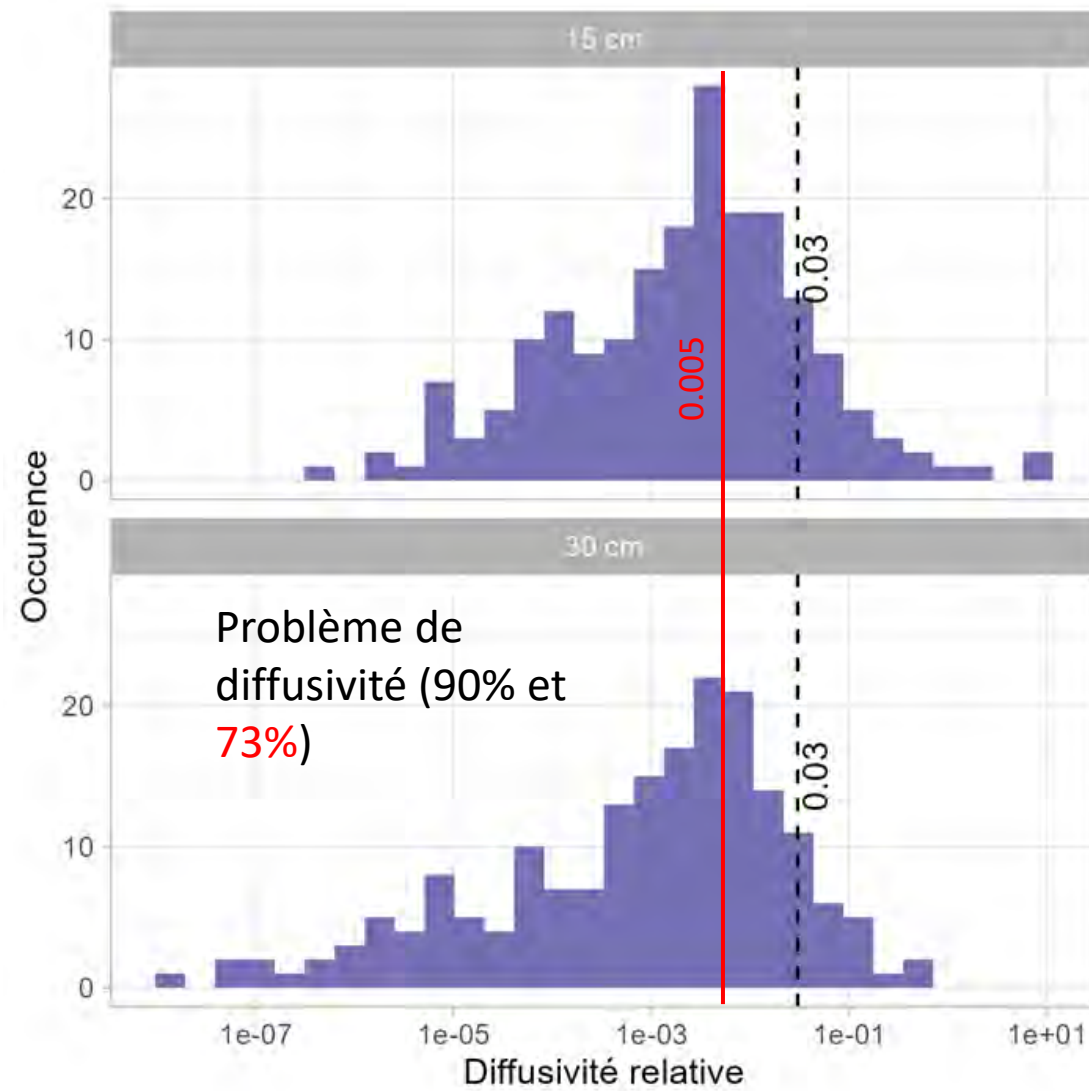
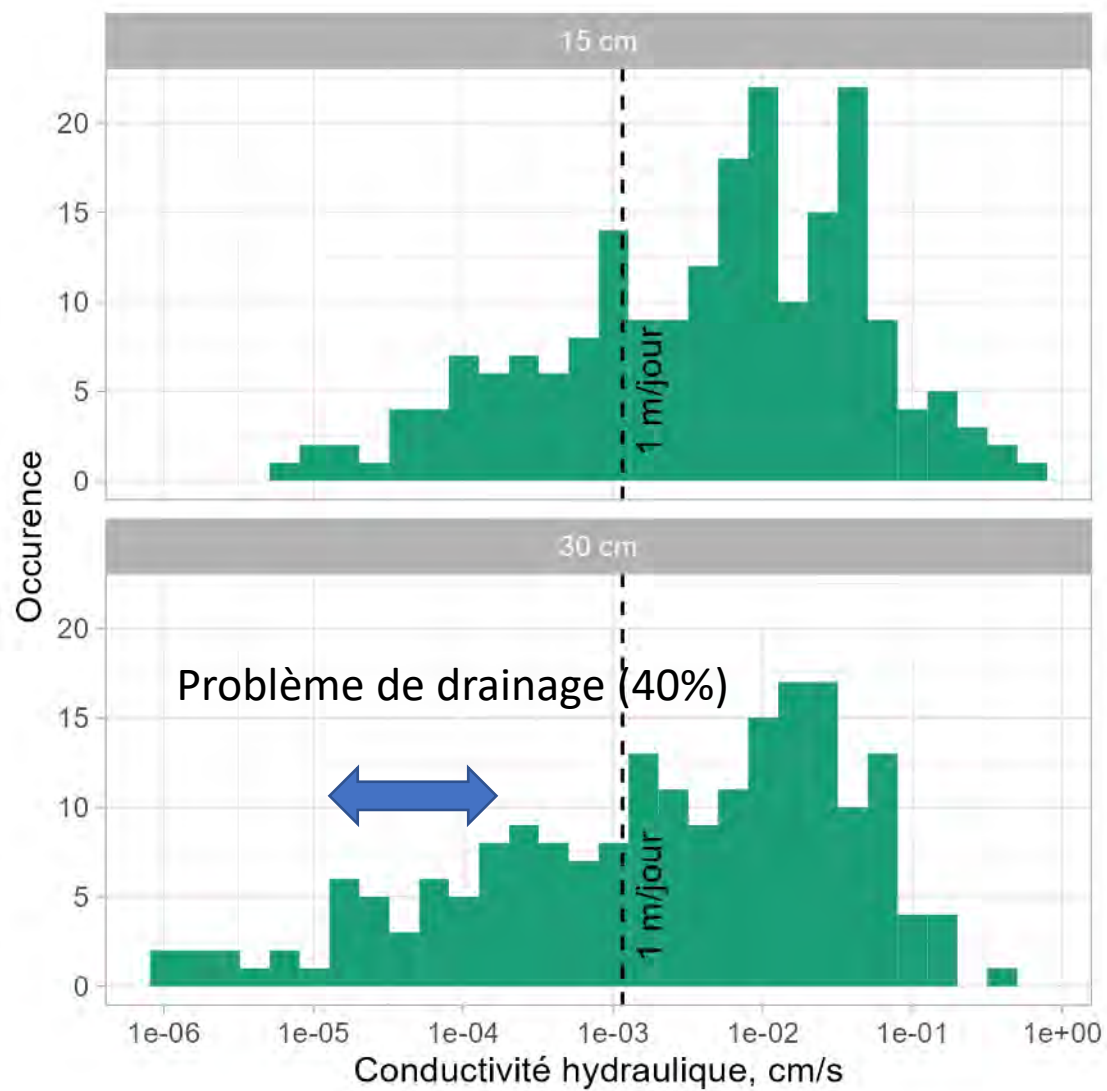
Charte d'interprétation avec valeur de seuil ($D_s/D_o=0.035$).
A partir de cette valeur, les 40 premiers cms vont tomber en stress d'oxygène



