

GÉRER L'EAU EN GRANDES CULTURES BIOLOGIQUES : OBJECTIF TERRAIN

**22-014-PAD-SPGBQ
(7143210)**

DURÉE DU PROJET : 2022-04 / 2024-12

RAPPORT FINAL

Réalisé par :

Mylène Généreux, agr., M.Sc.
Caroline Côté, agr., Ph.D

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

1^{er} décembre 2024

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

GÉRER L'EAU EN GRANDES CULTURES BIOLOGIQUES : OBJECTIF TERRAIN

22-014-PAD-SPGBQ

RÉSUMÉ DU PROJET

Le Québec dispose de plusieurs sources d'information concernant les pratiques de conservation de l'eau, afin d'en optimiser l'usage et de réduire le transport des contaminants vers l'eau de surface. L'application de ces pratiques dépend des conditions de la ferme et doit découler d'un diagnostic permettant de cibler les bonnes interventions. Les systèmes de production biologique posent plusieurs défis sur le plan agroenvironnemental en raison, par exemple, de la nature des travaux du sol en lien avec le contrôle des mauvaises herbes et l'enrichissement du sol en phosphore découlant des apports récurrents d'engrais organiques.

Dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et le Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec (SPGBQ), ce projet visait à former les agronomes et les producteurs agricoles sur les outils de diagnostic (volet 1 du projet) et d'intervention (volet 2 du projet) liés à la conservation de l'eau adaptés aux conditions qui peuvent être rencontrées dans les entreprises agricoles productrices de grandes cultures biologiques du Québec. La formule retenue a inclus une formation en salle comptant sept ateliers dans 2 régions du Québec, suivies d'études de cas qui ont eu lieu à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique de l'IRDA (Montérégie), ainsi que dans trois entreprises agricoles situées dans les régions du Centre-du-Québec, de Chaudière-Appalaches et du Saguenay-Lac-St-Jean.

Les sujets abordés dans le volet diagnostic ont inclus l'évaluation des besoins en eau des cultures, la détermination des voies d'écoulement de l'eau, ainsi que l'identification de pratiques agricoles et de systèmes culturaux favorables à la conservation des sols et de l'eau. Découlant du diagnostic, les interventions telles la mise en place d'ouvrages hydroagricoles et l'application de pratiques et de systèmes agricoles durables qui favorisent la conservation de l'eau au plan de la quantité et de la qualité ont été documentées.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

L'objectif général du projet était de former les producteurs agricoles et les agronomes afin de favoriser l'application de pratiques de conservation de l'eau en grandes cultures biologiques.

Les objectifs spécifiques étaient de :

- 1- Diffuser des outils de diagnostic à la ferme concernant le transport de l'eau, les besoins en eau des cultures, ainsi que les pratiques et systèmes agricoles favorables à la protection de l'eau;
- 2- Réaliser des études de cas afin de former les agronomes et producteurs agricoles sur l'application de mesures efficaces de gestion de l'eau découlant d'un diagnostic en entreprises et d'en projeter les retombées sur le déficit hydrique des cultures et les exportations diffuses de sédiments et de nutriments dans l'eau de surface.

Pour réaliser les objectifs, une formation en salle incluant 7 ateliers a été donnée dans deux régions du Québec en 2023, soit à Beloeil (Montérégie) et à Québec (Capitale-Nationale). Une formation donnée dans la ville d'Alma (Lac-St-Jean) était également prévue au projet, mais a dû être annulée. Pour pallier ce problème, la présentation de Québec a été captée par vidéo et rendue disponible sur le site Youtube de l'IRDA et ce, afin d'atteindre un plus grand nombre de personnes.

Précédé d'un premier atelier sur la mise en contexte de la protection des cours d'eau au Québec (responsable : Alexandra Villeneuve), les thèmes présentés dans les ateliers étaient les suivants, regroupés selon les outils de diagnostic et les mesures d'intervention :

Volet 1. Réaliser un bon diagnostic à la ferme

- Atelier 2. Déterminer les besoins en eau des cultures
 - responsable : Carl Boivin (IRDA)
- Atelier 3. Comprendre les excès d'eau
 - responsable : Catherine Bossé (IRDA)
- Atelier 4. Prédire l'évolution de la matière organique et de la compaction des sols
 - responsable : Marc-Olivier Gasser (IRDA)

Volet 2. Proposer des interventions

- Atelier 5. Optimiser l'usage de l'eau
 - responsables : Carl Boivin, Caroline Côté et Alexandra Villeneuve (IRDA)
- Atelier 6. Intégrer des pratiques agricoles et des systèmes cultureux favorables à la conservation de l'eau
 - responsable : Marc-Olivier Gasser (IRDA)
- Atelier 7. Mettre en place des aménagements hydroagricoles
 - responsables : Alexandra Villeneuve (IRDA) et François Durand, (Groupe multi-conseil agricole)

En 2024, des études de cas ont eu lieu sur le terrain afin de faire le diagnostic des entreprises. Quatre sites ont été visités, dont la Plateforme d'innovation en agriculture biologique de l'IRDA (Montérégie), ainsi que la ferme Flobert à Ste-Eulalie (Centre-du-Québec), la ferme Écopré à St-Gervais (Chaudière-Appalaches) et la ferme Omer et Jacynthe Bouchard & fils à St-Bruno (Saguenay-Lac-St-Jean). Les sites ont été choisis notamment pour leur proximité avec les principales zones de production de grandes cultures tout en maximisant l'étendue géographique.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

Ce projet a permis de fournir des outils aux producteurs et conseillers pour mesurer certains effets (bilan humique, qualité de l'eau, compaction des sols) en lien avec les pratiques agricoles qui sont déployées actuellement et comment il serait possible de modifier le bilan agroenvironnemental des entreprises par des pratiques améliorantes. Avec les formations en salle et les visites concrètes aux sites, ce projet a permis de conscientiser les producteurs et

agronomes sur les dernières avancées avec lesquelles la science relie les phénomènes de conservation des sols et de l'eau et ce, dans différentes conditions de cultures et de sols.

D'un point de vue agronomique, ce projet a permis d'informer les participants que la capacité de rétention en eau dans les sols peut jouer un certain rôle dans l'augmentation de la productivité des sols et la qualité de l'eau. Aussi, l'accent a été mis sur le fait qu'une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau par la culture est favorable à une meilleure efficacité d'utilisation des éléments nutritifs.

Les activités réalisées durant ce projet permettront de favoriser une saine cohabitation entre le secteur agricole et les autres usagers de l'eau (agricole, municipal, industriel et récréatif).

Voici le nombre de participants pour chacune des activités qui ont été réalisées :

Activité	Nombre de participants
Formations en salle	
Beloeil Montérégie – 6 et 7 février 2023	37
Québec Capitale-Nationale – 27 et 28 février 2023	50
Vitrines en entreprises	
PIAB de l'IRDA Montérégie – 16 avril 2024	44
Ferme Flobert à St-Gervais Chaudière-Appalaches – 18 avril 2024	12
Ferme Omer et Jacynthe Bouchard & fils à St-Bruno Lac-St-Jean – 25 avril 2024	18

Plusieurs documents de référence ont été produits en lien avec ce projet, soit

- Les diaporamas correspondant aux sept ateliers de la formation, ainsi que la captation en salle de la formation donnée à Québec
- Un cahier de formation
- 8 fiches techniques associées aux ateliers de la formation
- Une fiche synthèse

Des capsules vidéo filmées en entreprises, ainsi qu'un épisode podcast ralliant les experts du projet ont été produits. Les hyperliens de tous les documents se trouvent à la dernière page de ce rapport.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

Plusieurs outils et applications mobiles pratiques présentés dans le cadre de ce projet sont disponibles pour les producteurs agricoles ainsi que les agronomes et conseillers qui les accompagnent. Notons particulièrement :

- EstimEAU : calculer les besoins en eau des cultures : <https://estimeau.ca>
- Terranimo : prédire la compaction des sols : <https://quebec.terranimo.world/>
- OGeMOS : prédire l'évolution de la matière organique des sols : <https://github.com/IRDA/OGEMOS>
- ProfilSol : réaliser des profils de sol à la ferme : <https://youtu.be/h8fh>

La réalisation du projet a donc permis d'outiller les principaux intervenants dans leur désir de mettre en place des pratiques à la ferme soucieuses de l'environnement.

POINTS DE CONTACT POUR INFORMATION

Laurianne Soucy, agr.
SPGBQ
555 boulevard Roland-Therrien, bureau 100
Longueuil (Québec) J4H 3Y9
Téléphone : 450 679-0540 poste 8391
Courriel : lsoucy@upa.qc.ca

Caroline Côté, agr., Ph. D.
Chercheuse/Hygiène de l'environnement agricole | Coordinatrice/partenariats et innovation
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)
335, rang des Vingt-Cinq Est, Saint-Bruno-de-Montarville (Québec) J3V 0G7
Tél. : 450 653-7368, poste 310 | Cell. : 514 436-0698
Courriel : caroline.cote@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert. L'équipe tient également à souligner la contribution du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec et de l'institut de recherche et de développement en agroenvironnement.



ANNEXES ET HYPERLIENS

Tous les documents de transfert sont accessibles via le lien suivant :

- [Gérer l'eau en grandes cultures biologiques: objectif terrain - IRDA](#)

Sont joints à ce rapport :

- Les diaporamas présentés aux sept ateliers de la formation
 - [Formation sur la gestion de l'eau en grandes cultures - Module 1/7](#)
 - [Formation sur la gestion de l'eau en grandes cultures - Module 2/7](#)
 - [Formation sur la gestion de l'eau en grandes cultures - Module 3/7](#)
 - [Formation sur la gestion de l'eau en grandes cultures - Module 4/7](#)
 - [Formation sur la gestion de l'eau en grandes cultures - Module 5/7](#)
 - [Formation sur la gestion de l'eau en grandes cultures - Module 6/7](#)
 - [Formation sur la gestion de l'eau en grandes cultures - Module 7/7](#)
- Le cahier de formation
 - [Microsoft Word - 3. Annexe 2 PAD SPGBQ Cahier de formation 2déc](#)
- Huit fiches techniques associées aux ateliers de la formation
 - [Microsoft Word - FT Optimisation usage 2déc](#)
 - [Microsoft Word - FT Besoins en eau 2déc](#)
 - [Microsoft Word - FT Protection de l'eau 2déc](#)
 - [Microsoft Word - FT Exces d'eau 2déc](#)
 - [Microsoft Word - FT ProfilSol 2déc](#)
 - [Microsoft Word - FT Amenagements v2dec](#)
 - [Microsoft Word - FT Pratiques 2déc](#)
 - [Microsoft Word - FT Terranimo Ogemos 2déc](#)
- La fiche synthèse du projet
 - [Microsoft Word - 4. Annexe 4 Fiche générale 2déc](#)
- Les programmes des vitrines réalisées à l'IRDA et en entreprises agricoles
 - <https://www.youtube.com/watch?v=egXoFaju79E&feature=youtu.be>
 - [Étude de cas à la ferme Flobert: Excès d'eau à l'automne en sol sableux](#)
 - [Étude de cas à la ferme Écopré: excès d'eau localisés en sol loameux](#)
- Hyperlien pour l'épisode de ballado « EAUtrement dit »
 - [31 - Gestion de l'eau dans les grandes cultures biologiques](#)

État des lieux

27 février 2023




INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT

La référence au Québec en R - D pour
une agriculture durable

1

Qualité de l'eau au Québec




En contexte agricole...

- L'eau est principalement évacuée hors saison culturale
- Eau qui ruisselle > eau qui s'infiltre
- Volume d'eau évacué (ruissellement + drainage) est assez constant peu importe le système cultural


À la fonte des neiges

- moitié du ruissellement annuel, parfois la presque totalité.
- ¼ des pertes de sédiments




2

Qualité de l'eau au Québec



Via les drains souterrains

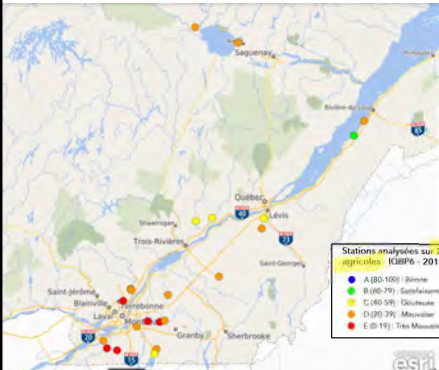
- Majorité des pertes de nitrates
 - En moyenne 83% de la charge annuelle de nitrates, parfois jusqu'à 98%.
 - + de la moitié des pertes de nitrates ont lieu en période hivernale, parfois jusqu'à 95%.
- + de 30% des pertes en phosphore
 - Prairie : 30 à 40% de la charge annuelle en P
 - Cultures annuelles : 51 à 99% de la charge annuelle en P
- Dans les champs drainés et plats, environ la moitié des pertes de sol



3

Qualité de l'eau au Québec

Cours d'eau en milieu agricole



Les paramètres dépassant le plus souvent les critères de qualité de l'eau sont

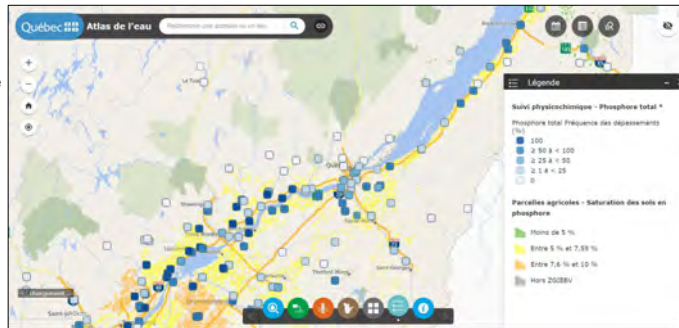
- le phosphore total**
(fréquence moyenne des dépassements : 85% des échantillons)
- la turbidité**
(fréquence moyenne des dépassements : 72%)
- l'azote total**
(fréquence moyenne des dépassements : 68%)

4

Qualité de l'eau au Québec Le phosphore dans l'eau

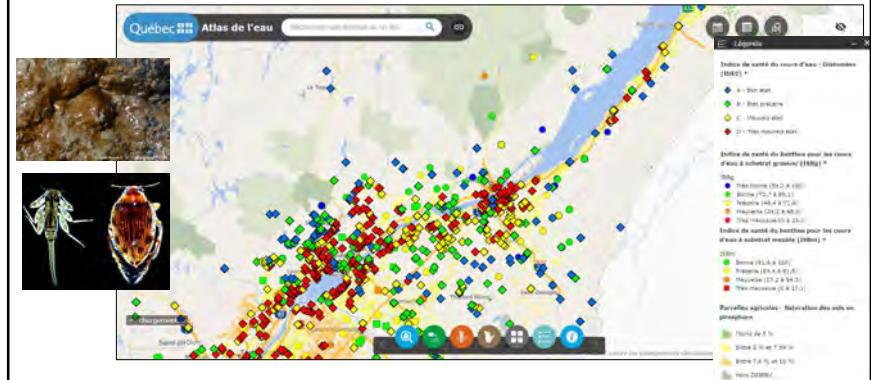
Seuil de qualité de
0,03 mg/L

→ Limiter la
croissance
excessive
d'algues et de
plantes
aquatiques.



5

Qualité de l'eau au Québec Indicateurs de la santé des cours d'eau



6

Qualité de l'eau au Québec Faits saillants

↑ proportion de milieux naturels → ↑ santé des cours d'eau

↑ proportion d'agriculture → ↑ azote total dans l'eau

↑ proportion de grand interligne → ↑ phosphore dans l'eau

↓ santé des cours d'eau



Fonte des neiges est une période critique



7

Le climat de demain et d'aujourd'hui À l'horizon 2040...

+ d'orages

+ de précipitations courtes et de forte intensité
qui dépassent la capacité d'infiltration des sols
qui ruisselle en surface
+ d'érosion.

Saison de croissance + longue et + chaude
+ de canicule.

Étiages des cours d'eau plus longs et plus sévères

↓ d'eau disponible aux périodes où l'on en a besoin
+ compliqué de prélever de l'eau



AV0

8

8

Diapositive 8

AV0 RÉFÉRENCES :

Ouranos. (2015). Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Édition 2015. Montréal, Québec : Ouranos.

<https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/SyntheseRapportfinal.pdf>

Alexandra Villeneuve; 2022-09-19T19:17:06.820

Trois axes de diagnostic et d'intervention pour conserver l'eau

1. PERTES À LA SOURCE

2. CAPACITÉ DE RÉTENTION ET FERTILITÉ DES SOLS

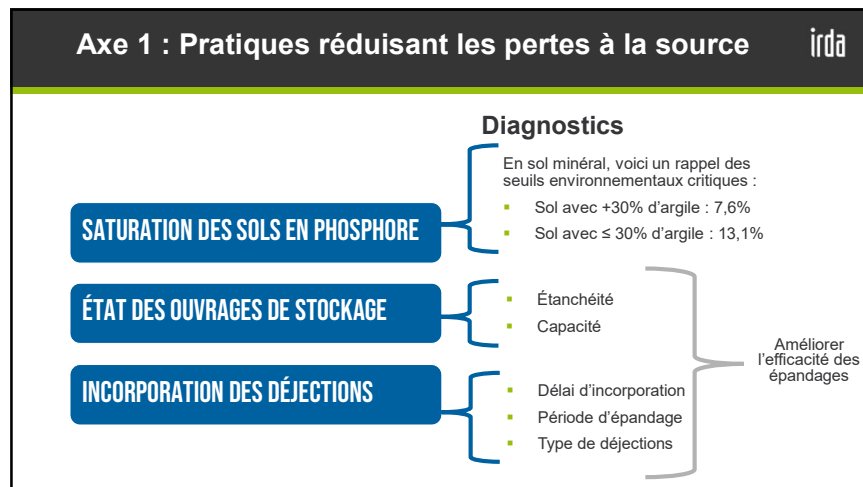
3. ÉROSION

irda

9



10



11

Trois axes d'intervention pour conserver l'eau

1. RÉDUIRE LES PERTES À LA SOURCE

2. AMÉLIORER LA CAPACITÉ DE RÉTENTION ET LA FERTILITÉ DES SOLS

3. LIMITER L'ÉROSION

irda

12

Conclusion

irda

Trois axes d'intervention pour conserver l'eau, à considérer dans cet ordre :

- 1^{er} axe : *Réduire* les pertes à la source
- 2^e axe : *Améliorer* la capacité de rétention et la fertilité des sols
- 3^e axe : *Limiter* l'érosion

13

Ressources complémentaires

irda

- [Outil de surveillance des sécheresses au Canada](#), informations officielles sur la surveillance et le signalement des sécheresses.
- [Normales climatiques](#), carte interactive en ligne.
- [Cartes interactives agroclimatiques](#)
- ♥ Agrométéo : [Atlas agroclimatique](#), cartes en ligne.
- [Implications des scénarios climatiques futurs sur la gestion des sols et de l'eau à la ferme](#), feuillet technique.
- Ouranos : Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec, rapport en ligne avec une section portant sur l'agriculture.