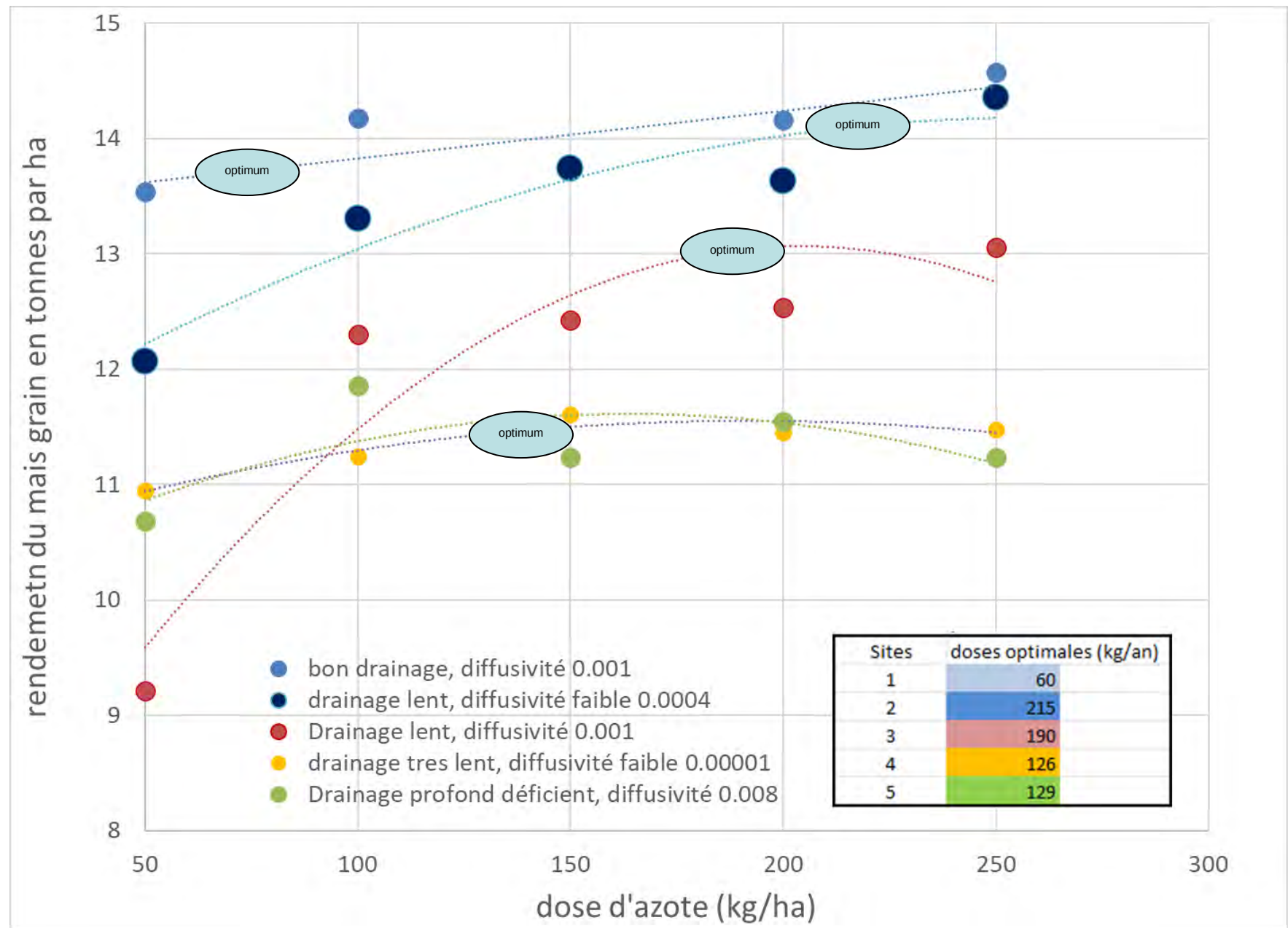


Source : Balaine et coll, 2013

Sols affaissés à risques élevés de dénitrification (10-60% de l'azote perdu)



Rendement et réponse à l'azote par site





L'impact d'une mauvaise santé des sols : le coût de l'inaction

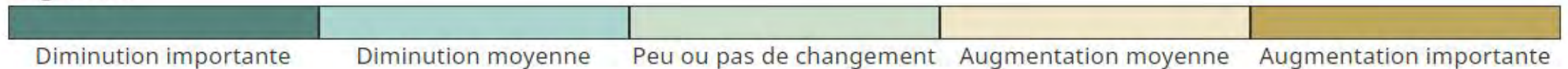
1. Portrait de l'état santé des sols aujourd'hui
- 2. Évolution observée de la dégradation des sols depuis les 50 dernières années**
3. Coûts engendrés par la détérioration de la santé des sols
4. Causes et solutions
5. Cas pratiques:
 - Indicateurs et méthodes de caractérisation
 - 2 exemples d'application

Le carbone organique chute de façon généralisée dans les zones en cultures dans l'Est du Canada

Figure 1: Variation de la teneur en carbone organique du sol (en kilogramme par hectare par année) au Canada en 2016

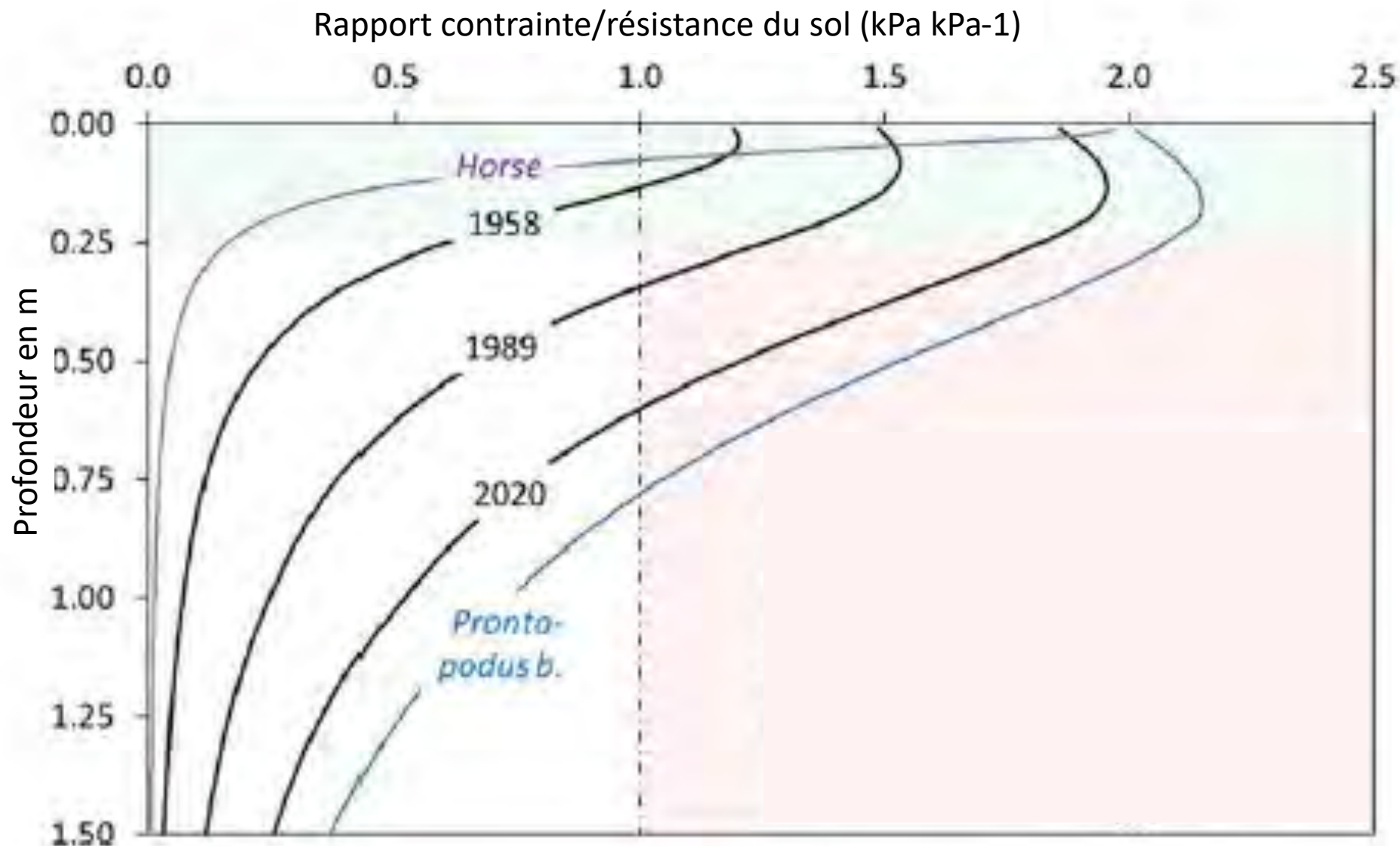


Légende:

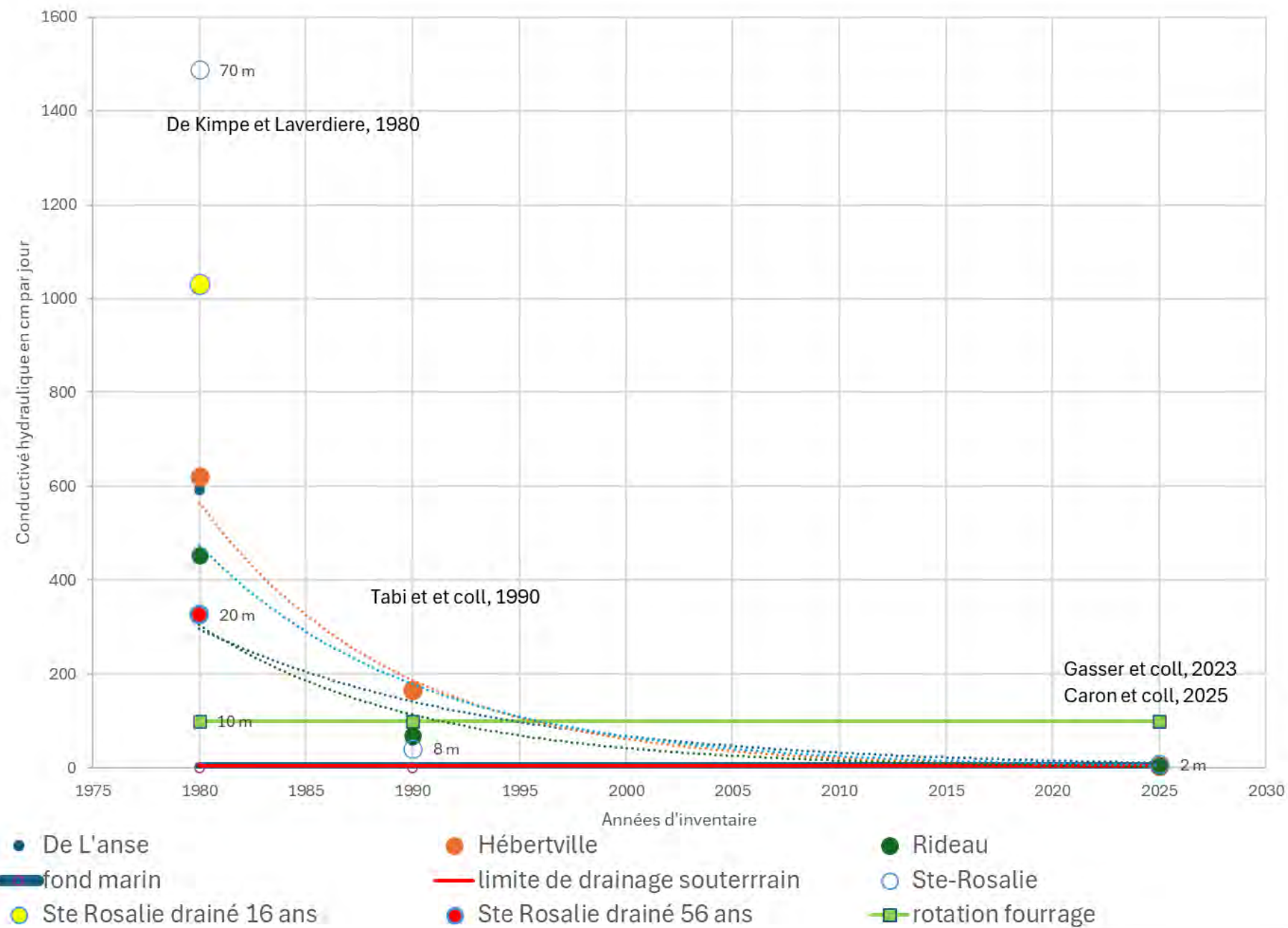




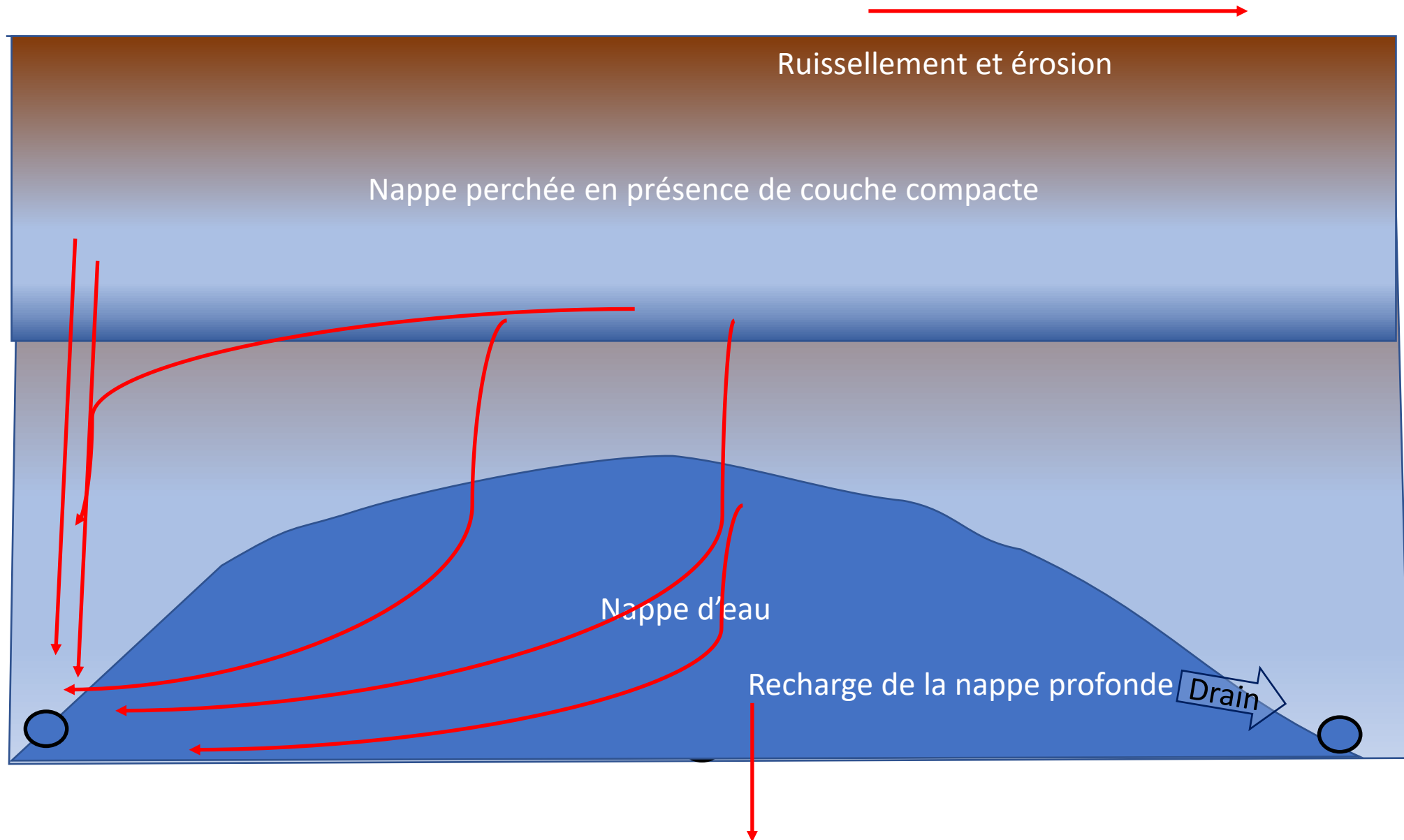
Le compactage est de plus en plus profond à cause du poids des équipements par surface qui se compare à l'empreinte des grands dinosaures!



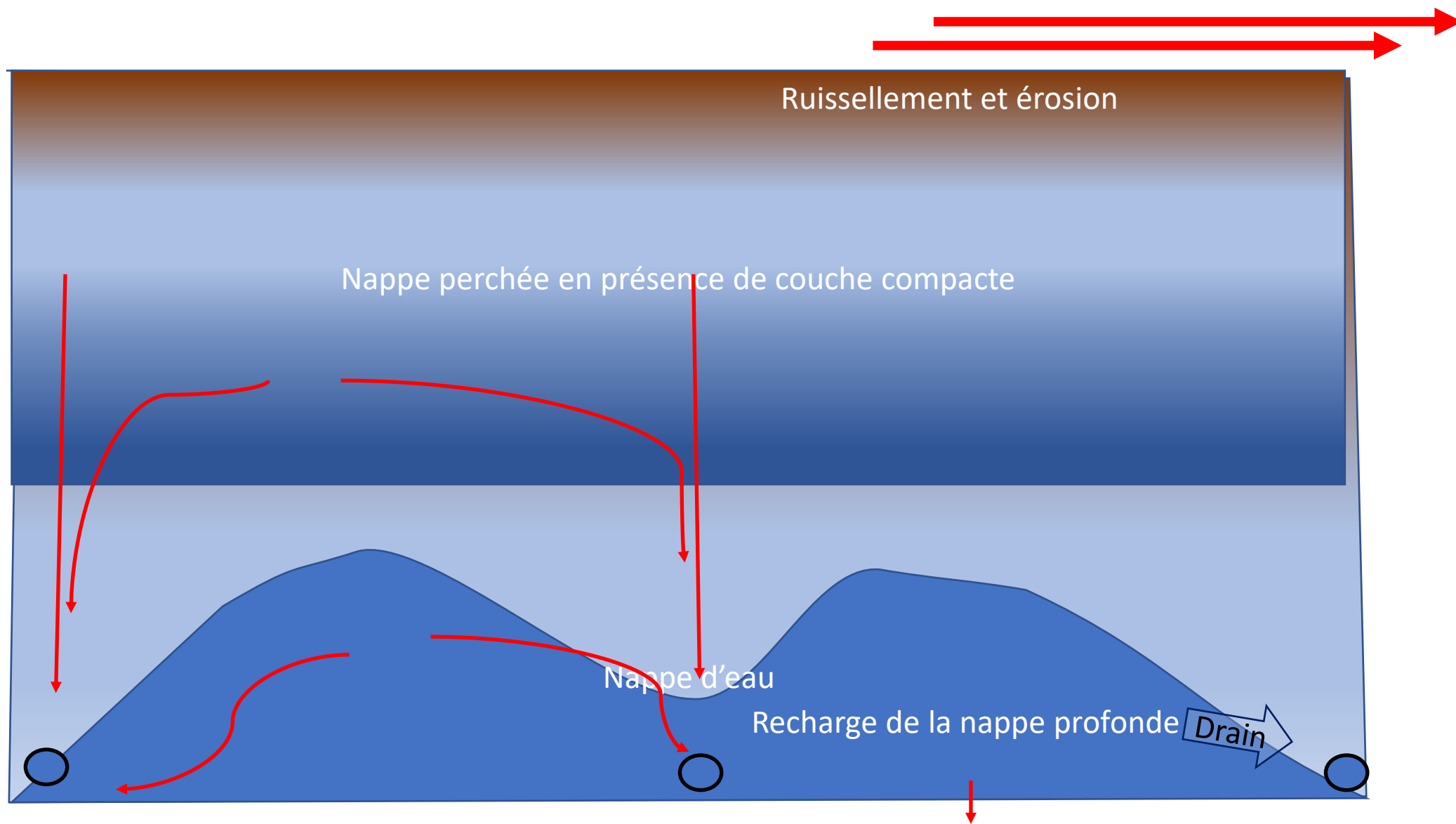
Répartition du rapport contrainte/résistance en fonction de la profondeur et du poids grandissant des équipements. Lorsque le rapport excède 1, il y a compactage du sol. La profondeur de compactage augmente donc avec les années due à l'accroissement du poids à la roue des équipements (Keller et Or, 2022)



Lignes d'écoulement d'eau dans un sol sans et avec une couche compacte



Lignes d'écoulement d'eau dans un sol avec une couche compacte avec doublement des drains



Rendement en maïs grain (moyenne trois ans) en production continue de maïs grain ('continuous corn') ou dans une rotation de deux années de luzerne ('rotation corn')

Drury, C. F., et al. (2014). Impacts of 49–51 years of fertilization and crop rotation on growing season nitrous oxide emissions, nitrogen uptake and corn yields. Canadian Journal of Soil Science, 94:421-433.