14

AXE 1

DIAGNOSTIQUER LES PERTES À LA SOURCE

irda

15

Axe 1 : Diagnostiquer les pertes à la source

irda

SATURATION DES SOLS EN PHOSPHORE

ÉTAT DES OUVRAGES DE STOCKAGE

INCORPORATION DES DÉJECTIONS

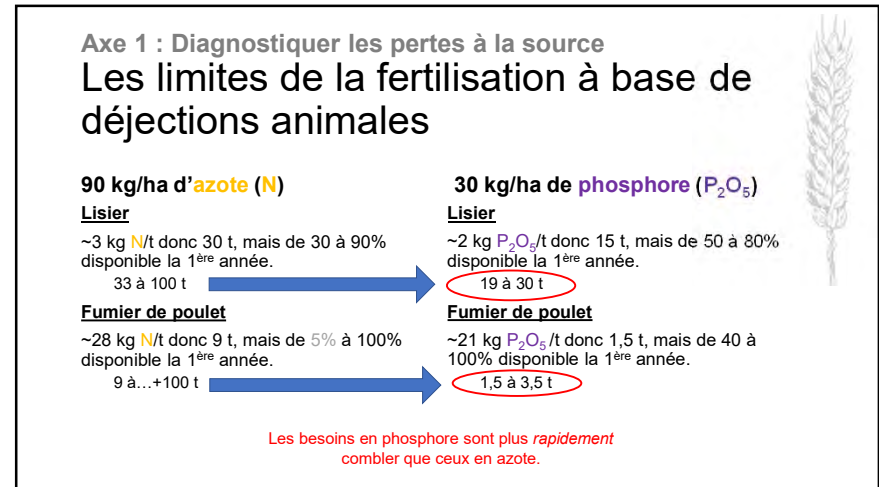
En sol minéral, voici un rappel des seuils environnementaux critiques :

- Sol avec +30% d'argile : 7,6%
- Sol avec ≤ 30% d'argile : 13,1%

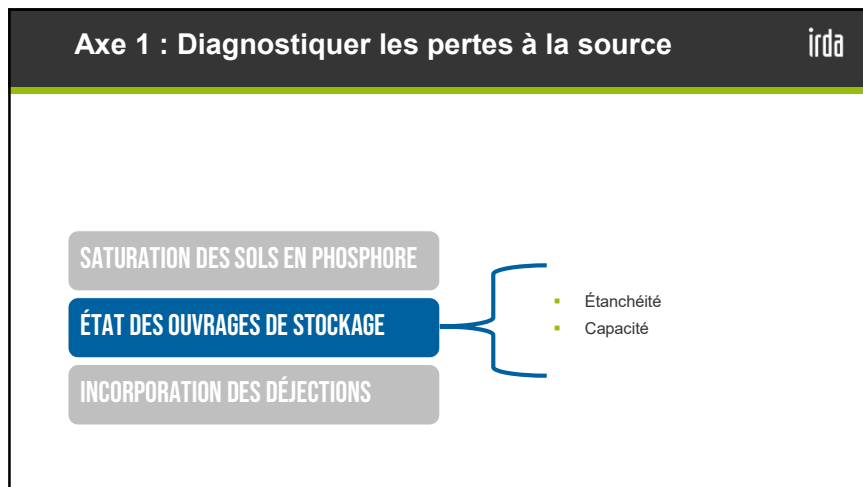
16



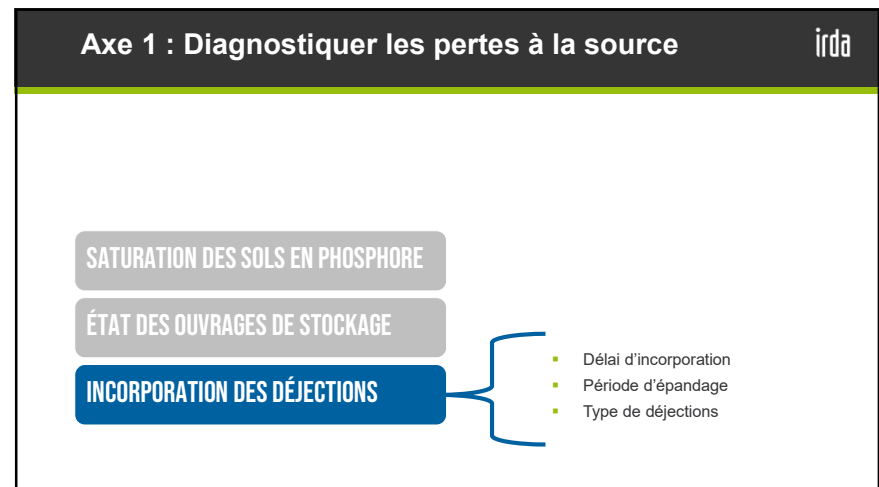
17



18



19



20

Axe 1 : Diagnostiquer les pertes à la source

Délai avant l'incorporation

+ risqué

- Lisier
 - Incorporé plus de 24hrs après l'épandage
 - Épandu à l'automne
- Fumier ayant un très bas C/N (la plupart des fumiers de volaille), épandu l'automne et n'étant pas incorporé immédiatement.

- risqué

- Lisier épandu en saison de croissance et incorporé immédiatement.
- Fumier épandu au printemps ou à l'été et incorporé immédiatement.
- Fumier ayant un C/N élevé (20-30) épandu l'automne et incorporé.

21

AXE 2

irda

DIAGNOSTIQUER LA CAPACITÉ DE RÉTENTION ET LA FERTILITÉ DES SOLS

22

Axe 2 : Diagnostiquer la capacité de rétention et la fertilité des sols

irda

ÉTAT DE SANTÉ DU SOL

ROTATION DE CULTURES

COUVERT HIVERNAL

- Évolution du taux de m.o.
- Évolution de la compaction et de la structure

23

Axe 2 : Diagnostiquer la capacité de rétention et la fertilité des sols

irda

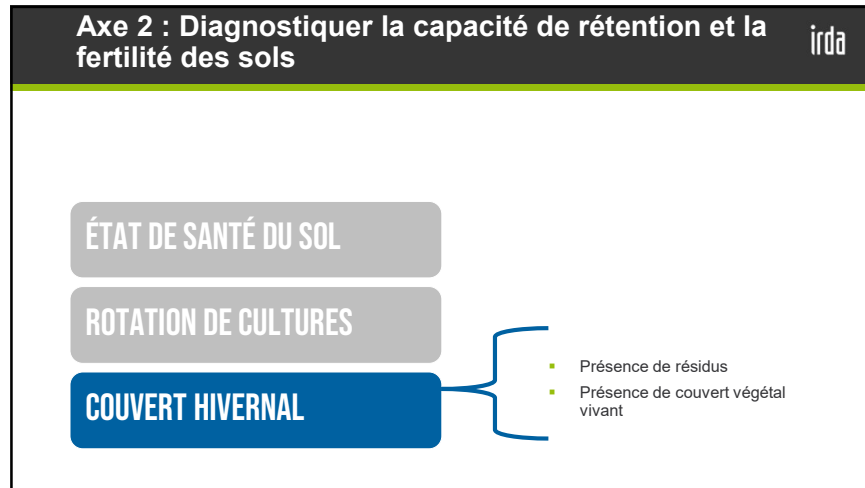
ÉTAT DE SANTÉ DU SOL

ROTATION DE CULTURES

COUVERT HIVERNAL

- Nombre de cultures
- Nombre de familles

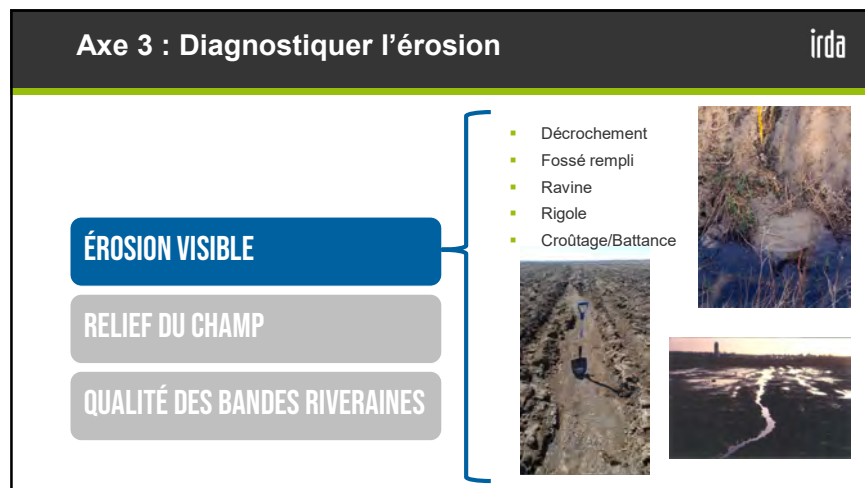
24



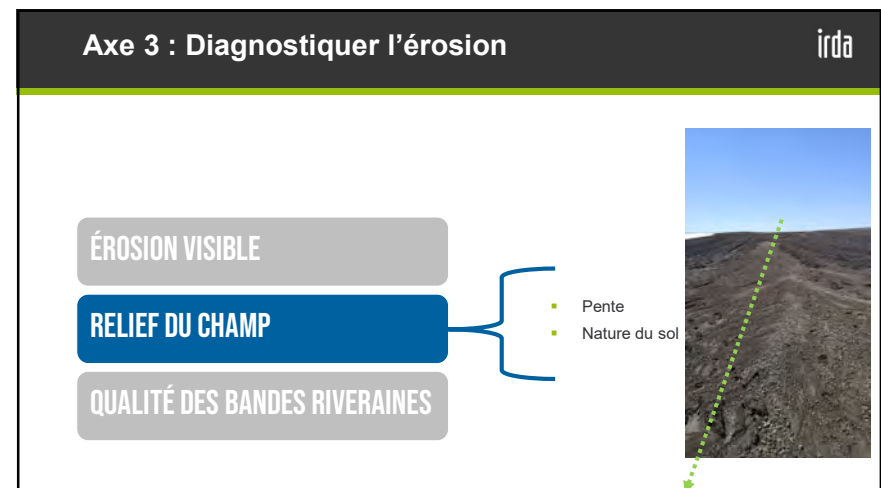
25



26



27



28

Axe 3 : Diagnostiquer l'érosion

irda

ÉROSION VISIBLE

RELIEF DU CHAMP

QUALITÉ DES BANDES RIVERAINES



- Largeur
- Pente et solidité du talus

29

Références complémentaires

irda

Inclassable

- [Atlas de l'eau](#), MELCCFP (mis à jour régulièrement)

Documents

- [Fiche technique](#) *Effets des pratiques agricoles sur la qualité de l'eau : Impacts et solutions*, MAPAQ (2018)
- [Rapport synthèse](#) – *Rapport sur l'état des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques du Québec*, MELCC (2021). [Rapport complet ICI](#).

30

Conclusion

irda

Trois axes de diagnostic et d'intervention pour conserver l'eau, à considérer dans cet ordre :

- 1^{er} axe : *Réduire* les pertes à la source
- 2^e axe : *Améliorer* la capacité de rétention et la fertilité des sols
- 3^e axe : *Limiter* l'érosion

31

QUESTIONS ?

32

Déterminer les besoins en eau des cultures

Carl Boivin

Atelier diagnostic 1
27 février 2023




INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT

**La référence au Québec en R - D pour
une agriculture durable**

1

À L'AGENDA

- Besoin en eau de la culture
- Stress hydrique
- Vulnérabilité au stress hydrique
- Sources d'information



2

Besoin en eau de la culture



irda

3

La cigale et la fourmi

irda

- Si la culture passait une audition pour jouer un rôle dans la fable de la Cigale et la Fourmi...
- Quel rôle lui serait offert?



4

Le rôle de la cigale!

irda

- Elle vit au jour le jour
- Elle se fie au sol pour combler ses besoins en eau
- Jusqu'au jour où le sol commence à réduire les portions
- L'analogie s'arrête ici, car on peut difficilement demander à la culture d'être prévoyante et au sol d'être plus généreux
- Ces rôles nous reviennent

5

Besoin en eau de la culture

irda

- À la défense de la culture, son train de vie dépend grandement :
 - Stade de développement
 - Conditions météorologiques
- Peut être très variable
- Il faut donc essayer de prévoir :
 - Ce que la culture a dépensé
 - Moment où le sol ne sera plus en mesure de soutenir le train de vie de la culture



6

Utile de connaître le besoin total?

irida

- Exemple tiré de la littérature
 - Maïs 580-650 mm
 - Blé printemps 420-480 mm
 - Canola 400-480 mm
 - Blé hiver 400-430 mm
 - Orge 380-430 mm
 - Haricot sec 300-375 mm
 - Pois sec 300-370 mm
- Publication de l'Alberta, mais...
- Général, indicatif
- Peu utile
- Intéressant pour comparer les cultures

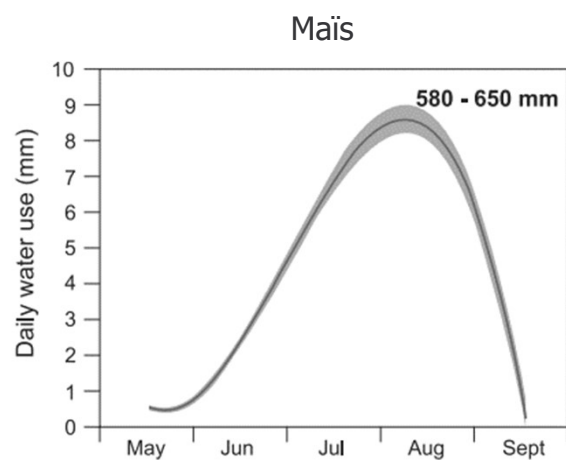
5485851-2011-agri-facts-crop-water-use-requirements-revised-100-561-1-2011-11 (2).pdf

7

Utile de connaître le besoin quotidien moyen ou maximal?

irida

- Maximal ou moyen...
 - Tiré de la même publication (Alberta)
 - Pas beaucoup plus utile



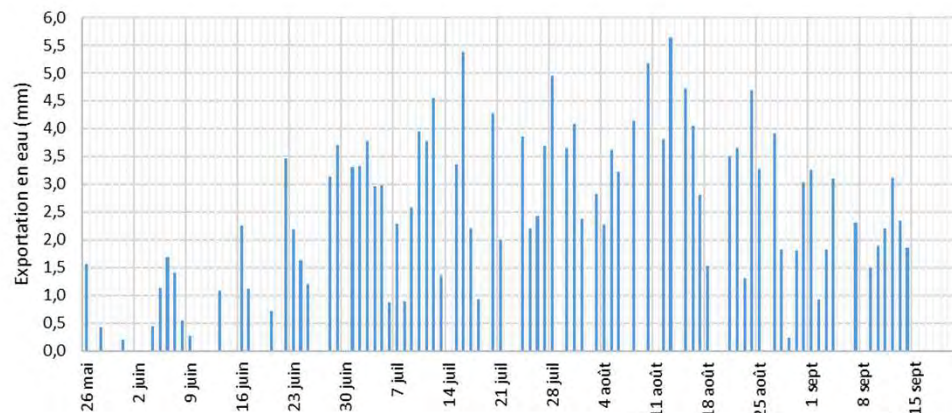
5485851-2011-agri-facts-crop-water-use-requirements-revised-100-561-1-2011-11 (2).pdf

8

Besoin quotidien

irida

- Mesuré ou estimé...
- Exemple « mesuré » maïs-grain
- Très variable
- Plus utile



9

Projet en cours

Établir des balises techniques, économiques, sociales et environnementales concernant le recours à l'irrigation du maïs, du soya et des plantes fourragères

Prime-Vert, sous-volet 2.2 (21-001-GE-IRDA)



10

Projet en cours

irda

Mise à l'essai d'un système d'irrigation goutte à goutte mobile en contexte d'entreprises spécialisées dans la production de pommes de terre

Innov'action, volet 2 (IA220671)

PROJET EN COURS IA220671



11

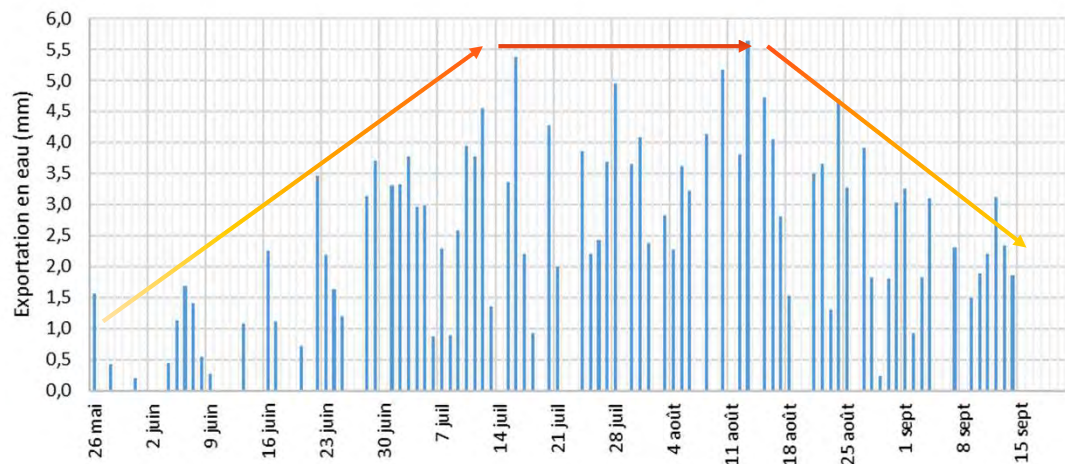
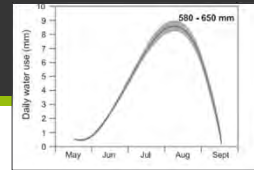