Table 2. Corn grain yields and N uptake for continuous corn and rotation corn with/without fertilization in 2007, 2008, 2009 and for the 3-yr average

Cropping system	Fertilization treatment	2007	2008	2009	3-yr average
<i>Corn grain yields at 15.5% moisture content ($t\ ha^{-1}$)</i>					
Continuous corn	Fertilized (F-CC)	5.61 (0.40) ^z	4.94 (0.24)	5.91 (0.54)	5.48 (0.17)
	Not-fertilized (NF-CC)	2.33 (0.18)	0.34 (0.096)	1.49 (0.13)	1.39 (0.08)
Rotation corn	Fertilized (F-RC)	9.35 (0.29)	8.73 (0.41)	11.9 (0.33)	10.0 (0.17)
	Not-fertilized (NF-RC)	3.88 (0.14)	4.40 (0.42)	3.51 (0.11)	3.93 (0.14)
<i>Corn grain N uptake ($kg\ N\ ha^{-1}$)</i>					
Continuous corn	Fertilized (F-CC)	69.8 (5.5)	65.8 (3.6)	63.3 (5.9)	66.3 (2.0)
	Not-fertilized (NF-CC)	19.8 (1.6)	3.8 (1.0)	14.5 (1.2)	12.7 (0.8)
Rotation corn	Fertilized (F-RC)	135.0 (5.5)	120.1 (6.6)	156.0 (6.2)	137.0 (3.4)
	Not-fertilized (NF-RC)	46.8 (2.2)	51.3 (5.1)	39.6 (1.2)	45.9 (1.8)
<i>F value and probability level</i>					
<i>Corn grain yield</i>					
Cropping system		95***	149***	149***	595***
Fertilization		260***	193***	380***	1233***
Cropping system × fertilization		16***	0.2	37***	47***
<i>Corn grain N uptake</i>					
Cropping system		127***	126***	183***	566***
Fertilization		285***	208***	359***	1097***
Cropping system × fertilization		22***	0.6	60***	74***

^zNumbers in parentheses are standard error ($n=8$).

*, **, *** Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability levels, respectively.

} Perte de 1.2% par an

} 70 kg N/ha



Confirmés par les observations suivantes

- On augmente la densité des drains parce qu'on observe une variabilité des gains de croissance importants au-dessus des drains
- Certains producteurs disent avoir augmenté la force de tracteur et la consommation de carburant pour faire le même travail
- Plusieurs intervenants de terrain et agronomes d'expérience rapportent la même observation
- Compagnies de drainage et les producteurs eux-mêmes observent dans plusieurs cas des réductions d'efficacité du système de drainage
- Certains producteurs rapportent devoir augmenter les doses d'engrais azotés pour obtenir les mêmes rendements



L'impact d'une mauvaise santé des sols : le coût de l'inaction

1. Portrait de l'état santé des sols aujourd'hui
2. Évolution attendue de la dégradation des sols depuis les 50 dernières années
- 3. Coûts engendrés par la détérioration de la santé des sols**
4. Causes et solutions
5. Cas pratiques:
 - Indicateurs et méthodes de caractérisation
 - 2 exemples d'application

Les sols évoluent! simulation dans le temps nécessaire pour le financement de long terme

- Culture continue de maïs-grain avec 1.2% de dégradation par an
- 230\$ la tonne de maïs-grain en dollars constant
- 50 kg d'engrais de plus par an pour compenser la dénitrification en sols dégradés (UAN32) à 600\$ la tonne
- 3500\$ par ha pour redrainer
- 75L de plus par ha de diesel pour travailler un sol compact à 1.75\$ du L
- Coût de production à 208\$ la tonne constant peu importe le niveau de récolte
- 127 ha de surface en production de maïs-grain
- Ne tient pas compte du gain génétique (source: études technico-économiques de secteur- Maïs-grain au Québec-Résultats finaux-CECPA mai **2021**)

La dégradation menace à long terme les profits par hectare et les profits totaux sur l'entreprise en production de grains (source: études techniques ou économiques de secteur- Maïs-grain au Québec-Résultats finaux-CECPA mai 2021) Source: Caron, Thomassin et coll, 2025

	Profits nets/ ha en mais grain							Total des revenus pour 127 ha en mais grain				
								pour 127 ha en mais grain				
	Rendement		+N +energie	doublage de drain					+N +energie	doublage de drain		
Années en continue en Années	T/ha	Dollars cdn \$	Dollars cdn \$	Dollars cdn \$				Dollars cdn \$	Dollars cdn \$	Dollars cdn \$		
0	12.5	587 \$	369 \$	401 \$				74 549 \$	46 874 \$	50 938 \$		
4	11.9	449 \$	231 \$	263 \$				57 023 \$	29 348 \$	33 412 \$		
5	11.75	415 \$	197 \$	229 \$				52 642 \$	24 967 \$	29 031 \$		
11	10.85	208 \$	(10) \$	22 \$				26 353 \$	(1 322) \$	2 742 \$		
16	10.1	35 \$	(183) \$	(151) \$				4 445 \$	(23 230) \$	(19 166) \$		
17	9.95	1 \$	(217) \$	(185) \$				64 \$	(27 611) \$	(23 547) \$		
25	8.75	(276) \$	(493) \$	(461) \$	525 \$	371 \$		(34 989) \$	(62 663) \$	(58 599) \$	33 306 \$	23 566 \$



L'impact d'une mauvaise santé des sols : le coût de l'inaction

1. Portrait de l'état santé des sols aujourd'hui
2. Évolution observée de la dégradation des sols depuis les 50 dernières années
3. Coûts engendrés par la détérioration de la santé des sols
- 4. Causes et solutions**
5. Cas pratiques:
 - Indicateurs et méthodes de caractérisation
 - 3 exemples d'application



Pourquoi en est-on rendu là?

- Gestion des sols: peu de rotations efficaces. On a besoin de systèmes racinaires profonds, de rotation longues à forts retours de matière organique, de reconnaître l'impact réel de dégradation de la terre
- Peu ou pas de mesure de terrain: masse volumique apparente, diffusivité des gaz, conductivité hydraulique saturée? On ne gère pas ce qu'on ne mesure pas!!
- Poids des tracteurs: Trop élevé, plusieurs petits tracteurs robotisés, circulation localisée?

Réflexions sur le compactage

Outre les facteurs habituels (poids de l'équipement, circulation localisée, mauvais gonflage des pneus..) deux facteurs particuliers au Québec qui amènent réflexion

- La production se fait à 40 % en terrain loué et avec de l'équipement de plus en plus gros, ce qui n'encourage pas la mise en place des pratiques de conservation et d'investissement de long terme dans la santé physique du sol
- Plusieurs chercheurs se sont inquiétés de l'indice tracteur, faisant ressortir dans les bilans d'entreprises agricoles une valeur à l'hectare de tracteur trois fois plus élevée au Québec que dans le reste du Canada et ce ratio s'observe depuis de nombreuses années.

Tableau 10 : Valeur moyenne des tracteurs/ha au Canada et au Québec

\$ tracteur/hectare (toutes productions confondues)	2001	2006	Variation
Canada	190	205	+ 7,9 %
Québec	545	630	+ 15,6 %
Québec/Canada	2,87	3,07	

Source : Recensement de l'agriculture 2006, Statistique Canada, valeur marchande.

Retour à la terre

- Devrait-on revenir à une production de luzerne comme avant, restaurer des bosquets, planter des lignes d'arbres (agroforesterie) dans certaines sections du champ?
- Engrais verts, seigle, blé d'automne?
- Est-ce que ça peut restaurer les sols et améliorer le drainage?
- Est-ce que ça peut décompacter?



Les indicateurs sous rotations avec fourrages sont intermédiaires ou optimaux!
N.B. Aucune information suffisante à long terme pour d'autres scenarios (céréales d'hiver, intercalaires et engrais verts) (Caron, Thomassin et coll, 2025)

	Moyenne des rapports		Moyenne	Moyenne des rapports	Moyenne des rapports	Moyenne des log	Moyenne des rapports	Moyenne log	Moyenne log gas diffusivité	Moyenne des rapports
Indicateurs	Masse volumique apparente		Porosité d'air		conductivité hydraulique saturée		diffusivité des gaz			
unités cultures	g cm ³		cm ³ cm ⁻³		cm s ⁻¹		cm s ⁻¹			
maïs-grain	1.45		0.05		4.85E-04		-3.31			
fourrages	1.40	0.97	0.10	2.00	2.23E-03	-2.65	16.17	1.03E-03	-2.99	16.20
forêts	1.33	0.88	0.25	4.91	1.85E-02	-1.73	30.08	6.54E-03	-2.18	32.97
Probabilité (dl)	0.011		0.003		0.009		0.009			

Peu de données de long terme (10-30 ans) sur engrais verts

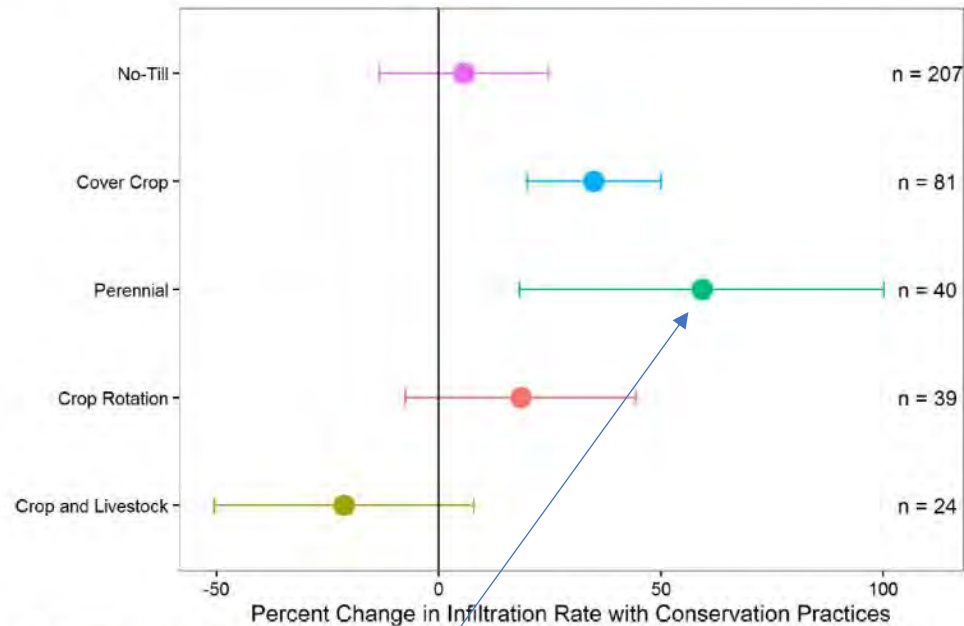


Fig 4. Percent change in infiltration rate with the five alternative agricultural practices included in the analysis compared to conventional controls (mean $\pm$ 95% confidence interval, n = number of paired comparisons per practice).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215702.g004>