12

Besoin quotidien

irda

- Influence du stade de développement

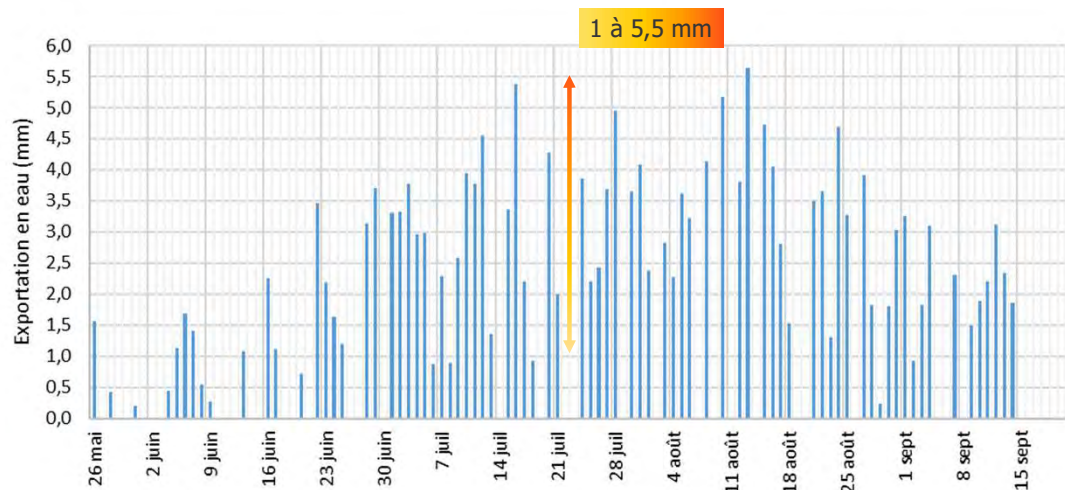


13

Besoin quotidien

irda

- Influence des conditions météorologiques

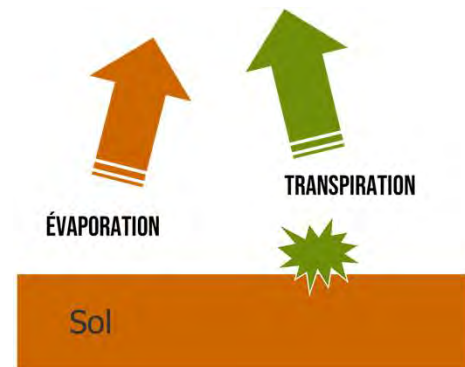


14

Évapotranspiration

irda

- Exportation en eau quotidienne
 - Évaporation + Transpiration
 - ... Évapotranspiration
- Donc, davantage un besoin en eau du système cultural que de la culture seulement

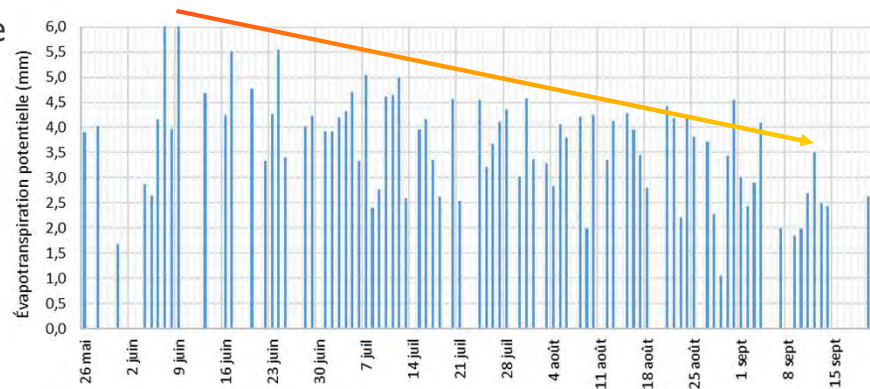


15

Évapotranspiration potentielle (ETp)

irda

- Conditions météorologiques
 - Température et humidité relative de l'air, vent, radiation solaire
 - Évapotranspiration
 - Variable
 - Tendance à la baisse



16

Évapotranspiration potentielle (ETp)

irda

- Profil type d'une journée de :

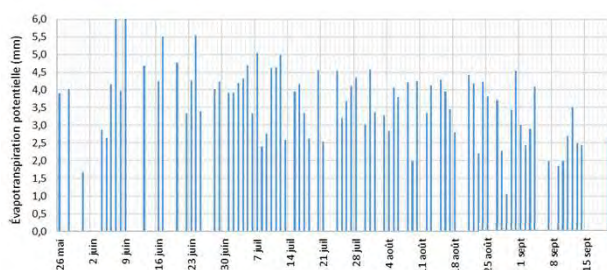
ETp (mm)	T air moy. (° C)	HR air moy. (%)	Radiation solaire moy. (W/m ²)	Nbre jours	Jours avec pluie (%)
< 1	10,1	88,2	46	37	92
[1 – 2 [	10,9	80,7	103	83	70
[2 – 3 [	13,0	76,5	178	82	59
[3 – 4 [	17,1	74,6	219	100	47
[4 – 5 [	18,4	71,5	266	98	42
[5 – 6 [	18,5	63,2	320	59	17
[6 – 7 [	19,8	56,3	333	12	17

240 (3 étés)

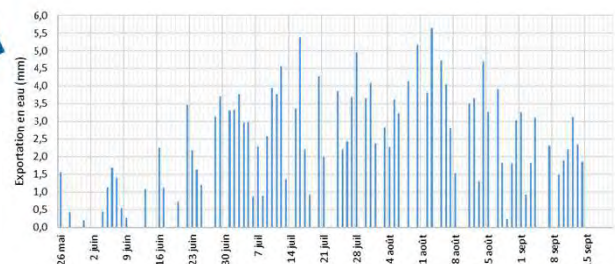
17

Besoin quotidien (estimé)

irda



Il y a une méthode pour estimer la hauteur d'eau exportée d'un système cultural à partir de l'ETp
... Au menu dans la présentation de demain

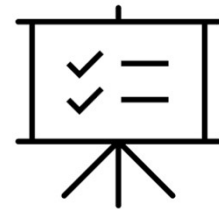


18

Étape suivante

irda

- Combien de temps le sol est-il en mesure de combler le besoin quotidien?
- Confort hydrique vs stress hydrique



19

Stress hydrique

irda



20

C'est quoi un stress hydrique?

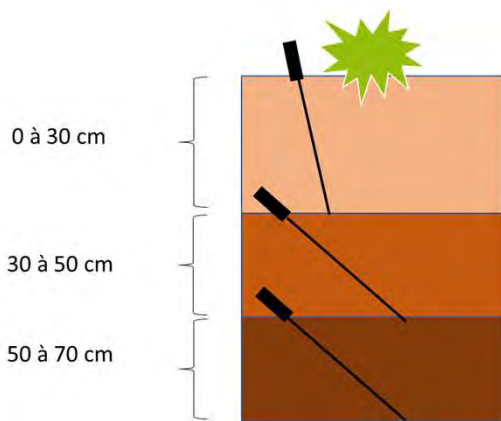
irda

- Plus le sol s'assèche, plus la force exercée sur l'eau est grande
 - L'excès d'eau peut aussi occasionner un stress
- Contrainte au prélèvement
 - Besoin de 5 mm, mais seulement capable de prélever 3 mm
- Diminution de la transpiration
 - Pour éviter le flétrissement
- Flétrissement apparent

21

Suivi statut hydrique du sol

- Mesures directes difficiles
- Mesures indirectes, avec le sol



22

Exportation en eau

irida

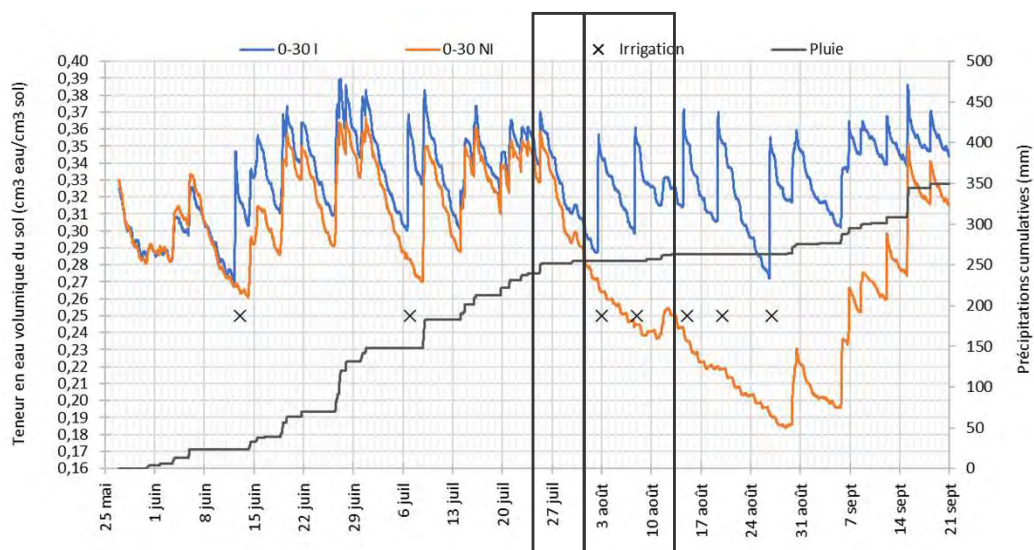
- Statut hydrique du sol
 - Fin - Début journée
 - 20 h – 8 h



23

Avec et sans contrainte de prélèvement

irida



24

21 mm

irda



25

12 mm vs 5 mm

irda



26

Impact stress hydrique

irida

- Difficile à prévoir
- Durée, fréquence, moment
- Développement végétatif
- Rendement



27

Vulnérabilité au stress hydrique

irida



28

Vulnérabilité

irda

- Hauteur d'eau dans le sol qui est facilement utilisable par la culture
 - Dépend de la capacité de rétention en eau du sol et du volume exploité par les racines
 - Entre la capacité au champ (CC) et le moment où il y a une contrainte de prélèvement
- Vitesse à laquelle cette hauteur d'eau est exportée du système cultural
 - Stade développement
 - Évapotranspiration

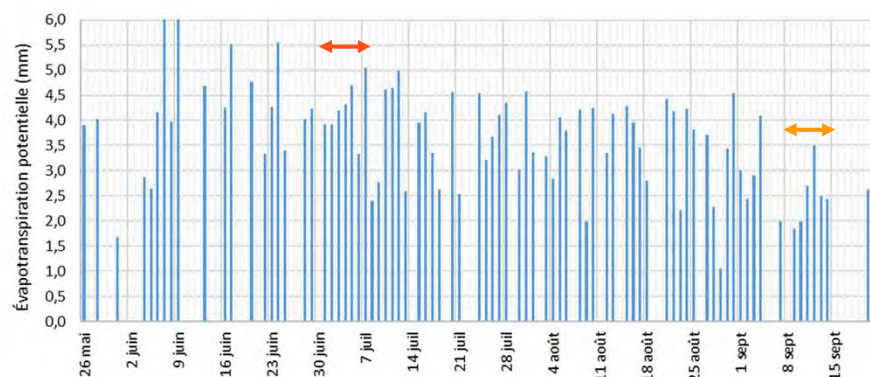
29

Conditions météorologiques

irda

Évapotranspiration

- 1^{er} au 7 juillet : 30 mm
- 8 au 14 septembre : 15 mm

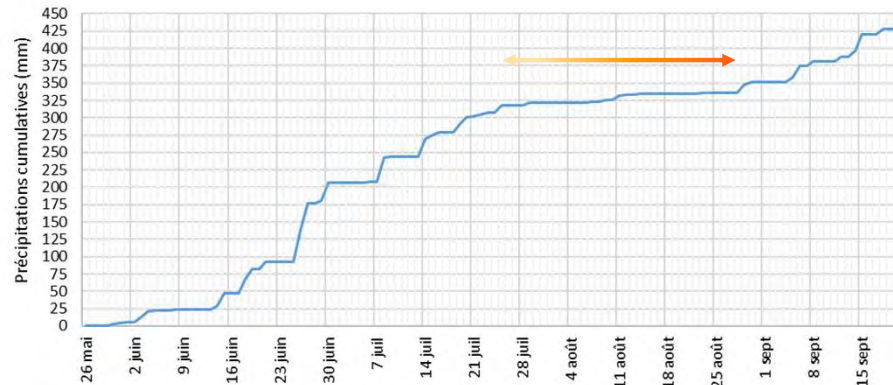


30

Conditions météorologiques

irida

- Période sans précipitations
 - 26 juillet au 29 août : 34 jours avec 18 mm (+/- 0,5 mm/jour)
 - Si 4 jours où le besoin est de 5 mm...

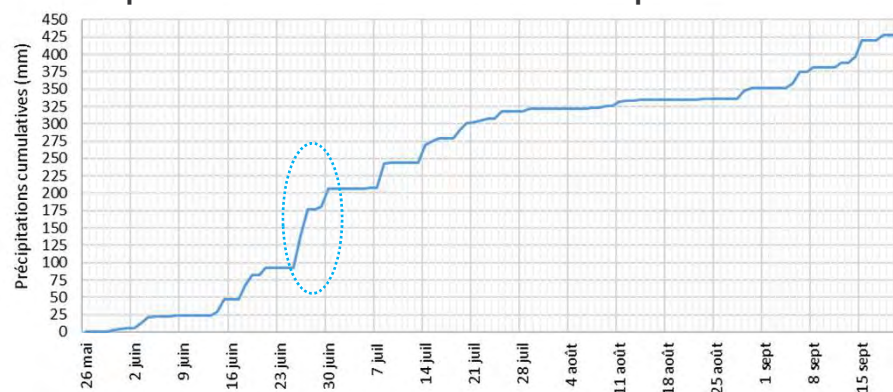


31

Conditions météorologiques

irida

- Éviter le piège des précipitations totales vs « utilisables »
 - 26 au 30 juin : 113 mm
- Proportion qui a un potentielle d'être utilisable par la culture?



32

Culture

irda

- Stade développement
- Profondeur du système racinaire



33

Sol

irda

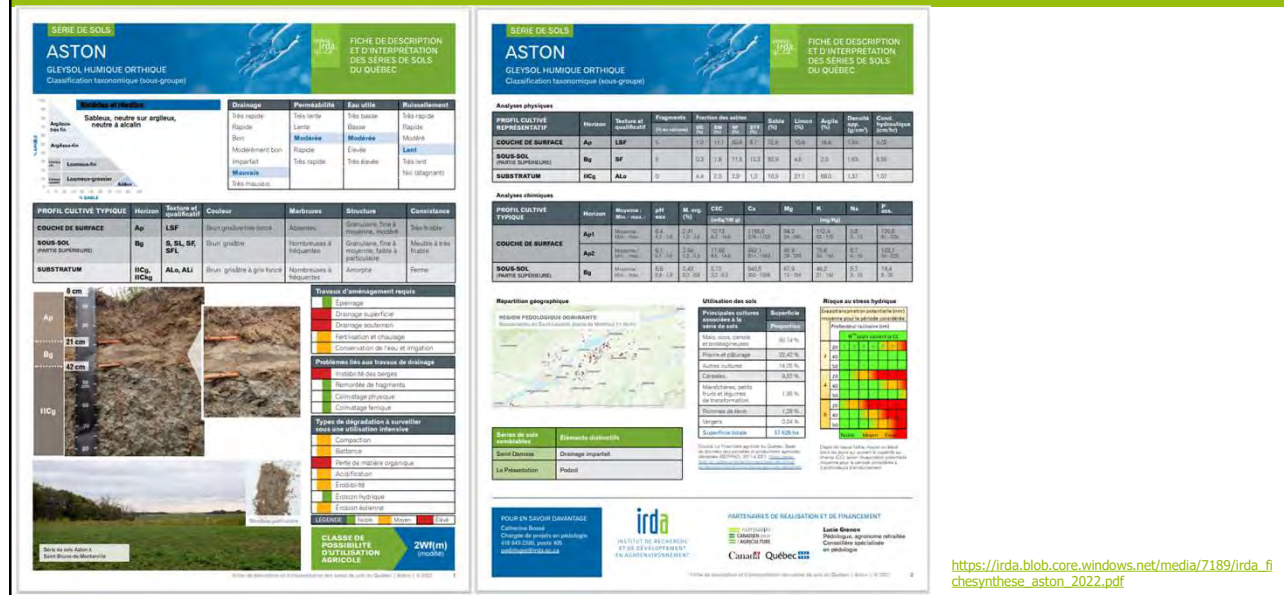
- Texture
 - % sable, limon et argile
 - % particules supérieures à 2 mm
- Qualité
 - Compaction
- Paillis, laissé à nu



34

Source d'information

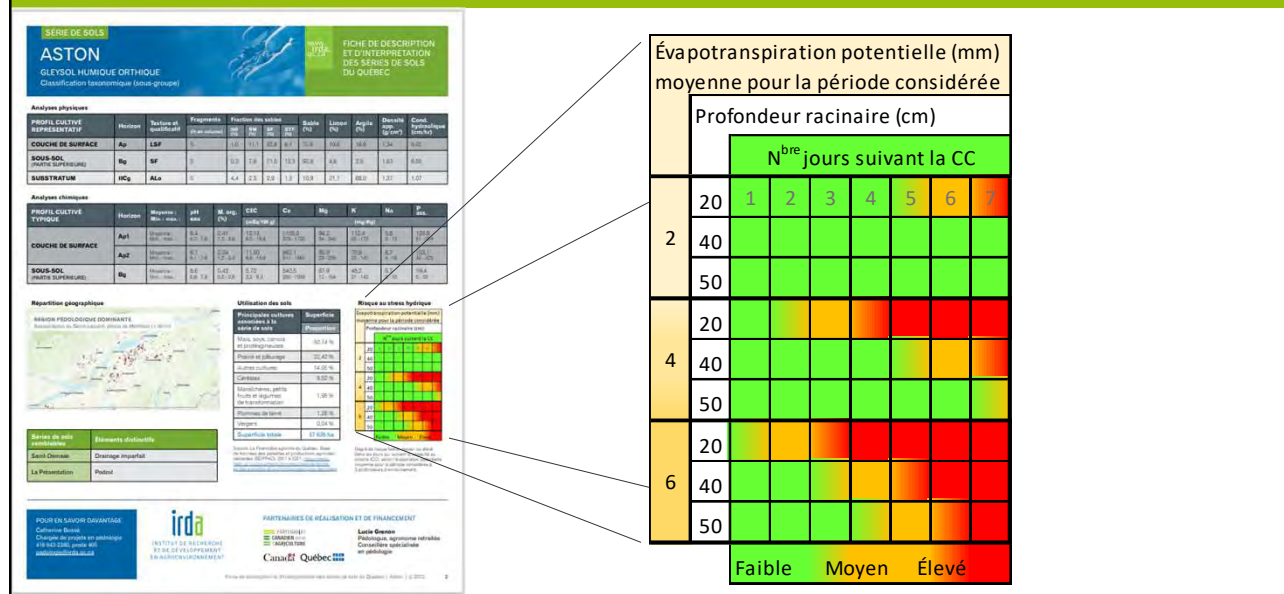
irda


https://irda.blob.core.windows.net/media/7189/irda_fichesynthese_aston_2022.pdf

35

Source d'information

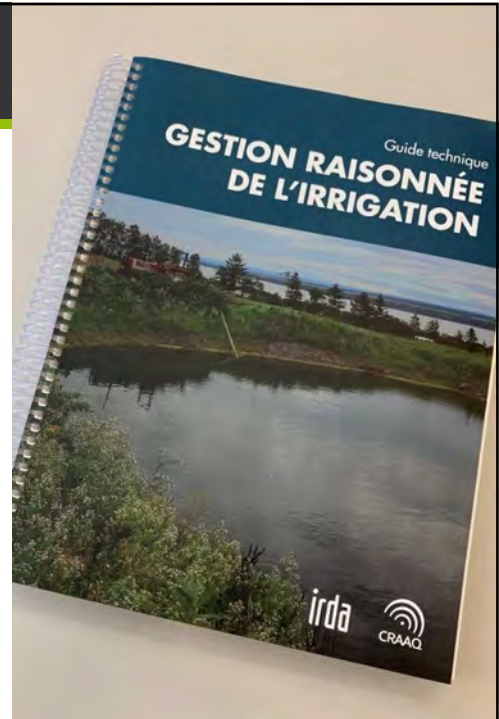
irda



36

Source d'information

- Disponible au CRAAQ
- 312 pages
- Connaissances de base
- Performance du système d'irrigation
- Qualité de l'eau
- Réglementation
- Etc.



37

Conclusion

irda

- Le besoin en eau est spécifique à un système cultural donné
- Gestion à court terme, car très variable
- La vulnérabilité peut se traduire en nombre de jours d'autonomie en eau où ce nombre va varier selon:
 - le stade de développement
 - l'évapotranspiration
 - la hauteur et le moment du dernier apport en eau
- Il y a des outils pour la mesurer ou l'estimer

38



Questions?

Comprendre les excès d'eau


Atelier Diagnostic 2
20 février 2023



La référence au Québec en
R - D pour une agriculture durable

1

À
L'AGENDA



Atelier Diagnostic 2
Comprendre les excès d'eau

- Localisation du problème d'excès d'eau
- Causes de l'excès d'eau
- Références complémentaires


11h35 : Période de questions

11h45 : Dîner jusqu'à 13h20


2

Localisation du problème

irda



3

Localisation du problème d'excès d'eau 

Encercler les zones

- Donnant les **meilleurs** et les **pires** rendements
- Plus **humides** et plus **secs**

Positionner les aménagements hydroagricoles

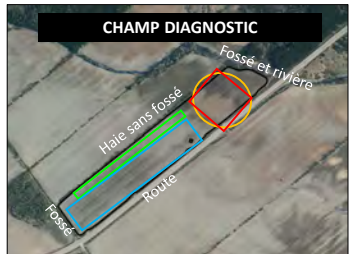
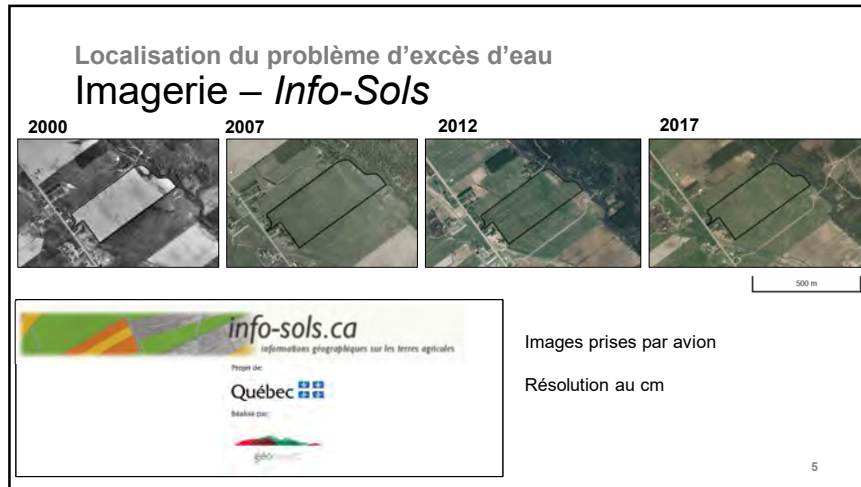
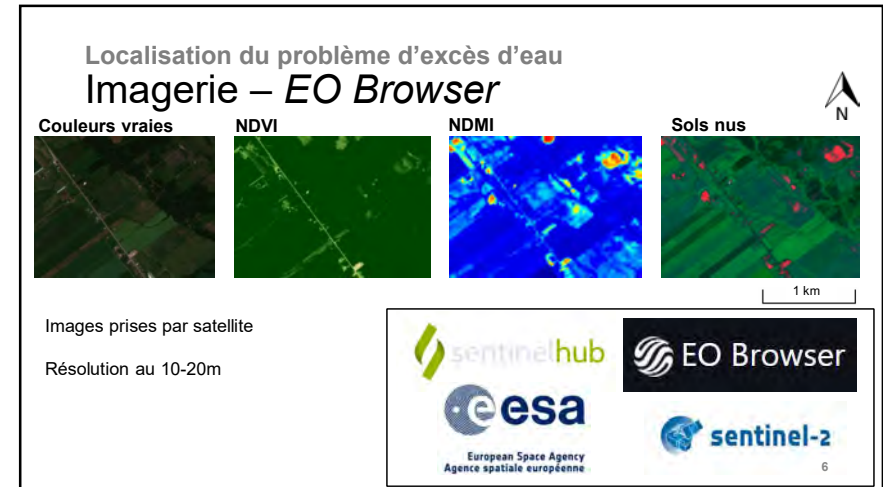


Image aérienne de 2012 500 m

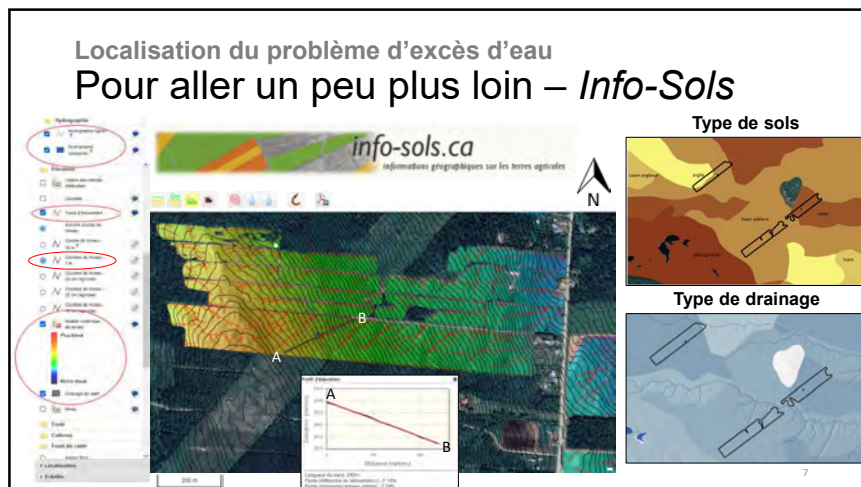
4



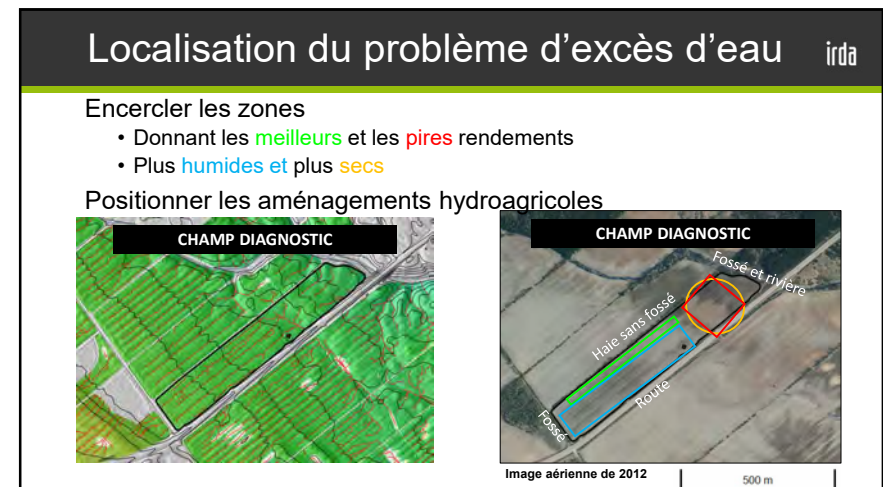
5



6

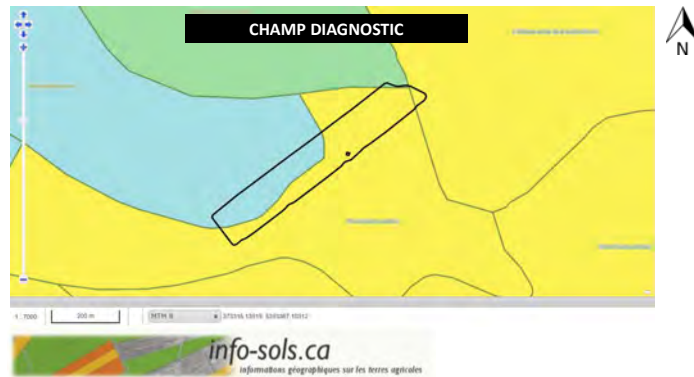


7



8

Pédologie (limites) et Classification de sols



9

Genèse des sols

Capitale-Nationale
Chaudière-Appalaches

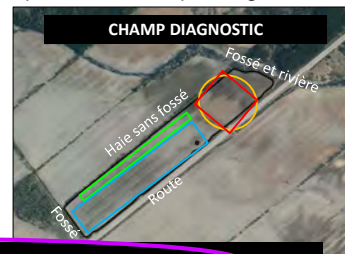
irda



10

Localisation du problème d'excès d'eau La pédologie

Rapprocher les diagnostics...et mieux comprendre avec la pédologie ce qui est en mon pouvoir de faire



Argile » série Normandin. Classe ARDA 2. Limitation 1 : Surabondance d'eau.

Loam sableux » série Proulx. Classe ARDA 3. Limitation 1 : Basse fertilité.

Sable » série L'Afrique. Classe ARDA 5. Limitation 1 : Érosion.

11

11

Causes de l'excès d'eau

irda



12

Trois composantes du drainage agricole irda

Réseau hydraulique

Objectif : évacuer les surplus d'eau vers l'extérieur du champ

Drainage de surface

Objectif : éliminer l'eau s'étant accumulée à la surface dans un délai raisonnable

Drainage souterrain

Objectif : abaisser la nappe phréatique

13

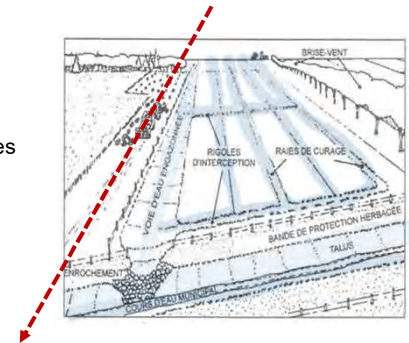
13

Trois composantes du drainage agricole

Réseau hydraulique

Là où l'eau en excès **doit** circuler

- Voies d'eau aménagées
fossés, raies de curage, tranchées
- Voies d'eau naturelles
cours d'eau



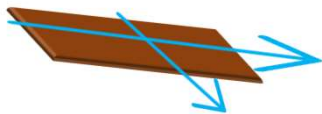
14

14

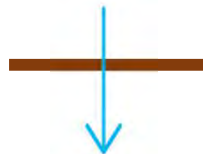
Trois composantes du drainage agricole

Drainage de surface

Horizontal



Vertical

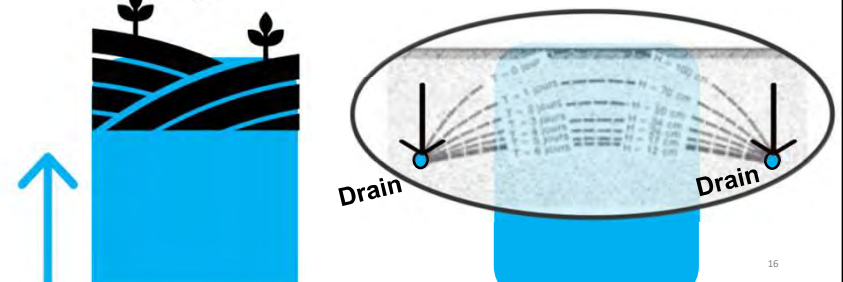


15

15

Trois composantes du drainage agricole

Drainage souterrain



16

16

Diagnostic par étapes

Problème de ...

A Réseau hydraulique?

B Drainage de surface?

C Drainage souterrain?

irda

17

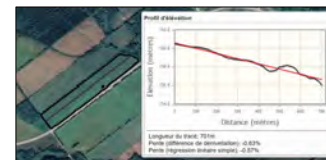
Diagnostic par étapes des causes de l'excès d'eau

Problème de réseau hydraulique

A *Est-ce que le réseau hydraulique est fonctionnel?*

- Localiser les composantes.
- Noter la **conformation** des planches.
- Penser aux **pent**es et aux **profondeurs**.

CHAMP DIAGNOSTIC



18

18

Diagnostic par étapes des causes de l'excès d'eau

Problème de drainage de surface

B *Est-ce que le drainage de surface est optimal?*

C *Est-ce qu'il y a signe de problème de drainage souterrain?*

- **Profil de sol est la première étape** du diagnostic terrain pour savoir si le problème en est un de drainage de surface ou souterrain.

19

19

Réaliser un profil de sol



Catherine Bossé

irda



20

Étapes de réalisation d'un profil de sols

irda

1. Recueillir les informations sur les sols; historique

- Pratiques culturales:
 - Rotation de culture
 - Travail du sol
 - Rendement des cultures
- Drainage souterrain
- Travaux récents (ex.: sous-solage, nivellement, drainage souterrain)
- Problématiques observées par le producteur.

Permet de trouver le bobo, Quel a été l'impact sur mon sol.

25

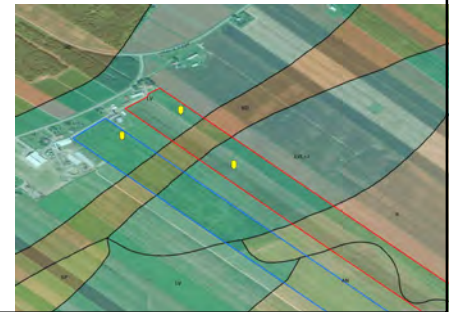
Étapes de réalisation d'un profil de sols

irda

1. Recueillir les informations sur les sols

2. Réalisation et description du profil de sols

1. Déterminer le nombre et l'emplacement des profils (2 à 3 profils par série de sols rencontrés et zone témoin) en observant le paysage (bas de pente, colline, etc..) et les cartes de sols
2. Creuser et nettoyer le profil de sols
3. Descriptions des profils de sols et des observations



26

Réalisation du profil - Détails techniques

irda

Matériels:

- Pelle aiguisée;
- Tarière hollandaise aiguisée;
- Couteau à manche rigide;
- Gallon à mesurer;
- Coroplast blanc;
- Bouteille d'eau;



27

Réalisation du profil - Détails techniques

irda

Creuser le profil

Nettoyer le profil

Description du profil

Dimension du profil agropédologique :

- Largeur : 45-60 cm
- Profondeur
 - au moins 60 cm de profondeur;
 - Au minimum, voir les 15 premiers cm de l'horizon B (à la pelle)
 - Idéalement, se rendre à 80 – 100 cm de profondeur avec la tarière (changement de matériel ou drainage).

Pourquoi voir Horizon B?