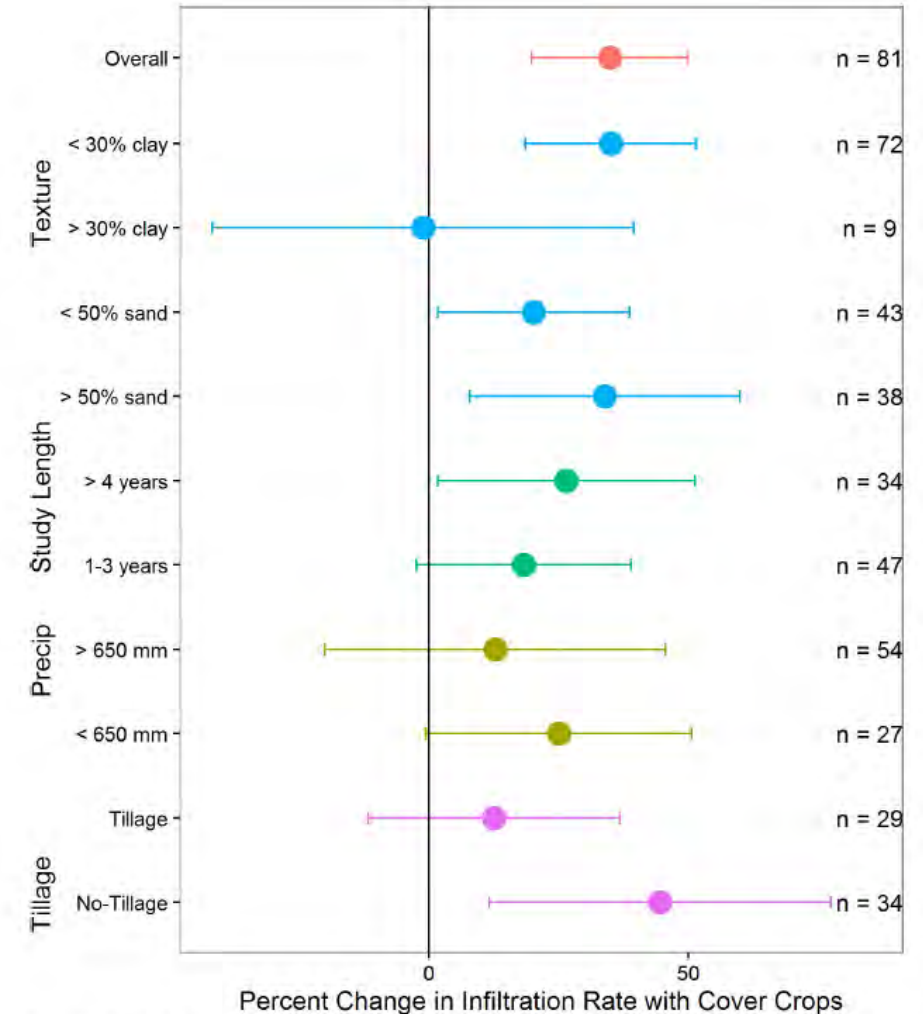


Fig 6. Response of infiltration rates to subsets of cover crop experiments. Means and 95% confidence intervals calculated using fixed effects for subsets related to annual precipitation, study length, soil texture, and tillage practice (n = number of paired comparisons).

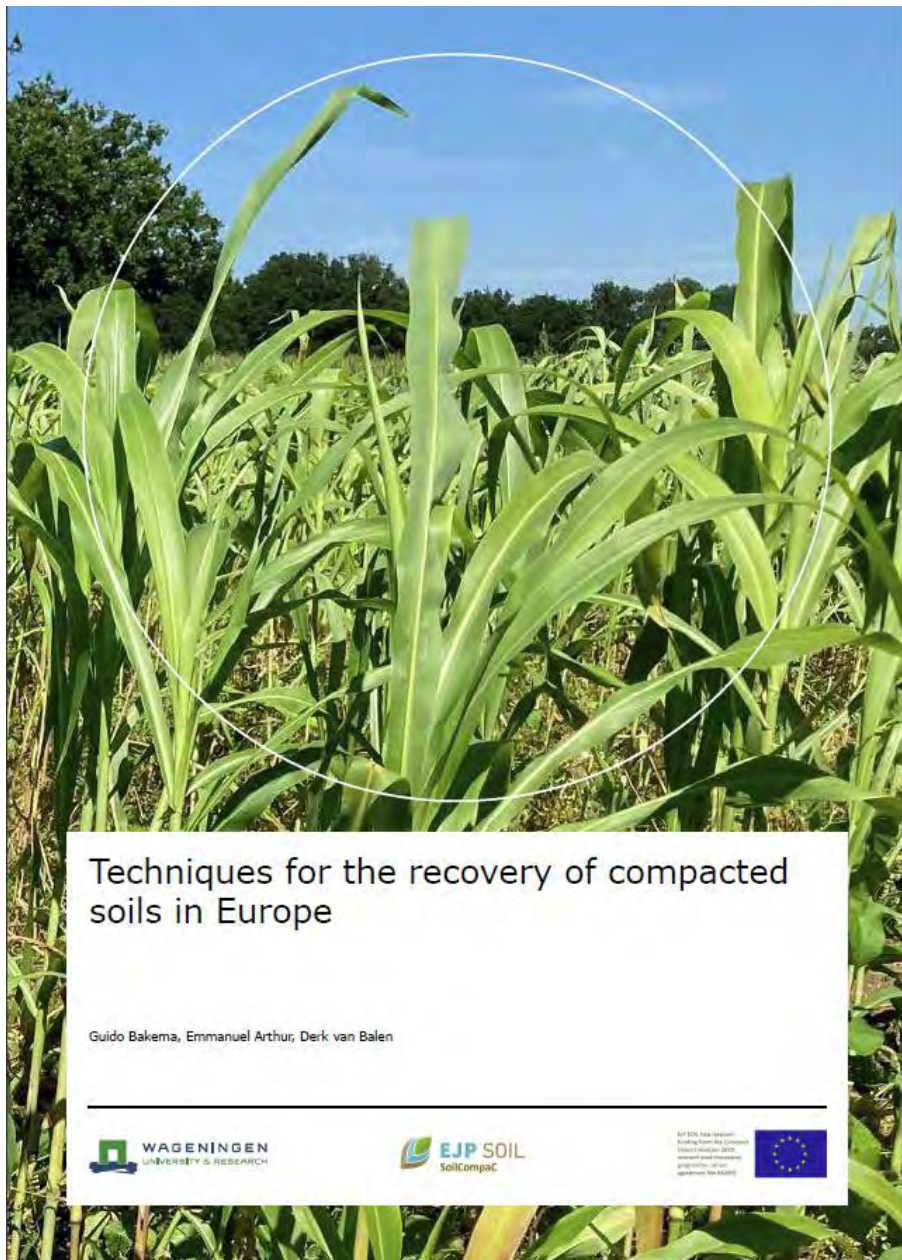
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215702.g006>

agroforesterie, prairies permanentes et forêts aménagées

Solutions envisagées

- ✓ Rotations longues (2 ans annuelles): effets éphémères en sol organique
- ✓ Amendements de surface: doses trop faibles et très immobilisant
- ✓ Drainage conventionnel: la moitié de l'effet perdu en trois ans
- ✓ Sous-solage: un seul essai non concluant
- ✓ Tranchées drainantes: trop chères et effet sur 25 % des sites seulement
- Haies de saule: le seul qui ait montré de véritables améliorations actives plusieurs années (2-6 ans) après la destruction de la haie de saules suivant deux à quatre ans d'implantation





How to measure recovery rate and soil compaction?

Most studies emphasize measuring soil mechanical parameters to determine recovery rate. Dry bulk density and penetration resistance are the most commonly measured parameters in this regard. However, it is known that these parameters are strongly influenced by the prevailing moisture conditions and the tillage activities performed. It might be better to also look at the conditions that influence root growth and thus directly affect crop yield. This means paying more attention to the influence a compacted layer has on air and water flow and retention. By reasoning more from the conditions of the plant and less from the soil mechanics perspective, a more precise picture of the degree of soil compaction and the effectiveness of a recovery technique can be obtained. Understanding this process properly requires more research that

Comment faire le suivi de la compaction?

... mettre moins d'accent sur la résistance mécanique du sol (masse volumique apparente et résistance à l'enfoncement) et plus sur le stockage et les échanges d'eau et d'air (eau disponible, porosité d'air, diffusion des gaz et conductivité hydraulique saturée)

Which recovery technique is preferred?

In the past, the choice was often made to mechanically crack of the compacted soil. This resulted in short-term improvement but often recompaction occurred several years later. The main disadvantage of mechanical methods is that often the complete soil structure is disturbed, which strongly reduces the mechanical strength and moisture delivery capacity. The mechanical method is useful for certain soils if executed with the right equipment and under not-too-wet conditions. However, its loosening effect will only be preserved if afterwards traffic loads are strongly reduced and cover crops with high belowground biomass are used.

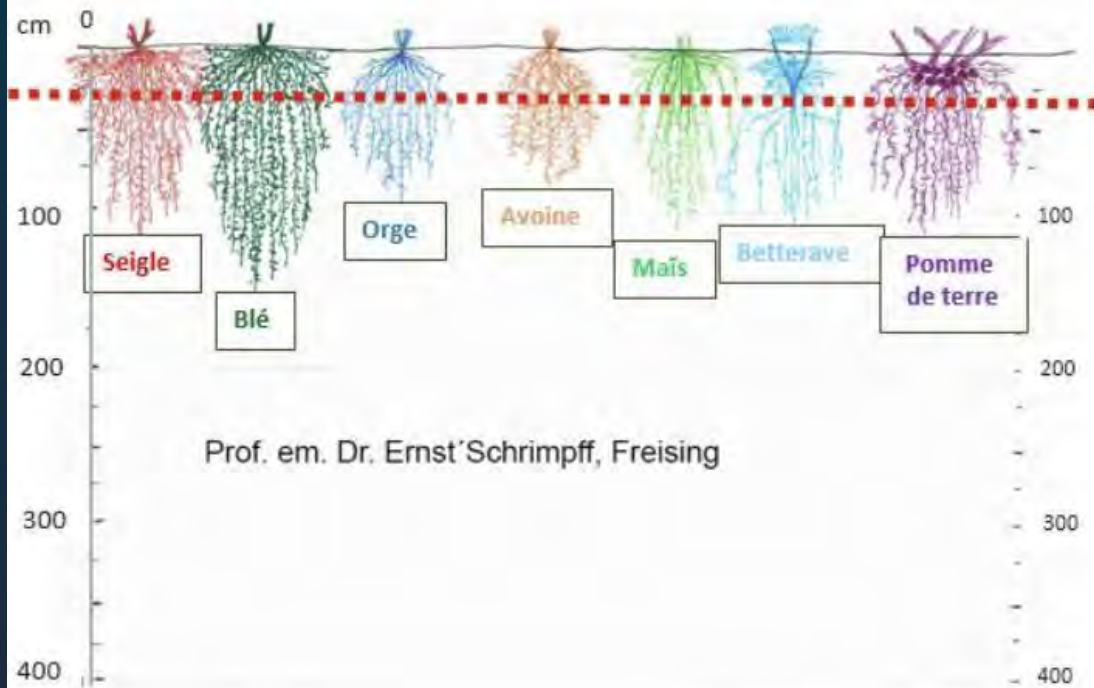
However, to prevent disruption of natural structures and fast recompaction, it is better to choose more natural recovery methods. For especially some of the heavier soils, dehydration and freezing can restore the soil structure but the effect on the subsoil (> 25 cm bs.) seems generally limited. The most promising is the use of deep-rooting plants: biosubsoilers. This is because they have an effect right down to the subsoil and also have a limited negative influence on the topsoil.

Quelle est la technique à privilégier pour éliminer le compactage?

...Dans le passé, on a préféré les méthodes mécaniques mais on recommande **maintenant l'utilisation de systèmes racinaires profonds** qui atteignent rapidement les horizons inférieurs...

La capacité d'exploration des systèmes racinaires

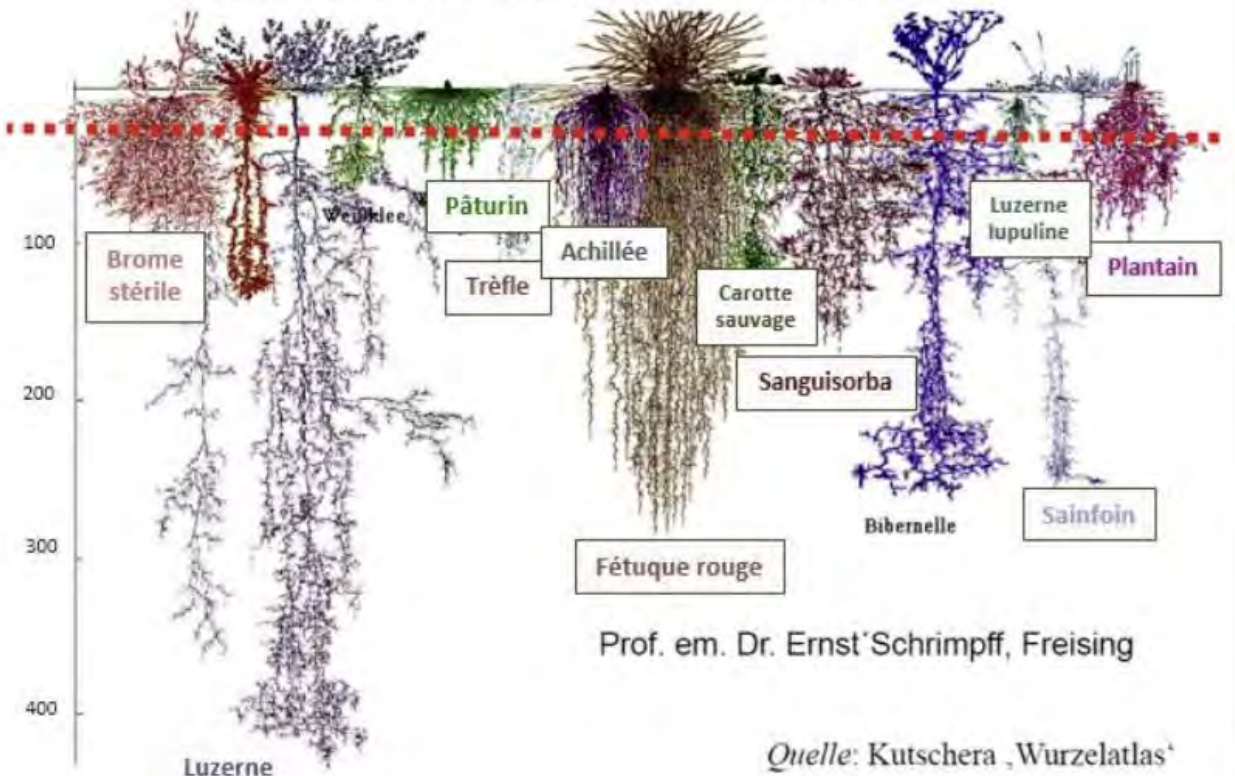
Racines de cultures



Prof. em. Dr. Ernst Schimpff, Freising

Quelle: Kutschera 'Wurzelatlas'

Racines des plantes de prairies d'Europe centrale



Prof. em. Dr. Ernst Schimpff, Freising

Quelle: Kutschera 'Wurzelatlas'



Quelle rotation pour reconstruire le sol?

- **Pas suffisamment de résultats pour des scénarios d'intercalaires, seigles, engrais verts ou de l'effet d'une troisième culture**
- **Rotations longues nécessaires dans certains cas:** prairies sur plusieurs années, ou systèmes à forts retours de matières organiques et à enracinement profond. Peu de données de long termes disponibles.
- Parfois des rotations de luzerne sur deux ans suffiront. Parfois des haies de saules, des brise-vent, d'autres systèmes agro forestiers pourront être une solution
- Mais ensilage sans doute pire...Céréales grainées ?

Impact à long terme d'une rotation fourragère de luzerne (2 ans-2 ans de production mais soja). La luzerne est implantée, fauchée périodiquement et non vendue (simulation exploratoire) sur la moitié des surfaces (Caron, Thomassin et coll, 2025).

		13.5 ha en maïs luzerne
		2 ans de luzerne + haies
Années en c	Années	Dollars cdn \$
		23 566 \$
		23 566 \$
		23 566 \$
		23 566 \$
		23 566 \$
		23 566 \$

Les rotations fourragères stabilisent les revenus à long terme à cause de leurs effets sur la santé du sol! Pas le maïs ensilage!!!



Le rendement reste à 12.5 T/ha avec rotations

Quelle est cette troisième culture?

- **Des expériences et des essais supplémentaires** sont nécessaires pour évaluer correctement les impacts financiers, agronomiques et écosystémiques de cultures alternatives d'une transition nécessaire, de systèmes de culture intercalaires, de céréales grainées ou de céréales d'automne pour vérifier si la dégradation est aussi marquée **mais les données ne sont malheureusement pas disponibles et demandent des scénarios implantés sur des durées minimales de 10 à 20 ans pour qu'on y voit des effets.** Efforts supplémentaires à prévoir dans cette direction.
- Le modèle de production classique de rotation maïs soya est à revoir et **est une voie sans issue à long terme**, même avec une augmentation attendue des surfaces en culture et ce à cause de la dégradation des sols. **C'est aussi vrai pour le maïs ensilage.**
- Les résultats sont très clairs en ce qui concerne la santé physique des sols: **les rotations fourragères de long terme sont nécessaires**, parfois insuffisantes
- **La rémunération viendra des économies réalisées, de l'arrière-effet azoté et de la productivité maintenue.**
- La rémunération **de demain** va venir des services écosystémiques réels rendus, donc mesurés, ce qui se met déjà en place dans plusieurs pays



L'impact d'une mauvaise santé des sols : le coût de l'inaction

1. Portrait de l'état santé des sols aujourd'hui
2. Évolution observée de la dégradation des sols depuis les 50 dernières années
3. Coûts engendrés par la détérioration de la santé des sols
4. Causes et solutions
5. **Cas pratiques:**
 - **Indicateurs et méthodes de caractérisation**
 - **2 exemples d'application**

Santé physique du sol: méthodes, paramètres et interprétation



1. **Observer le profil et caractériser à l'aide d'indicateurs**
2. Regrouper les données et les comparer
3. Pousser le diagnostic plus loin
 1. Drainage
 2. Compactage
 3. Aération de surface
 4. Risque de dénitrification
 5. Spatialisation

Important de mesurer les bons paramètres!

- Sessions de formation qui existent (réseau québécois de recherche en agriculture durable (RQRAD), formation continue à l'université Laval, ...)
- Enseigné au baccalauréat en agronomie et en génie agroenvironnemental
- Les technologies et les protocoles pour le faire existent aussi
- Laboratoires qui font des analyses des cylindres recueillis (IQDHO)
- Prisme planifie offrir un service aux producteurs de sols organiques et minéral
- Vos clubs conseils?
- Firmes de génie conseils?
- Compagnies privées en drainage et des grosses entreprises qui ont des technologies adaptées pour faire ce genre de caractérisation
- Formation, instrumentation et conseil spécialisé (www.edaphis.com) en soutien 2^e ligne

Recommandations au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

- 1 Acquérir les connaissances nécessaires quant à l'état de santé des sols et son évolution ainsi qu'aux pratiques agricoles qui ont cours, pour être en mesure de mieux identifier les enjeux, établir les priorités et soutenir ses décisions.
- 2 Orienter de manière plus efficace les producteurs agricoles pour les amener à adopter plus rapidement des pratiques agricoles durables favorisant la santé et la conservation des sols.
- 3 S'assurer que les mesures mises en place pour accélérer l'adoption de pratiques agricoles durables favorisant la santé et la conservation des sols sont efficaces, et qu'il fait un suivi suffisant de ces mesures.