- Horizon diagnostic de la série de sols
- État du régime hydrique du sol (comportement de l'eau)
- Compaction en profondeur



28

Faire un profil agropédologique

Profil de sols
pédologique

Horizons
Couleurs
Texture
Structure de sols

Profil de sols
agropédologique

Identifier les couches engendrées par le travail du sol

- Structure du sol
- Porosité
- Présence de nappe souterraine ou perchée
- Examen des racines

29

Description du profils agropédologiques

Observations à noter / horizon identifié

- Couleur
- Granulométrie:
 - Texture et fragments
- Réaction
- Structure
- Consistance
- Porosité
- Racines

Propriétés stables
 Propriétés dynamiques

Bg Gley et/ou changement de matériau

30

Étapes de réalisation d'un profil de sols

1. Recueillir les informations sur les sols; les données utiles

- Description morphologique (reconnaître visuellement le sol)
- Classe de possibilité d'utilisation agricole

Kamouraska Gleysol

St-André Podzol

CLASSE DE POSSIBILITÉ D'UTILISATION AGRICOLE

2W

CLASSE DE POSSIBILITÉ D'UTILISATION AGRICOLE

4MF

PROFIL CULTIVÉ TYPIQUE	Horizon	Texture et couleur	Couleur	Marbreux	Structure	Consistance
Couche de surface	Ap	A, ALI, ALp				
Sous-sol (partie supérieure)	Bg	A, ALI, ALp				
Substratum	Cg	A, ALI, ALp				

PROFIL CULTIVÉ TYPIQUE	Horizon	Texture et couleur	Couleur	Marbreux	Structure	Consistance
Couche de surface	Ap	LSD gr				
Sous-sol (partie supérieure)	Bf	SS gr				
Substratum	C	SS lgr				

31

Description du profils agropédologiques : Granulométrie

Granulométrie : Texture / Fragments

13 classes

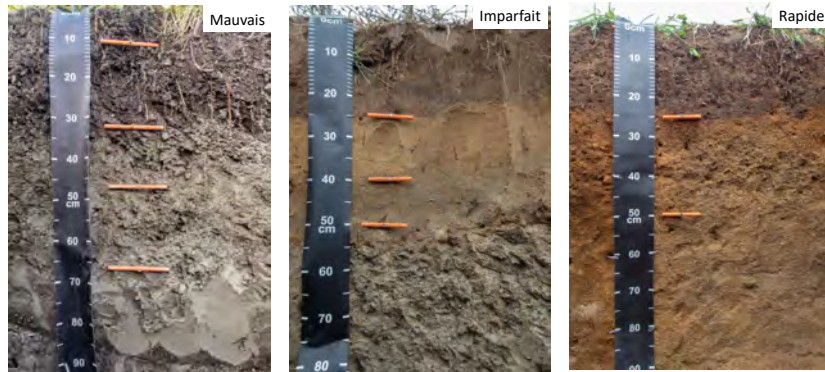
6 classes

Regrouper des textures avec comportement agronomique similaires

32

Description du profils agropédologiques : Couleur

irda



33

Description du profils agropédologiques : Couleur

irda



Marbrures: Indicateur de présence d'air

- Présence : oui/non
- Grosseur

Marbrure

Matrice

34

Description du profil agropédologique

irda

Horizon Ap

Notez les informations à deux profondeurs s'il y a lieu

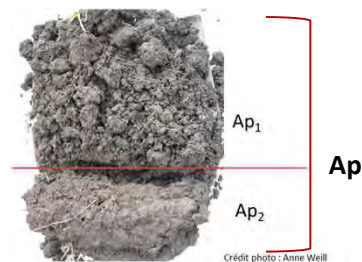
Ap Horizon minéral à la surface du sol, enrichi de matière organique, perturbé par l'activité humaine

Ap₁

- Profondeur de 8 à 12 cm résultant d'un travail peu profond;

Ap₂

- Situé entre le Ap₁ et l'horizon B
- Généralement moins travaillé que l'horizon Ap₁ en travail réduit
- Horizon hérité d'ancien labour

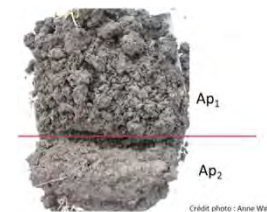


Crédit photo : Anne Weill

35

Description du profils agropédologiques : L'horizon Ap

irda



Crédit photo : Anne Weill

36

Description du profil agropédologiques

irda

Propriétés dynamiques

À évaluer pour chaque horizon identifié

- Structure
- Consistance
- Porosité

Comment?

Avec un échantillon non-perturbé de sol

Comment prélever un échantillon non-perturbé?

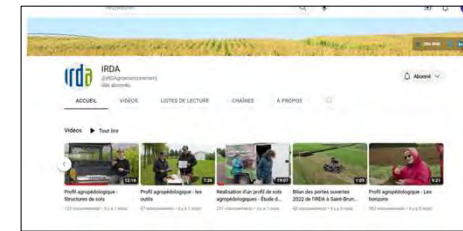
- À l'aide d'un couteau ou d'une truelle, prélever un bloc de sol (10 cm x 10 cm x 10 cm) à l'intérieur de l'horizon ciblé



37

Références

irda



38

Références

irda



39

Diagnostic par étapes des causes de l'excès d'eau Problème de drainage de surface

B Est-ce que le drainage de surface est optimal?

C Est-ce qu'il y a signe de problème de drainage souterrain?

tion.

➤ **Profil de sol est la première étape** du diagnostic terrain pour savoir si le problème en est un de drainage de surface ou souterrain.

40

40

Diagnostic par étapes des causes de l'excès d'eau

Problème de drainage souterrain

S'assurer d'abord que le champ est drainé souterrainement, et ce de manière optimale. Vérifier :

- Signes de **colmatage** ou de **bris** du système
- **Écartement** et la **profondeur** des drains
- **Ocre** de fer
- Filtre

41

41

Diagnostic par étapes des causes de l'excès d'eau irda

Résultat du **CHAMP DIAGNOSTIC**

- A** × **Réseau hydraulique**
→ Fonctionnalité n'est pas garantie.
- B** × **Drainage de surface**
→ Pas optimal, l'eau tarde à s'infiltrer verticalement
- C** ○ **Drainage souterrain**
→ Vérifier d'abord si le problème est à la sortie (problème de réseau hydraulique).

42

42

Conclusion

irda

Il est possible d'avoir plusieurs problèmes.

Diagnostiquer les problèmes d'excès d'eau dans cet ordre:

1. Réseau hydraulique
2. Drainage de surface
3. Drainage souterrain

Un problème de drainage **souterrain** est beaucoup **moins fréquent** que les autres.

43

43

Conclusion

irda

- ✓ Diagnostics pour mieux comprendre les excès d'eau

Eau  Sol

Structure du sol importante

↓
Matière organique et compaction jouent un grand rôle



44

44

Références complémentaires

irda

Inclassable

- [Portail d'information sur les sols de l'IRDA](#). Mis à jour périodiquement.

Vidéos

- Six épisodes de [L'appel de la pelle](#) sur la réalisation de profils de sol, IRDA (2023).
- [Introduction à l'application Info-sols](#), MAPAQ (2021).
- [Utilisation des images satellites en données ouvertes pour le suivi des cultures](#), à partir de 28:00 présentation de EO Browser, MAPAQ (2022).
- Drainage : mythes et réalités

Applications

- [Info-Sols](#)
- [Info-Sols 2](#) (en développement)
- [EO Browser](#)

Documents

- [Guide](#) Diagnostic et drainage souterrain des terres agricoles, CRAAQ (2022).
- [Document](#) de formation *Le drainage de surface*, MAPAQ (2009)

45

QUESTIONS ?



Dîner libre. Retour ici pour 13h30 ☺

Prochain atelier : *Prédire l'évolution de la matière organique et la compaction des sols*

46

Prédire l'évolution de la matière organique et la compaction des sols

Atelier Diagnostic 3
20 février 2023

irda

La référence au Québec en
R - D pour une agriculture durable

1

À L'AGENDA

Atelier Diagnostic 3
Prédire l'évolution de la matière organique et la compaction des sols

- Prédire l'évolution de la matière organique (m.o.) des sols
 - Notions à comprendre
 - Diagnostic de la m.o.
 - Résultats de l'EESSAQ en lien avec la m.o.
 - OGEMOS
- 14h00 : Période de questions
- Prédire l'évolution de la compaction des sols
 - Notions à comprendre
 - Diagnostic de la compaction
 - Résultats de l'EESSAQ en lien avec la compaction
 - Terranimo
- Références complémentaires
- 14h55 : Période de questions

2

Prédire l'évolution de la matière organique des sols

irda

3

AV1

Notions à comprendre
C'est quoi la m.o. des sols?

Composés organiques ^{« avec du carbone »} accessibles aux microorganismes

Produits par organismes **vivants** → carbone organique

complexes argilo-humiques organo-minéraux
→ Résidus **microbiens** + particules fines du sol

~~Stock d'humus~~ **flux de m.o. à piloter**

4

Diapositive 4

AV0

Il y a une vue traditionnelle et une vue émergente. Traditionnellement, on voit le carbone comme un STOCK à gérer alors que ce serait plutôt un FLUX à piloter. Une manière d'évaluer la m.o. était par la mise en solution d'une fraction du sol dans une solution alcaline. Cette méthode est aujourd'hui jugée désuète et on lui préfère celles utilisant un solvant aqueux. Il devient plus important d'évaluer l'accessibilité des microorganismes au carbone du sol que sa teneur en carbone stable (aussi appelé «carbone protégé»).

Vous avez certainement dû entendre parler de l'humification : les mots humus, humine, acides fulviques font partie de notre langage commun. Depuis 10 ans et grâce à un certain changement de mentalité vis-à-vis notre rapport au vivant, il est de plus en plus solidement compris que la matière organique du sol, ce n'est pas un stock d'humus -un peu mystique- qui se forme suite à l'accumulation de résidus ligneux. C'est un complexe entre les microorganismes et les particules fines du sol (argile principalement). Ainsi, il est possible de séquestrer du carbone même avec des résidus carbonés très décomposables (ex. : résidus verts, feuilles, etc.).

Mots tendances : soil organic carbon (SOC), particulate organic matter (POM), fine organic matter (FOM).
Complexe organo-minéral.

Alexandra Villeneuve; 2022-09-14T20:38:57.470

AV1

RÉFÉRENCES :

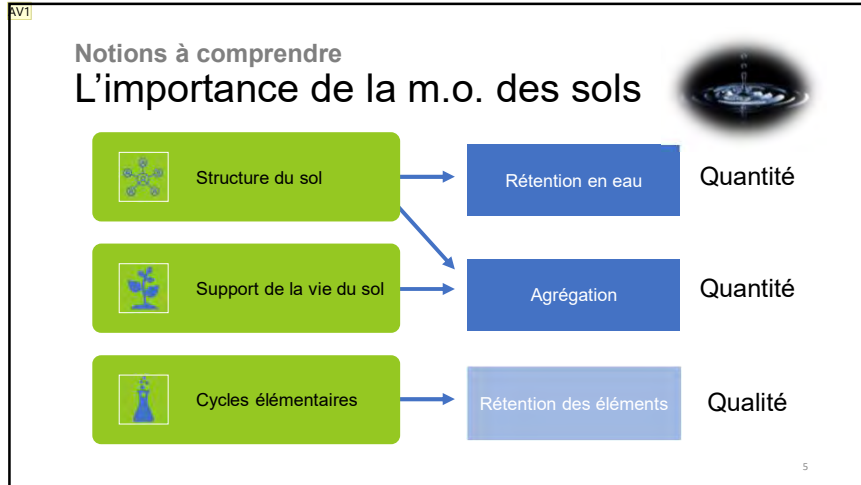
Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60-68.
<https://doi.org/10.1038/nature16069>

Module 3 « Gestion de la matière organique » du Guide des Pratiques de conservation en grandes cultures, 2000

Présentation de Martin Chantigny du 8 février 2022 : « La santé du sol : Comprendre les bases pour mieux comprendre l'impact des pratiques agricoles ». https://www.youtube.com/watch?v=_QH9kODUDVo

Samson, M.-E., Chantigny, M. H., Vanasse, A., Menasseri-Aubry, S., Royer, I., & Angers, D. A. (2020). Management practices differently affect particulate and mineral-associated organic matter and their precursors in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 148, 107867. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107867>

Alexandra Villeneuve; 2022-09-14T20:50:40.688



Notions à comprendre

Ce qui fait qu'on en a plus ou moins

On hérite de la genèse du sol

- Dépôts d'origine
- Possibilité de se minéraliser
- Ce qui le couvrait jadis

Niveau de m.o. pour un sol moyennement riche*

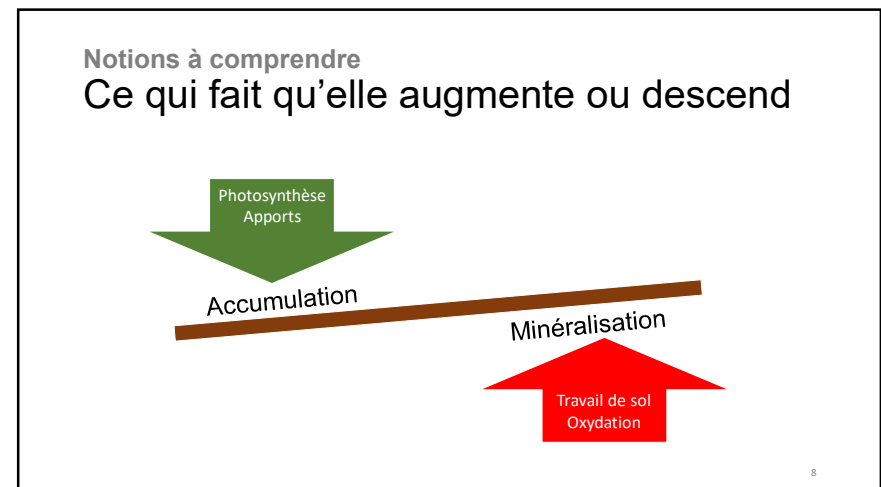
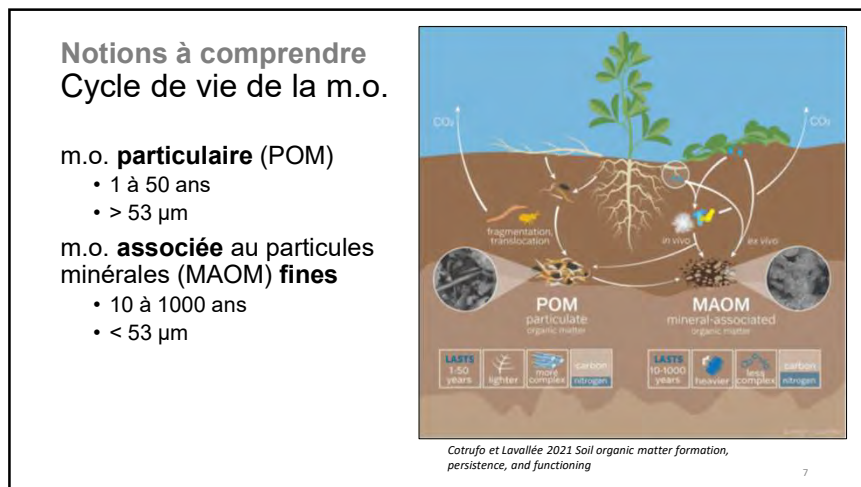
4,6 à 10% → sol lourd

3,6 à 6,5% → sol léger

Seuil critique de 4% de m.o. (~2% de Corg)

* Selon l'Inventaire des problèmes de dégradation des sols du Québec (1990)

6



Diapositive 5

AV0 RÉFÉRENCES :

Hoffland, E., Kuyper, T.W., Comans, R.N.J. et al. Eco-functionality of organic matter in soils. Plant Soil 455, 1–22 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04651-9>

Alexandra Villeneuve; 2022-09-14T20:52:16.660

AV1 Le tableau résume les concepts que j'aimerais que tu expliques. Par contre, j'enlèverais deux fonctions du tableau que tu vois car Hoffland et al. nous préviennent de l'aspect sous-démontré de celles-ci :

- Promotion of plant health
- Compound retention

Alexandra Villeneuve; 2022-09-14T21:10:29.412

Diagnostic de la m.o. des sols

Échantillonnage du sol
Zone homogène
Profondeur : 0 à 20 cm

Analyse
Méthode indirecte
■ Depuis 2007 : m.o. par perte au feu

Interprétation
Connaître sa série de sol et interpréter à l'aide des études pédologiques.



9

Évolution de la matière organique

IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'ÉVOLUTION DE LA SANTÉ DES SOLS

ÉTUDE SUR L'ÉTAT DE SANTÉ DES SOLS AGRICOLES DU QUÉBEC

MARC-OLIVIER GASSER




10

État de santé des sols agricoles du Québec

425 sites

- Échantillonnage en mai et juillet 2018 et 2019.
- 71 séries de sol.
 - 6 sites (champs) par série de sol:
 - 4 cultivés;
 - 2 témoins.
- 4 profils échantillonnés par site.
- 2 - 3 horizons échantillonnés par profil (Ap1, Ap2, B).
- Mesure des rendements,
- Enquête auprès des producteurs pour documenter les pratiques agricoles.

■ Friche, haie brise-vent, bande enherbée, bord de clôture.
■ Sols en bonne condition physique sous plantes pérennes.