Recommandation à La Financière agricole du Québec

- 4 Inclure dans ses programmes de soutien financier des conditions suffisantes pour accélérer l'adoption de pratiques agricoles durables favorisant la santé et la conservation des sols.

Santé physique du sol: méthodes, paramètres et interprétation

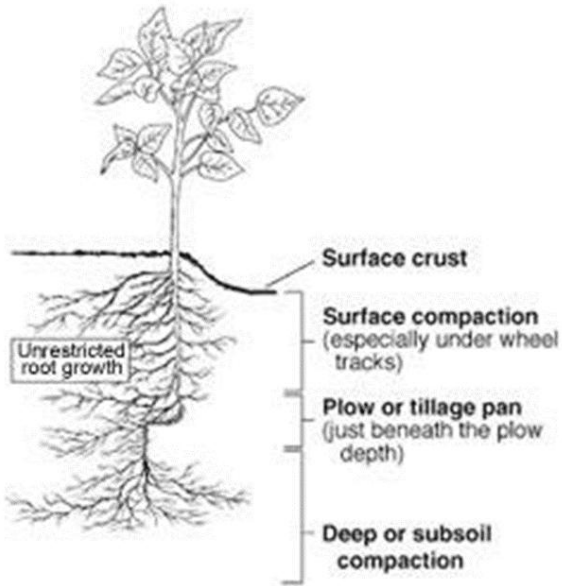


1. Observer le profil et caractériser à l'aide d'indicateurs
- 2. Regrouper les données et les comparer**
- 3. Pousser le diagnostic plus loin**
 - 1. Drainage**
 - 2. Compactage**
 - 3. Aération de surface**
 - 4. Risque de dénitrification**
 - 5. Spatialisation**

Cas pratique 1:
décision de gestion de sols



Résultats d'analyses de sol au moment de la mesure (sol sec en maïs-grain, maïs grain court et pâle, sol plus humide sous luzerne, très vert)



Résultats du champ																
Date du forage 18 juin, 2024						Temperature a 15 cm	Profondeur 1	Profondeur 2	diffusivité relative	diffusivité relative	taux respiration	taux respiration				
Unités	Client		Champ	Position	date du traitement	oC	cm	cm	15 cm	25 cm	cm ³ O ₂ cm ⁻³ s ⁻¹	g O ₂ m ⁻² jour ⁻¹ a 20 cm				
	ed		luzerne	P1	23/06/2024 14:52	26.8	15	25	0.049	0.029	4.01E-07	9.90	couche compacte (25 cm)			
	ed		mais-grain	P1	23/06/2024 15:06	27.2	15	25	0.015	0.022	1.27E-07	3.14	Couche compacte (15 et 25 cm)			
	Fichier	Client	Field	Position	Date	Method	Porofondeur		Latitude	Longitude	Porosité totale	teneur en eau volumique initiale	Porosité d'air	Masse volumique apparente	Kfs	Alpha
Unités							cm				cm ³ cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	g cm ⁻³	cm s ⁻¹	m ⁻¹
	ed-alf-p1-ks-30.csv	ed	luzerne	p1	2024-06-18	ks	30		46.73195608	-71.5064268	0.48	0.40	0.08	1.39	0.000896	0.12
	ed-corn-p1-ks-30.csv	ed	mais-grain	p1	2024-06-18	ks	30		46.73204662	-71.5063611	0.43	0.19	0.24	1.51	1.45E-06	0.04

Important de diagnostiquer. Quels indices en sols minéraux et quelles valeurs seuils de comparaison?

Caractéristiques	Paramètres	Unités	Valeur seuil minimale	Valeur optimale	Valeur excessive	Mais grain 30 cm	Luzerne 30 cm
drainage	rabattement	Cm j ⁻¹	10	30 et uniforme		2 cm par jour	30 cm par jour
aération	Porosité d'air au champ	Cm ³ cm ⁻³	0,10	0,25		0,24 (0,19 d'eau)	0,08 (0,40 d'eau)
aération	Diffusivité des gaz	m ² s ⁻¹ m ⁻² s	0,005	0,035		(0,015) 0,022	(0,049) 0,029
Localisation de couches compactes	Masse volumique apparente	g cm ⁻³	0,90	1,1	1,5 (sols argileux)	1,51	1,39
drainage	Conductivité hydraulique saturée	Cm s ⁻¹	0,0011 (ou 1 m par jour)		0,010	0,00000145	0,000896

Calcul de l'espacement des drains

$$q = \frac{4 K h^2}{L^2}$$

Généralement les coûts d'aménagement se situent dans les écarts suivants :

- le réseau hydraulique : 200 à 400 \$/hectare
- l'aménagement de surface : 300 à 600 \$/hectare
- le drainage souterrain : 2 500 à 3 500 \$/hectare

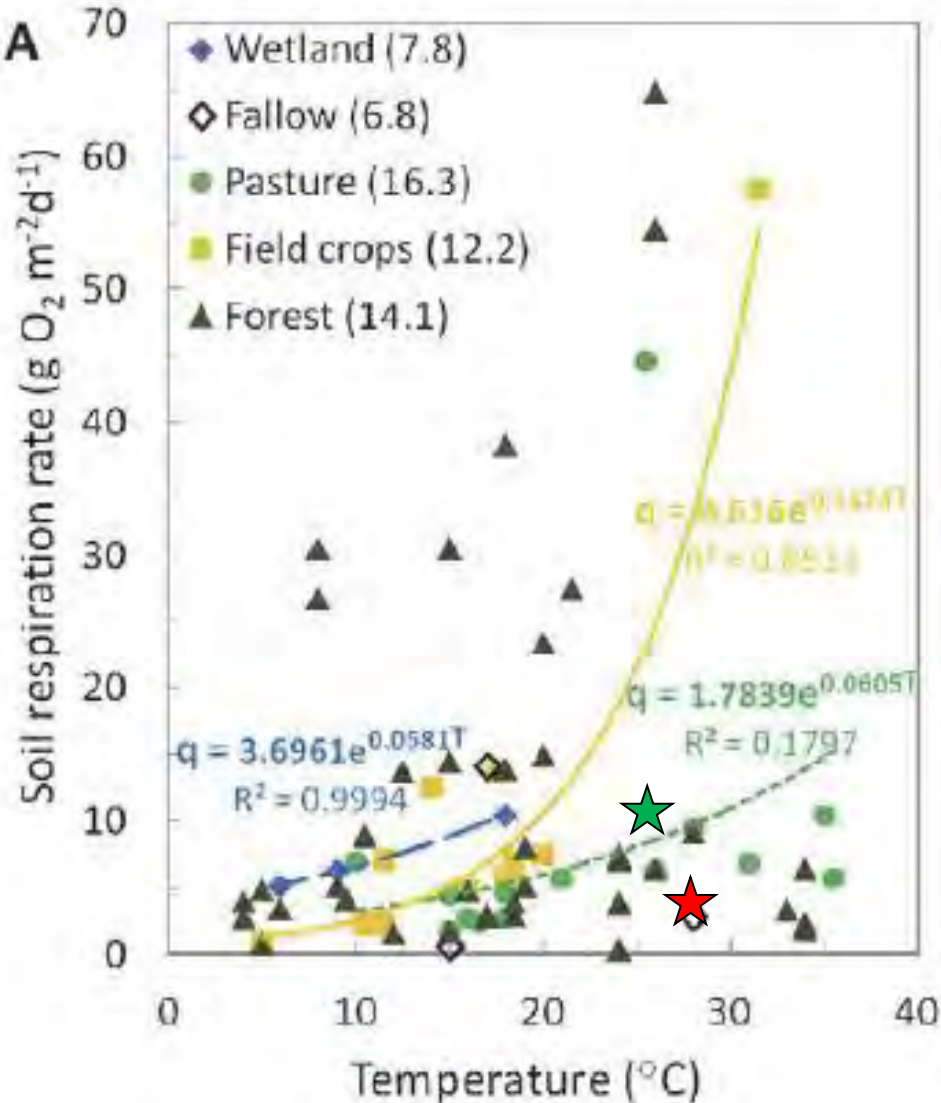
Référence Savoie, V. Formation drainage de surface
OAQ 2009-2010

Culture	espacement (L en m)
luzerne	12.3
maïs	0.5



On voit la
gléyification qui
réapparaît dans le
profil intensément
cultivé (maïs-soja 25
ans)
(Journée santé des
sols RQRAD 2025)

Taux respiratoire pour différents couverts végétaux (en g de O₂ par m² par jour)



La plante est-elle en santé? Mesure du taux respiratoire

	diffusivité relative	taux respiration	taux respiration	
		cm ³ O ₂ cm ⁻³ s ⁻¹	g O ₂ m ⁻² jour ⁻¹ a 20 cm	
Champ	25 cm			
luzerne	0.029	4.01E-07	9.90	couche compacte (25 cm)
maïs-grain	0.022	1.27E-07	3.14	Couche compacte (15 et 25 cm)

Source: Ben-Noah, I., and S.P. Friedman. 2018. Review and evaluation of root respiration and of natural and agricultural processes of soil aeration. Vadose Zone J. 17:170119. doi:10.2136/vzj2017.06.0119

Conclusions du cas 1 sur la gestion du sol

- Parcelles en maïs-grain
 - Améliorer la santé de surface par des rotations
 - Sous solage + engrais verts car compactage en surface
 - Drainage de surface pour l'instant ou combiné
- En luzerne-mil:
 - drainage souterrain aux 12-15 m si non drainé après une caractérisation complète du site (niveau, fossés existants, etc.)
 - Continuer la rotation pour éviter la dégradation