Pour plus de détails sur le Matériel et Méthodes voir Webinaires Santé des sols du CRAAQ

11

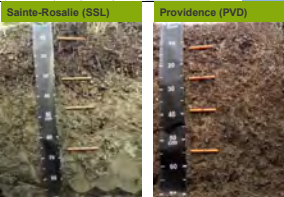
LES SOLS ARGILEUX

18 SÉRIES DE SOLS ÉVALUÉES
DANS LE CADRE DE L'ÉTUDE SUR L'ÉTAT DE SANTÉ DES SOLS AGRICOLES DU QUÉBEC (RESSAQ)



Série	Nom de la série et sol	Groupes	Classe de texture	Mode de drainage	Classe de texture	Classe de texture	Sous-région
1	Sainte-Rosalie (SSL)	CANES	C	M	ATF	MAH	NE
2	Saint-Louis (SL)	SL	B	M	ATF	MAH	NE
3	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
4	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
5	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
6	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
7	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
8	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
9	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
10	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
11	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
12	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
13	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
14	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
15	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
16	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
17	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE
18	Chaudière (CH)	CH	B	M	ATF	MAH	NE

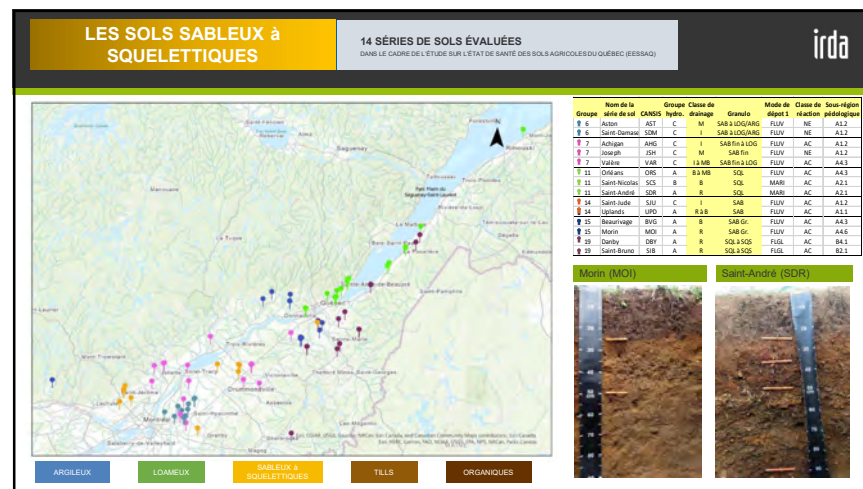
Argileux, Loameux, Sableux à squelettiques, Till, Organiques



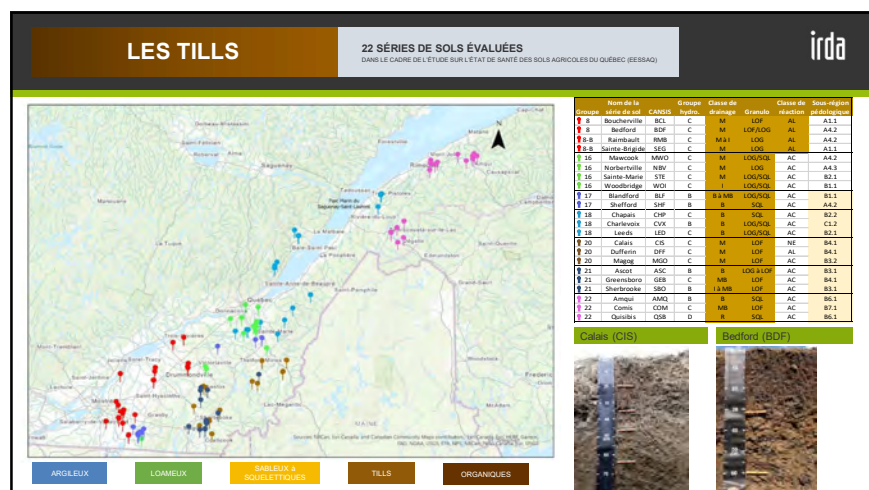
12



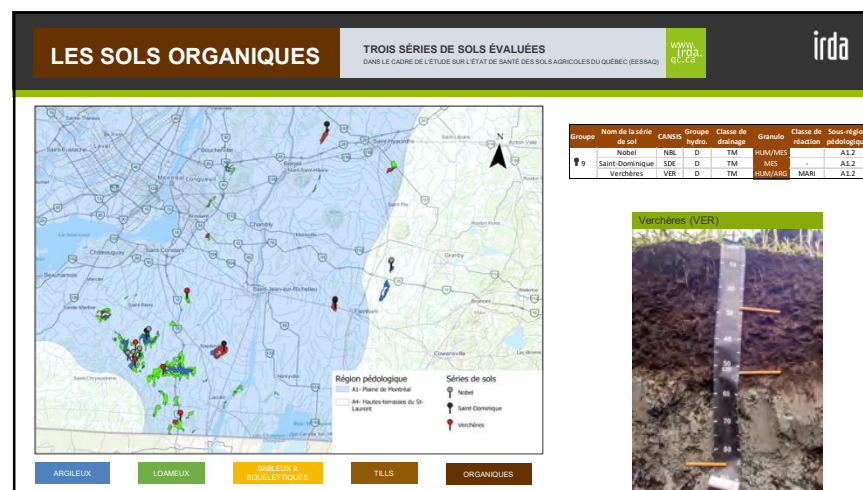
13



14



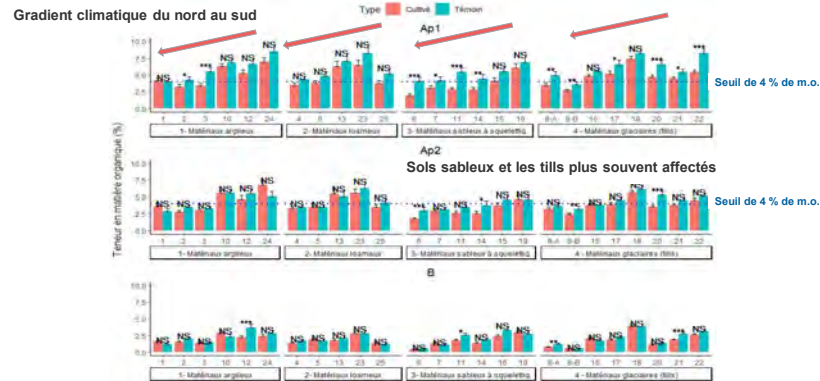
15



16

La teneur en matière organique des sols cultivés

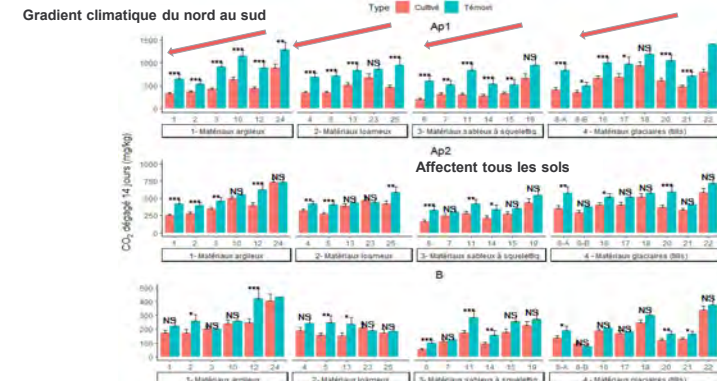
irda



17

La respiration microbienne des sols cultivés

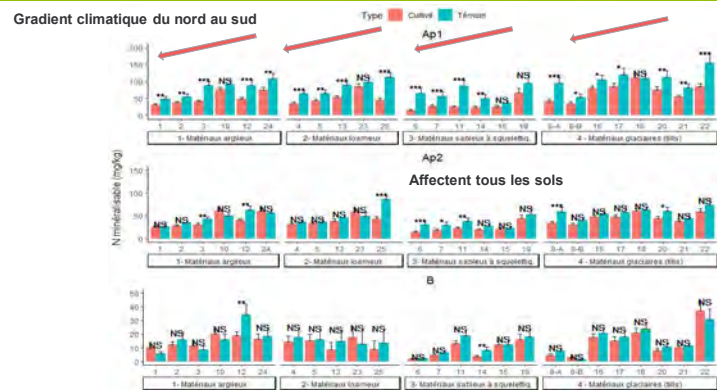
irda



18

L'azote minéralisable des sols cultivés

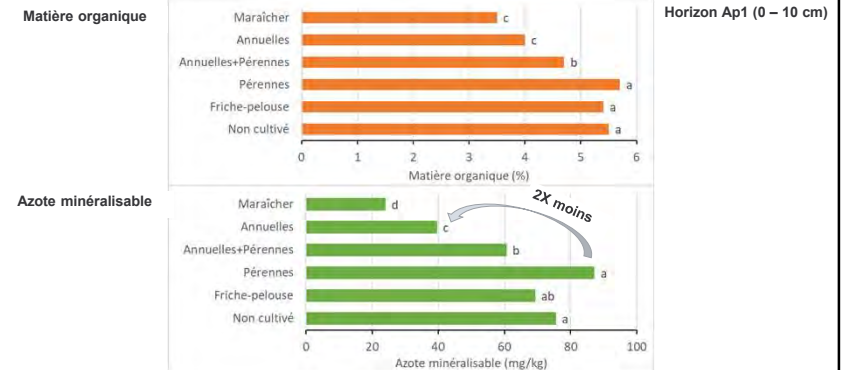
irda



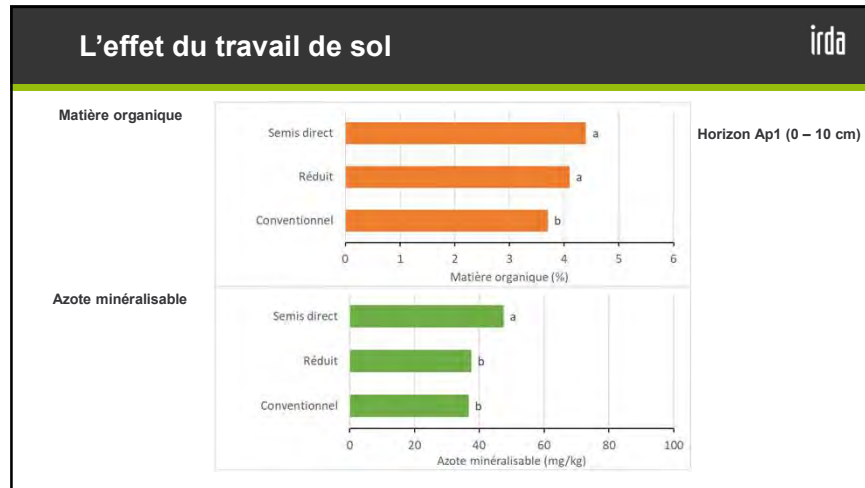
19

L'effet des systèmes de culture

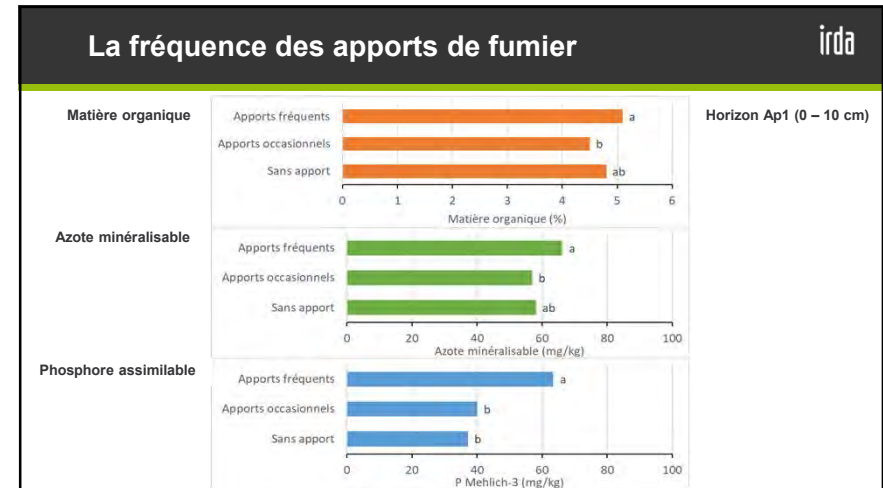
irda



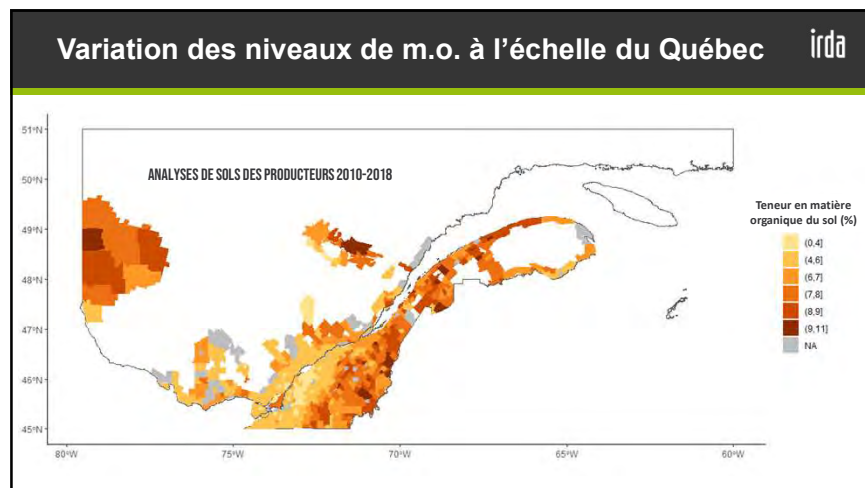
20



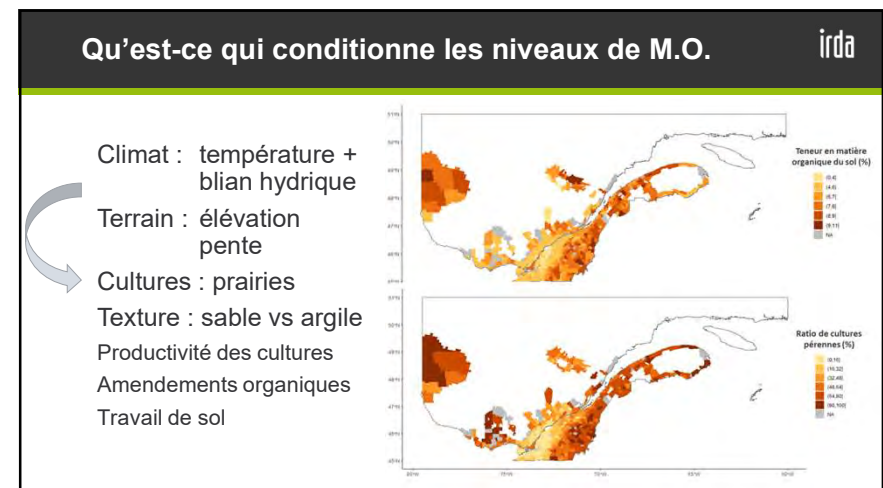
21



22



23



24

OGeMOS : un outil pour anticiper l'évolution de la matière organique des sols

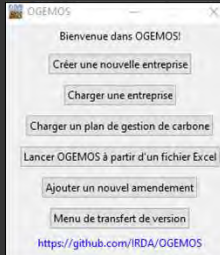


MARC-OLIVIER GASSER

irda



<https://github.com/IRDA/OGEMOS>



25

OGeMOS : en développement

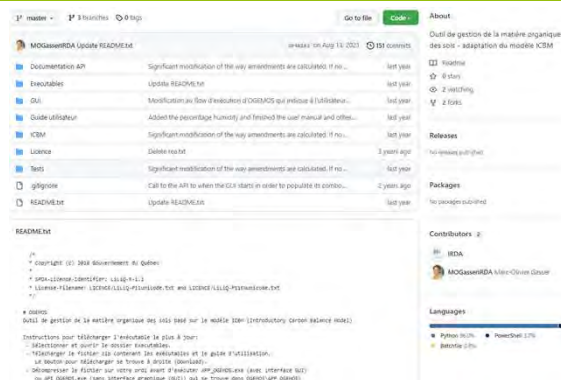
irda

- Phase 1 complétée:
 - Implanté un modèle éprouvé pour des conditions nordiques (ICBM)
 - Fournir le modèle sur une plateforme d'échange ouverte (<https://github.com/IRDA/OGEMOS>)
- Phase 2 à compléter :
 - Validation
 - Indicateur climatique
 - Texture du sol (-)
 - Intensité de travail de sol (0)
 - Classe de drainage du sol (0)
 - Convivialité de l'interface
 - Interface WEB

26

OGeMOS : un outil pour anticiper l'évolution de la matière organique des sols

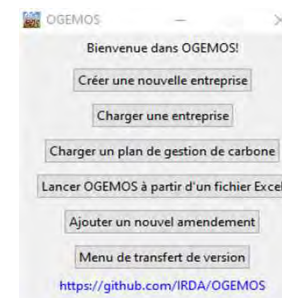
irda



27

OGeMOS : un outil pour anticiper l'évolution de la matière organique des sols

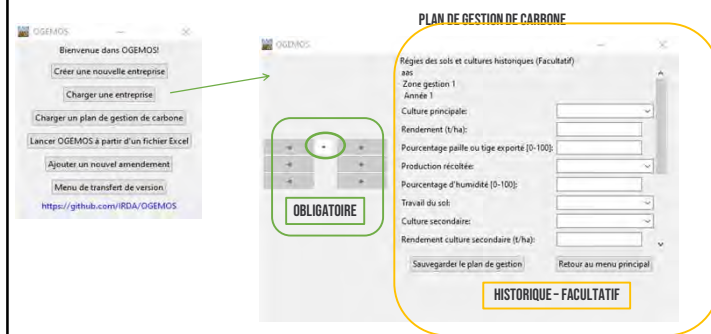
irda



28

OGeMOS : un outil pour anticiper l'évolution de la matière organique des sols

irda



29

Comparaison de scénarios de culture avec OGeMOS

irda

- 1. Production laitière** avec prairie et cultures annuelles
 - blé - soya + 3 ans de prairies + lisier de bovins laitiers
- 2. Cultures annuelles** (abandon de la prairie)
 - blé – soya – avoine
- 3. Cultures annuelles** (abandon de la prairie)
 - blé – soya – avoine + fumier de poulet et 2 cultures de trèfles intercalaires

Sol limoneux fin G2 (séries Alma ou Taillon) gleysol mal drainé sujet à la battance.
Pas de roche. Vallonneux. pH : 6.
• 2 niveaux de M.Org. : 6 et 5 %

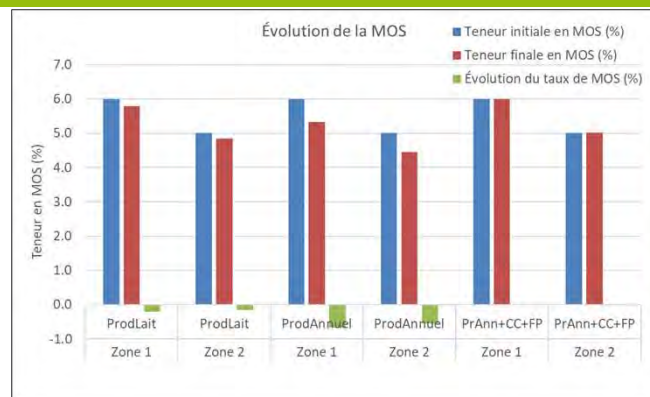
30

Simulation avec OGeMOS

irda



31



32

OGeMOS en développement

irda

- Limite du modèle:
 - Approximation de la réalité qui tend vers des effets moyens
 - Sert à dégager des tendances
 - Beaucoup trop d'incertitudes comme moyen pour évaluer un potentiel de séquestration de C dans les sols
- Permet néanmoins de simuler et de comparer des scénarios de gestion des cultures et des amendements organiques dans les conditions pédoclimatiques du Québec

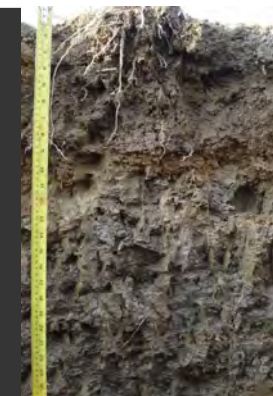
33

QUESTIONS ?