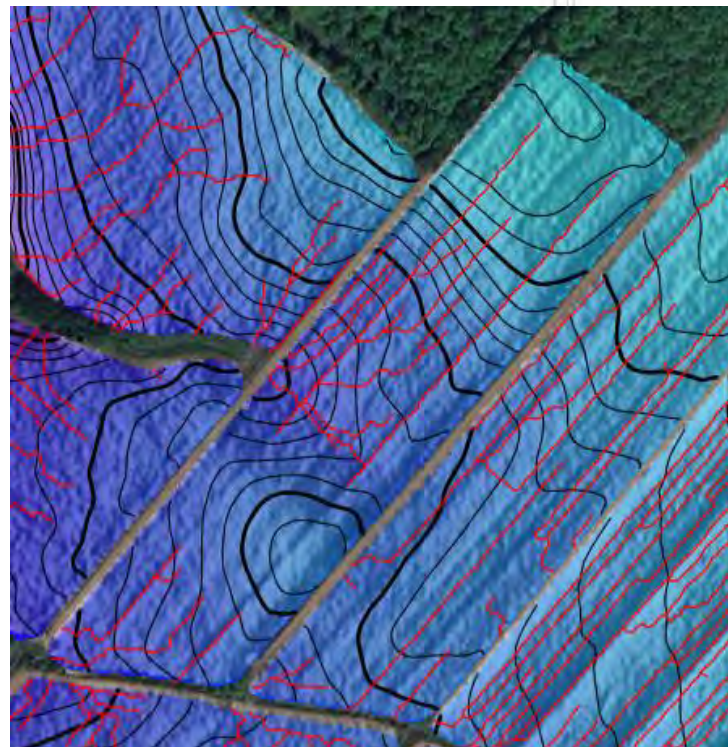
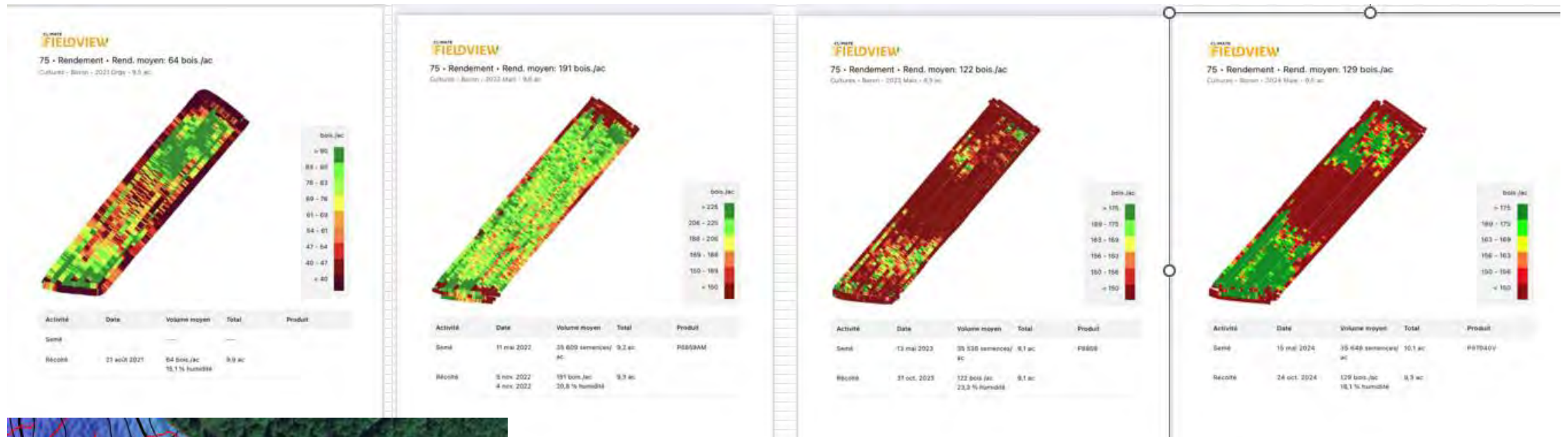


Cas pratiques 2: gestion localisée

Santé physique du sol: méthodes, paramètres et interprétation



- 1. Observer le profil et caractériser à l'aide d'indicateurs**
- 2. Regrouper les données et les comparer**
- 3. Pousser le diagnostic plus loin**
 1. Drainage
 2. Compactage
 3. Aération de surface
 4. Risque de dénitrification
 - 5. Spatialisation**



année	rdt en tonne par ha		
	Moyenne	Bon sol	Mauvais sol
2022	12.00	12.88	5.66
2023	7.67	10.62	5.66
2024	8.11	11.31	5.66
moyenne 3 ans	9.26	11.61	5.66

Tableau représentant les données de la zone à problème						
Profondeur(cm)	Ks	MVA	teneur en eau Θ	Compacité	porosité d'air	porosité totale
15	0,000039	1,42	0,20	0,56	0,24	0,44
40	0,000104	1,45	0,16	0,57	0,28	0,43
70	0,000049	1,48	0,20	0,58	0,22	0,42

Tableau représentant les données de la zone de référence						
Profondeur(cm)	Ks	MVA	teneur en eau Θ	Compacité	porosité d'air	porosité totale
15	0,0029	1,11	0,15	0,43	0,41	0,57
40	0,0014	1,45	0,19	0,57	0,24	0,43
70	0,0018	1,56	0,20	0,58	0,19	0,39

Conductivité:
Bon: 1,56 m/j
Mauvais: 0,04 m/j
Espacement: Bon 17 m
Mauvais: 3 m

		Bonne zone	Mauvaise zone
revenu	à 250\$ la tonne	2 901.57 \$	1 414.12 \$
depense		2 288.00 \$	2 288.00 \$
profit net/ha		613.57 \$	(873.88) \$
Rendement moyen (T/ha)		9.2	
pour tout le champ			
Profit net sur tout le champ		70.00 \$	
Profil net si 60% cultivé		1 371.22 \$	
Profil net si 60% cultivé et 40% en rotation		878.60 \$	

Le cas 2: Réduire les surfaces... c'est contre intuitif

- Réduire le travail
- Réduire la taille du tracteur
- Augmenter les profits
- Réduire l'endettement (l'indice tracteur)
- Réduire le risque de contamination par ruissellement (pesticides, phosphore)
- Réhabiliter son sol pour hausser le niveau de productivité
- Respecter la bande riveraine



Les changements climatiques sont des facteurs aggravants... et sont donc une cause partielle

- Les changements climatiques vont accentuer les problèmes de santé physique du sol mais au départ, on a par la monoculture perdu énormément de résilience, d'effet tampon du sol, de la capacité à pardonner... et de plus , on était déjà en 1990 sous productifs dans une majorité de cas et ça pourrait continuer....

Le vent se lève! Il faut tenter de vivre! *(P. Valéry, Le cimetière marin)*

- Initiative de l'association québécoise des spécialistes en sciences sols (150 chercheurs spécialisés dans les sciences sols au Québec) et du réseau québécois de recherche en agriculture durable (200 chercheurs) qui planifient la mise en place d'un réseau de parcelles de longue durée, à grande échelle (1 à 2 ha) comprenant des scénarios de culture conventionnelle mais aussi des scénarios alternatifs agro forestiers, des rotations longues et d'autres scénarios
- Clinique en santé des sols RQRAD, webinaires santé des sols, conférences, colloques..
- Transfert du logiciel de gestion des sols Agirrsol vers les utilisateurs (J. Lafond, Univ. Laval)
- Guide du CRAAQ en préparation sur les diagnostics de santé physique des sols (mai 2026)
- Conseillers se forment, les laboratoires et les technologies existent! À vous de décider!



Bénéficiez de services-conseils diversifiés!



Domaines d'intervention	Thématiques d'intervention	Taux d'aide financière	Aide financière maximale par entreprise par domaine d'intervention pour la durée du programme	Enveloppe budgétaire maximale par entreprise pour la durée du programme	
				Entreprise agricole ou agroalimentaire	Entreprise de la relève ou détenant une certification biologique ou une précertification biologique
Agroenvironnement	Diagnostics y compris le Plan d'accompagnement environnemental	75 %	19 000 \$	30 000 \$	40 000 \$
	Suivis en agroenvironnement				
Technique	Pratiques culturales	50 %	17 000 \$		
	Pratiques d'élevage				
	Transformation et commercialisation				
Gestion	Diagnostics	50 %	20 000 \$		
	Analyse financière et technico-économique				
	Plans d'action				
	Plans de transfert et de démarrage				
	Suivis en gestion				
	Organisation de données				
	Gestion des ressources humaines				

¹ Les pourcentages et les sommes maximales de l'aide financière pourraient être majorés selon des priorités régionales déterminées par chaque réseau Agriconseils ou en fonction d'initiatives stratégiques mises en œuvre.

Conclusions

« Quoi que tu rêves
d'entreprendre, commence-le.
L'audace a du génie, du pouvoir,
de la magie ».

Auteur : Johann Wolfgang von Goethe.

**Creusons la terre et la tête,
rêvons demain, agissons
aujourd'hui!**



RECOMMANDATIONS ASSOCIÉES SUR LA SANTÉ PHYSIQUE DES SOLS: PRIORITÉS D'ACTION, PAR ORDRE D'IMPORTANCE

- **Agir maintenant**
- **Reconnaître le coût inhérent de la dégradation** des sols et le besoin de l'inclure dans la planification
- Faire caractériser ses sols et son environnement de production **pour faire de l'intervention localisée pour la conservation des sols et l'utilisation optimale de l'eau**
- Explorer des **pratiques alternatives au scénario maïs-soya et maïs ensilage**
- Revoir les séquences de rotations longues et la pertinence des systèmes agroforestiers pour sortir de la spirale de dégradation
- **Revoir le poids et les patrons de circulation** des équipements de récolte et d'épandage (attention aux forfaitaires et à la location).



Merci de votre participation et de votre invitation!

**Merci aux partenaires financiers de cette étude: Axelys,
Solenio Inc, Groupe Pleine Terre, Elmec inc. ainsi qu'à
l'Université Laval**

**Remerciements V. Grégoire pour les résultats et P. Thomassin
pour les calculs économiques**