34

Prédire
l'évolution de
la **compaction**
des sols

irda



35

AV0

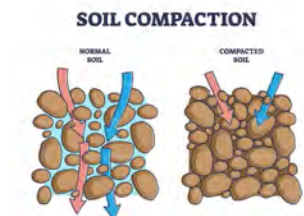
Notions à comprendre

Qu'est-ce que la compaction?

Compression de l'espace entre les
particules de sol

→ Diminution du volume d'air

On classe la compaction sous deux
types : de surface et profonde.



36

36

Diapositive 36

AV0 RÉFÉRENCES :

Webinaires de Marc-Oliver Gasser sur l'EESSAQ diffusés par le CRAAQ (2021 et 2022).

Fiche de l'USDA (1996) « Soil Quality Resource Concerns: Compaction ».
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051594.pdf

Alexandra Villeneuve; 2022-09-15T17:57:43.191

MOGO 0 https://agridea.abacuscity.ch/abauserimage/Agridea_2_Free/2544_4_F.pdf?xet=1582693425962
Marc-Olivier Gasser; 2022-10-13T12:26:50.014

AV0

Notions à comprendre Compaction *de surface*



Liée à la **surface de contact** avec le sol.

On la voit en surface.

Risques d'en faire en condition humide, mais aussi lorsque...

- Trop d'air dans les pneus;
- Surface de contact entre le pneu et le sol trop faible.

Peut accentuer le **ruissellement**

→ érosion

37

37

AV0

Notions à comprendre Compaction *en profondeur*



Elle varie selon le **poids porté par la roue**.

On ne la voit pas à la surface.

Elle peut s'observer jusqu'à 50 cm de profondeur dans le sol et parfois plus.

Ce qui arrive lorsque...
→ Trop de charge par roue
→ Trop de charge...tout court.

Peut nuire à l'infiltration de l'eau et créer des accumulations
→ Nappe perchée

38

38

AV0

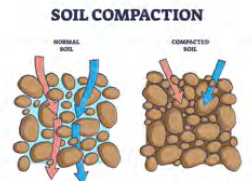
Notions à comprendre L'eau et la compaction

- Compression de l'espace entre les particules de sol

→ Diminution du volume d'air

→ **Diminution de la perméabilité** du sol au niveau de l'air **ET** de l'eau.

- En surface : l'eau pénètre difficilement
- En profondeur : l'eau stagne ou circule plus lentement
- **Moins d'air**...c'est aussi souvent **moins d'eau**



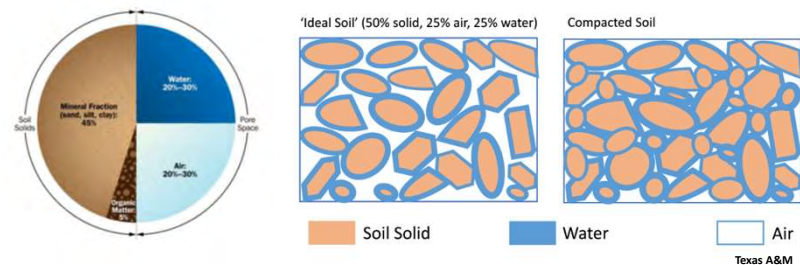
39

39

Une structure de qualité

irda

La recherche de l'équilibre



40

Diapositive 37

AV0 RÉFÉRENCES :

Présentation de Bruno Garon, diffusée par le CRAAQ. (2022, janvier 13). « À une profondeur de 20 pouces: 7,5 psi de contrainte dans le sol ». <https://www.youtube.com/watch?v=dkOjNQegSYM>

Minimiser la compaction en surface et en profondeur. (s. d.). MAPAQ.
<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/monteregie/articles/production/Pages/minimiser-compaction-surface>

Alexandra Villeneuve; 2022-09-15T17:54:11.852

MOG0 0 https://agridea.abacuscity.ch/abauserimage/Agridea_2_Free/2544_4_F.pdf?xet=1582693425962
Marc-Olivier Gasser; 2022-10-13T12:27:01.274

Diapositive 38

AV0 RÉFÉRENCES :

Présentation de Bruno Garon, diffusée par le CRAAQ. (2022, janvier 13). « À une profondeur de 20 pouces: 7,5 psi de contrainte dans le sol ». <https://www.youtube.com/watch?v=dkOjNQegSYM>

Minimiser la compaction en surface et en profondeur. (s. d.). MAPAQ.
<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/monteregie/articles/production/Pages/minimiser-compaction-surface>
Alexandra Villeneuve; 2022-09-19T13:09:56.009

MOG0 0 https://agridea.abacuscity.ch/abauserimage/Agridea_2_Free/2544_4_F.pdf?xet=1582693425962
Marc-Olivier Gasser; 2022-10-13T12:27:08.440

Diapositive 39

AV0 RÉFÉRENCES :

Présentation de Bruno Garon, diffusée par le CRAAQ. (2022, janvier 13). « À une profondeur de 20 pouces: 7,5 psi de contrainte dans le sol ». <https://www.youtube.com/watch?v=dkOjNQegSYM>

Minimiser la compaction en surface et en profondeur. (s. d.). MAPAQ.
<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/monteregie/articles/production/Pages/minimiser-compaction-surface>

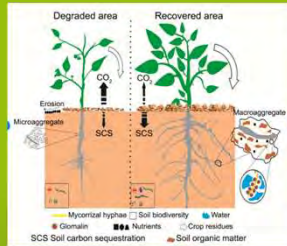
Diapositive 39 (suite)

Alexandra Villeneuve; 2022-09-15T17:54:11.852

MOGO 0 https://agridea.abacuscity.ch/abauserimage/Agridea_2_Free/2544_4_F.pdf?xet=1582693425962

Marc-Olivier Gasser; 2022-10-13T12:27:01.274

C'est quoi la structure de sols?



Agrégats

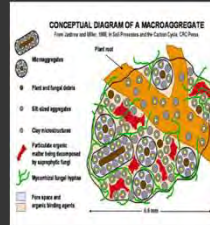
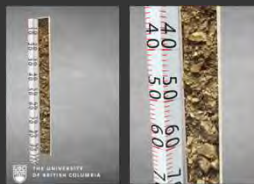


PHOTO : Kristine Nichols, USDA - La glomaline (en vert) contribue à la formation d'agréats d'un ou deux millimètres. Source : Bulletin des agriculteurs

Structure



L'organisation des agrégats dans le profil vertical

<https://monoliths.soilweb.ca/>

41

Diagnostic de la compaction des sols

Des réflexes simples à la portée de tous

Diminution du volume d'air

⚠ → Couche de sol plus dur, ferme.

⚠ → Racines qui bifurquent, s'arrêtent.

La compaction est souvent accompagnée d'une déstructuration



Indicateur de la qualité physique des sols minéraux

42

Description du profil agropédologique



Ap

Bf

Bg

Gley et/ou changement de matériau

Observations à noter / horizon identifié

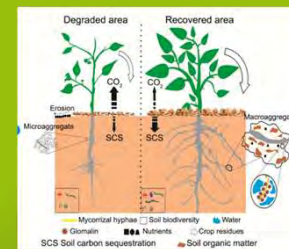
- Couleur
- Granulométrie:
 - Texture et fragments
- Réaction
- Structure
- Consistance
- Porosité
- Racines

Propriétés stables

Propriétés dynamiques

43

C'est quoi la structure de sols?

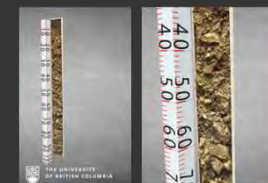


Agrégats



PHOTO : Kristine Nichols, USDA - La glomaline (en vert) contribue à la formation d'agréats d'un ou deux millimètres. Source : Bulletin des agriculteurs

Structure



L'organisation des agrégats dans le profil vertical

<https://monoliths.soilweb.ca/>

44

**Développement
d'un indicateur
de la qualité
physique des
sols minéraux par
évaluation
visuelle et tactile**

irida



45

Contexte au champ: l'évaluation de la structure des sols minéraux
irida

Quantification de l'état structural

- Besoin de quantifier la qualité structurale des sols minéraux. Les agronomes ne font pas de mesures physiques au champ.

Méthodes d'évaluation visuelle



- Peu d'outils et méthodes d'évaluation visuelle ont été validés dans les conditions des sols minéraux du Québec

Clientèle ciblée

- Destiné pour les conseillers agricoles
- Outil gratuit et facile d'utilisation

Outil pour son utilisation au champ

- Une réponse rapide et robuste
- Possibilité d'évaluer les impacts des différentes pratiques agricoles sur la structure du sol et établir des niveaux de dégradation ou d'amélioration

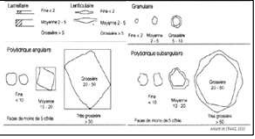



46

Un indicateur basé essentiellement dans la quantification des catégories qualitatives des descripteurs pédomorphologiques
irida


STRUCTURE

Type	Classe	Grade
Forme des agrégats	Dimension des agrégats en mm	Degré d'agrégation de la structure
<ul style="list-style-type: none"> Cotés ensemble 18 catégories 		




CONSISTANCE

- Résistance des agrégats à la déformation
- 5 catégories à l'état humide
- 7 catégories à l'état sec



POROSITÉ







Fine	Grossière
<ul style="list-style-type: none"> Nombre de pores de (0,5 – 2) mm de diamètre dans un bloc non-perturbé de 10 cm x 10 cm x 10 cm. 4 catégories 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de pores de >2mm de diamètre dans un bloc non-perturbé de 10 cm x 10 cm x 10 cm. 4 catégories



47

Exemple d'un profil de sol argileux
irida

Série: Saint-Urbain

Ap1 : 5,86		Ap1 : 9,72	
Ap2 : 4,15		Ap2 : 8,87	
Bg : 5,3		Bg : 8,39	

48

Diapositive 47

AV0

Diapos zoom. AV va faire pré-set up

[@Catherine Bossé] vidéo de prise d'échantillons

Alexandra Villeneuve; 2023-02-13T21:01:56.456

AV1

Un titre plus simple?

Alexandra Villeneuve; 2023-02-13T21:35:15.943

Description du profil agropédologique

La structure

irda

→ Disposition des particules primaires du sol en agrégat

1. Forme (Type)
2. Dimension (Classe)
3. Degré de développement – Stabilité de la structure (Grade)

Comment l'évaluer?

1. Prélever un bloc de sol ($\pm 10 \text{ cm}^3$) à l'intérieur de l'horizon ciblé.
2. Défaire avec précaution le bloc de sol pour séparer les agrégats.
3. Examiner les agrégats et noter leur forme, leur dimension et leur degré de développement.



49

Description du profil agropédologique

irda

Structure

Type (Forme)	Description	Classe (Dimension en mm)				
		Très Fine	Fine	Moyenne	Grossière	Très grossière
Granulaire	Granule à arêtes arrondies					
Polyédrique angulaire	Polyèdres à faces rectangulaires et aplaties, à arêtes très aiguës					
Polyédrique subangulaire	Polyèdres à faces subrectangulaire, à arêtes subarrondies					

50

Description du profil agropédologique

irda

Structure

Trois principaux descripteurs

1. Formes (Type)
2. Dimension (Classe)
3. Degré de développement – Stabilité de la structure (Grade)

Disposition des particules primaire du sol (sable, limon, argile) en agrégat

Type (Forme)	Description
Particulaire	Masse meuble et non cohésive de particules isolées, comme les sables. Sans structure apparente.
Massive ou Amorphe	Masse cohésive ne présentant aucun signe d'une disposition définie des particules. Sans structure apparente. Le terme « amorphe » est souvent utilisé pour définir un matériau organique bien décomposé ou pour définir un sol limoneux ou argileux naturellement sans structure (non compacté).

51

Description du profil agropédologique

irda

Structure

Trois principaux descripteurs

1. Formes (Type)
2. Dimension (Classe)
3. Degré de développement – Stabilité de la structure (Grade)

Type (Forme)	Description
Lenticulaire	Particules disposées sur un plan horizontal discontinu sous forme de lentilles - Feuilleté
Lamellaire	Particules disposées sur un plan horizontal continu sous forme de lamelles

52

Description du profil agropédologique

irda

Structure

Trois principaux descripteurs

1. Formes (Type)
2. Dimension (Classe)
3. Degré de développement – Stabilité de la structure (Grade)

Il caractérise le degré d'agrégation (développement) de la structure (faible, modérée et forte). Le grade peut varier selon l'état d'humidité du sol

Lorsque la structure est forte (bien développée), les agrégats sont bien visibles, se détachent facilement les uns des autres et restent stables lorsque l'on remue le sol. C'est un signe d'un sol de bonne qualité physique

Comment l'évaluer?

1. Caractère distinctif
2. Stable / Solide

Grade de la structure	Exemple en sol léger (sableux, loameux)	Exemple en sol lourd (argileux, limoneux)
Sans structure		
Faible		
Modéré		
Fort		

53

Description du profil agropédologique

irda

La consistance

Humide, sec et très humide

Variable selon l'état d'humidité du sol. Idéalement, la consistance à l'état humide est utilisée. Elle réfère à la résistance du sol à la déformation ou à la rupture et son degré de cohésion et d'adhérence (CEPP, 1998)

Comment l'évaluer

- Exercer une pression avec l'échantillon et évaluer la force exercée pour déformer le sol

Classe	Description
Meuble	Le matériau du sol est non cohérent.
Très friable	Le matériau de sol s'écrase facilement sous une pression très faible, mais forme une masse cohérente lorsqu'on le comprime.
Friable	Le matériau de sol s'écrase facilement sous une pression faible à modérée entre le pouce et l'index, formant une masse cohérente lorsqu'on le comprime.
Ferme	Le matériau de sol s'écrase sous une pression modérée entre le pouce et l'index, exerçant une résistance notable.
Très ferme	Le matériau de sol s'écrase entre le pouce et l'index lorsqu'on exerce une forte pression.

Pression exercée

54

Description du profil agropédologique

irda

La porosité

pores par unité de surface

de 10 x 10 x 10 cm :

Absent : Aucun
 Peu abondant : 1 à 3
 Abondant : 4 à 14
 Très abondant : > 14

Comment l'évaluer

Compter le nombre de pores de la grosseur désirés sur l'échantillon non-perturbé de sol de 10 x 10 x 10 cm

Indicateur de la qualité structurale

Pores fins < 2 mm

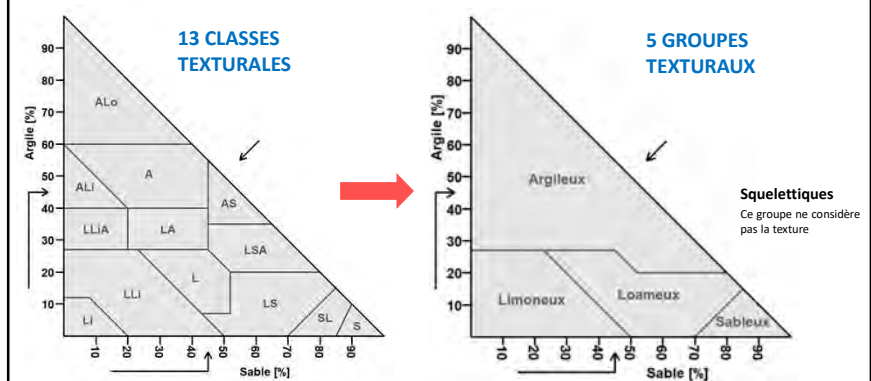
Pores grossiers > 2 mm



55

Classes texturales → groupes texturaux

irda



56

Exemple d'un profil de sol argileux Série: Saint-Urbain

Ap1 : 5,86

Ap2 : 4,15

Bg : 5,3

Ap1 : 9,72

Ap2 : 8,87

Bg : 8,39

57

Exemple d'un profil de sol argileux avec un très bon état structural Série: Saint-Urbain

Descripteur	Horizon Ap1	Horizon Ap2	Horizon B
Type/Classe	Polyédrique subangulaire / Fine à moyenne	Polyédrique subangulaire / Moyenne	Polyédrique subangulaire / Moyenne
Grade	Forte	Modérée à forte	Modérée à forte
Consistance	Tendre (état sec)	Friable (état humide)	Friable (état humide)
Porosité fine	Très Abondants (4-14)	Très Abondants (4-14)	Très Abondants (4-14)
Porosité grossière	Très Abondants (4-14)	Très Abondants (4-14)	Abondants (1-3)
Note de l'indicateur	9.72/10	8.87/10	8.39/10

58

Description du profil agropédologique

Propriétés dynamiques

À évaluer pour chaque horizon identifié

- Structure
- Consistance
- Porosité

Comment?
Avec un échantillon non-perturbé de sol

Comment prélever un échantillon non-perturbé?

- À l'aide d'un couteau ou d'une truelle, prélever un bloc de sol (10 cm x 10 cm x 10 cm) à l'intérieur de l'horizon ciblé

59

Description du profil agropédologique

Horizon Ap

Notez les informations à deux profondeurs s'il y a lieu

Ap Horizon minéral à la surface du sol, enrichi de matière organique, perturbé par l'activité humaine

Ap₁

- Profondeur de 8 à 12 cm résultant d'un travail peu profond;

Ap₂

- Situé entre le Ap₁ et l'horizon B
- Généralement moins travaillé que l'horizon Ap₁ en travail réduit
- Horizon hérité d'ancien labour

60

Résultats de l'EESSAQ – compaction



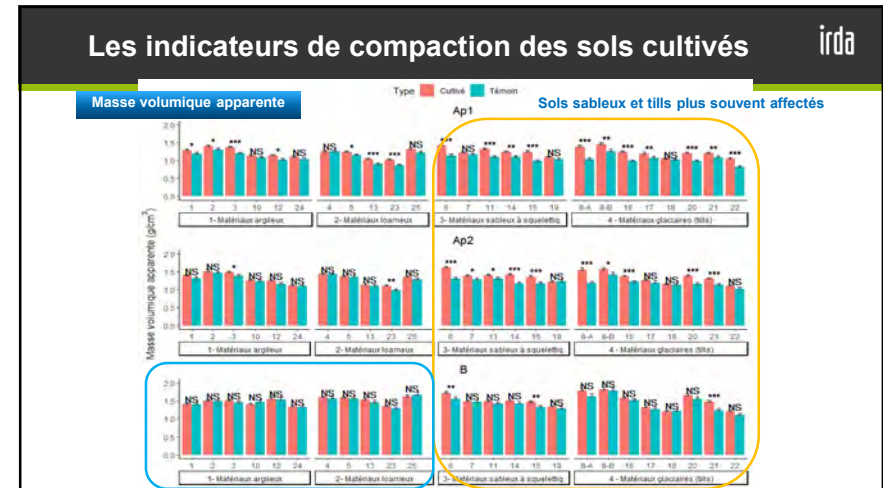

 MARC-OLIVIER GASSER


 CATHERINE BOSSÉ

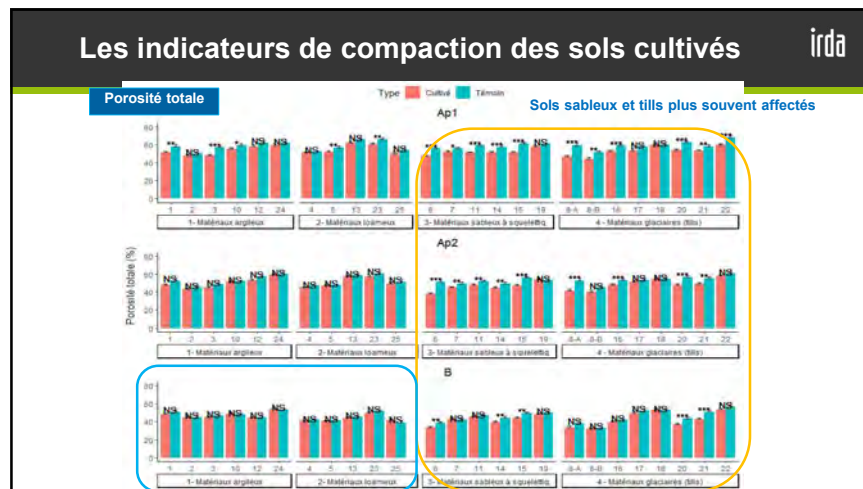

 CLAUDE BERNARD

irda

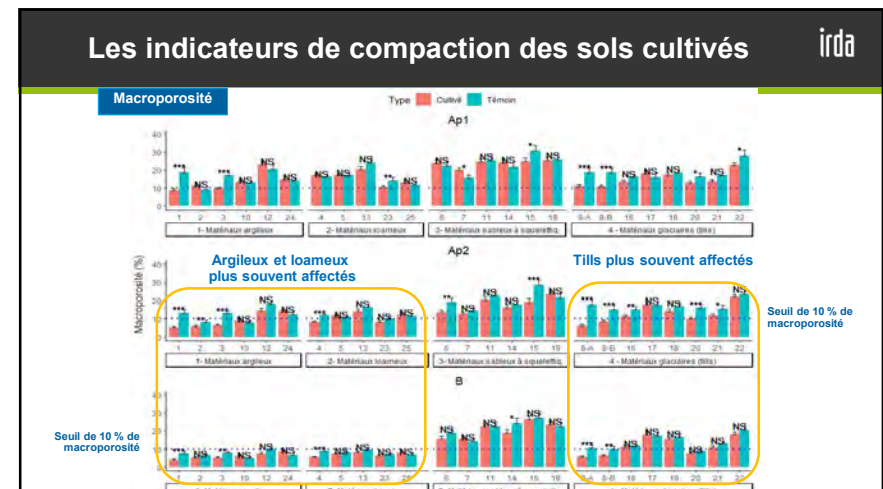
61



62



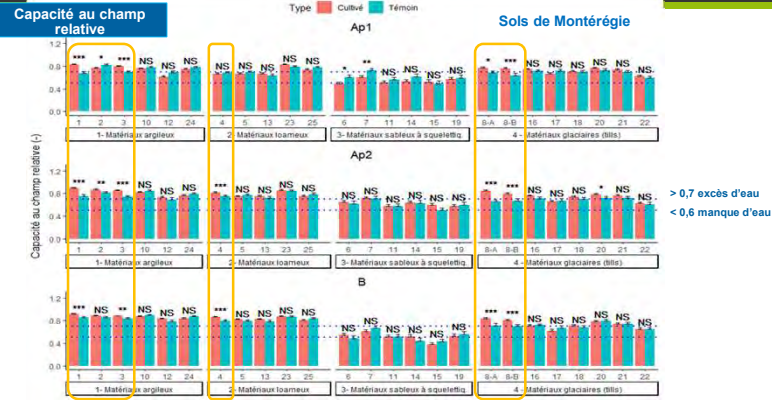
63



64

Les indicateurs de compaction des sols cultivés

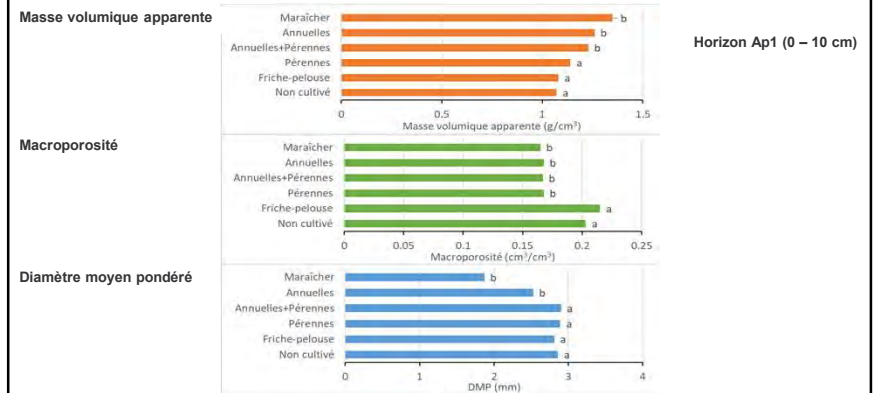
irda



65

L'effet des systèmes de culture

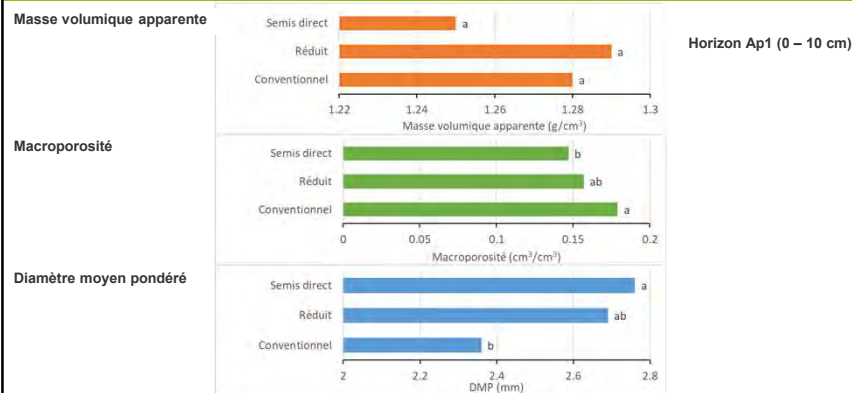
irda



66

L'effet du travail de sol

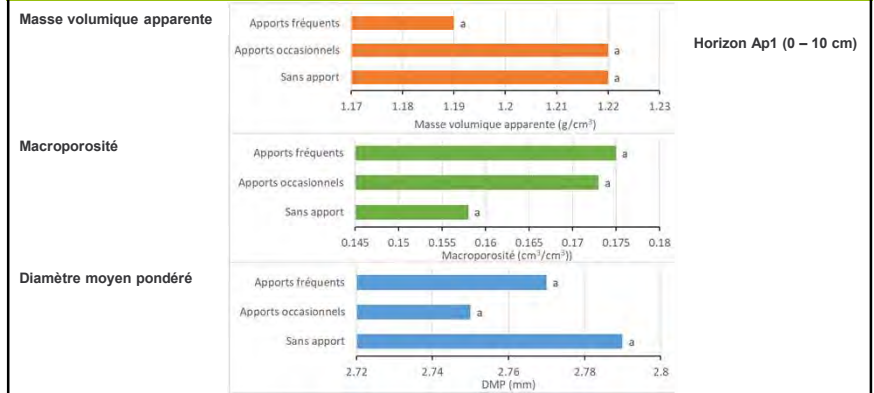
irda



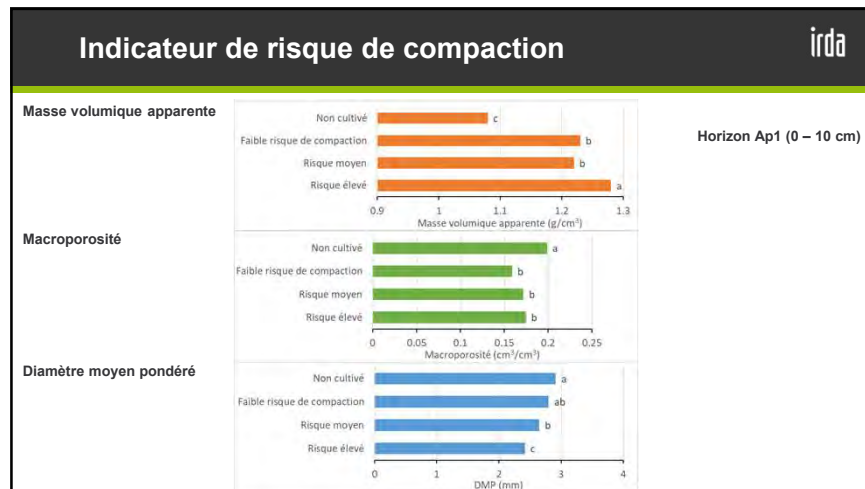
67

La fréquence des apports de fumier

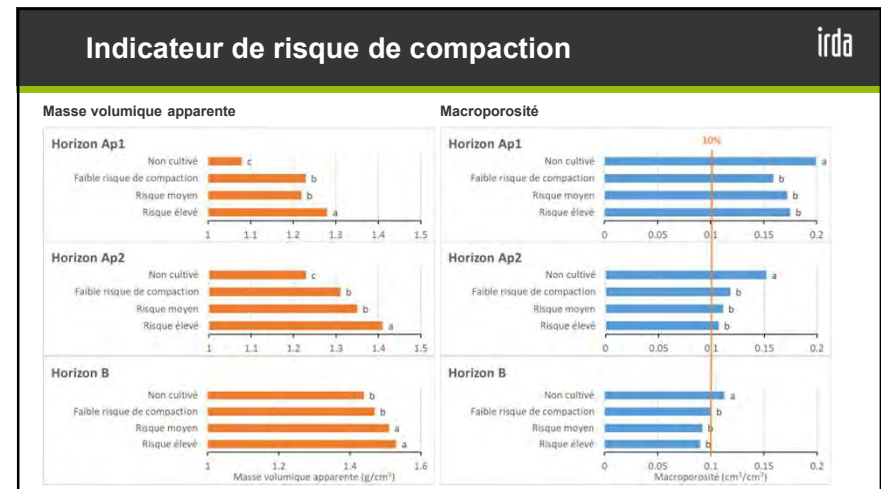
irda



68



69



70

Terranimo : un outil pour évaluer les risques de compaction

irda

Bienvenue sur Terranimo®

Terranimo® est un modèle de simulation pour le calcul du risque de tassement du sol par les véhicules agricoles.

Veuillez choisir la version de pays :

Suisse
Approuvé officiellement par les deux Offices fédéraux de l'agriculture et de l'environnement

Suède
Office d'Etat de l'agriculture, l'environnement et la politique

Saxe
Adapté par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement pour le MAFPAQ

Québec
Adapté par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement pour le MAFPAQ

MARC-OLIVIER GASSER

71

Utiliser Terranimo pour évaluer les risques de compaction

irda

Bienvenue sur Terranimo®

Terranimo® est un modèle de simulation pour le calcul du risque de tassement du sol par les véhicules agricoles.

<https://quebec-sandbox.terranimoworld/>

Veuillez choisir la version de pays :

Suisse
Approuvé officiellement par les deux Offices fédéraux de l'agriculture et de l'environnement

Suède
Office d'Etat de l'agriculture, l'environnement et la politique

Saxe
Adapté par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement pour le MAFPAQ

Québec
Adapté par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement pour le MAFPAQ

72

Utiliser Terranimo pour évaluer les risques de compaction

irda

Bienvenue sur Terranimo®

Terranimo® évalue le risque de compaction du sol associé au passage de la machinerie agricole.

<https://quebec-sandbox.terranimo.world/>

Il en existe deux versions:

Terranimo® light

pour une évaluation simple et rapide du risque de compaction.

Terranimo® expert

pour une analyse complète du risque de compaction dans des situations particulières.

73

Utiliser Terranimo pour évaluer les risques de compaction

<https://quebec-sandbox.terranimo.world/>

irda

Terranimo® light La version simplifiée



74

Utiliser Terranimo pour évaluer les risques de compaction

<https://quebec-sandbox.terranimo.world/>

irda

Terranimo® expert La version complète

Sélectionner la machinerie

Épandeur à fuser à 2 essieux		Tracteur 130-180 CV	
Charge remorquée	22000 kg	Poids effectif	87300 kg
Poids à vide	19500 kg	Poids à vide	83000 kg
Poids de chargement	14000 kg	Compacité avant	300 kg
Charge avant	2000 kg	Charge d'essai	2000 kg
Pourcentage de charge sur l'essieu avant chargé*	30 %	Pourcentage de charge sur l'essieu avant chargé*	27 %
Charge sur l'essieu avant chargé*	60400 kg	Charge sur l'essieu avant chargé*	21300 kg
Charge sur l'essieu arrière chargé*	95000 kg	Charge sur l'essieu arrière chargé*	22700 kg
Largeur de travail	12 m	Vitesse	30 km/h
Poids total autorisé	307000 kg	Largeur de travail	3 m
Poids d'entraînement*	24 %	OK	Oui

* les valeurs affichées sont arrondies

75

Utiliser Terranimo pour évaluer les risques de compaction

<https://quebec-sandbox.terranimo.world/>

irda

Terranimo® expert La version complète

Configurer les pneus ou chenilles

Tracteur 130-180 CV - Roue avant gauche		Tracteur 130-180 CV - Roue avant droite	
Poids à vide	4900 kg	Poids à vide	5200 kg
Poids à vide	26.11 psi	Poids à vide	26.11 psi
Poids à vide	4900 kg	Poids à vide	5200 kg
Poids à vide	26.11 psi	Poids à vide	26.11 psi

La tension des pneus (double) correspond à moins de 90% du chiffre recommandé par le fabricant, ce qui risque d'augmenter la pression.

76

Utiliser Terranimo <https://quebec-sandbox.terranimo.world/> pour évaluer les risques de compaction irda

Terranimo® expert La version complète

Choisir ou définir le type de sol

sol argileux de la plaine de Montréal

Série de sol type: Série Rouleau
Sous-groupe pédologique: Clayon humique orthique
Masse de dépôt: Matis
Région pédologique: (A1) Plaine de Montréal (1-40 km)
Classe de drainage: Mal drainé
Modèle de terrain: Plat
Série de sol apparentée: Saint-Léon, Beaulieu, L'Assommoir

Horizon	Limite inférieure	Argile	Limons	Sable	Matière organique	Masse volumique apparente
Ap1	10 cm / 4"	70.0 %	25.0 %	5.0 %	4.8 %	1.24 g/cm³
Ap2	20 cm / 8"	75.0 %	24.0 %	1.0 %	5.0 %	1.22 g/cm³
Bp1	40 cm / 16"	74.0 %	25.0 %	1.0 %	1.8 %	1.25 g/cm³
Bp2	60 cm / 24"	62.0 %	33.0 %	5.0 %	0.3 %	1.34 g/cm³
Bp3	80 cm / 32"	81.0 %	17.0 %	2.0 %	0.3 %	1.33 g/cm³
Cg	100 cm / 39"	81.0 %	16.0 %	3.0 %	0.3 %	1.34 g/cm³

77

Utiliser Terranimo <https://quebec-sandbox.terranimo.world/> pour évaluer les risques de compaction irda

Terranimo® expert La version complète

Choisir ou définir la teneur en eau du sol

humide

Couche n°	Limite inférieure	Potential matriciel
1	10 cm / 4"	10 dbar
2	20 cm / 8"	10 dbar
3	30 cm / 12"	10 dbar
4	40 cm / 16"	10 dbar
5	50 cm / 20"	10 dbar
6	60 cm / 24"	10 dbar
7	70 cm / 28"	10 dbar
8	80 cm / 31"	7 dbar
9	90 cm / 35"	6 dbar
10	100 cm / 39"	5 dbar

1 dbar = 1 kPa = 101 kPa = 10 cm de hauteur d'eau

78

Utiliser Terranimo <https://quebec-sandbox.terranimo.world/> pour évaluer les risques de compaction irda

Terranimo® expert La version complète

Visualiser les résultats

Diagramme de décision: Pressions exercées à 25 cm de profondeur

Pression de contact à la surface du sol
Pression dans le sol
Effets des multiples passages
Exemple à titre 9.2 Tracteur 130-180 CV

sol argileux de la plaine de Montréal, humide

Diagramme de décision: Pressions exercées à 25 cm de profondeur

Pression exercée dans le sol (kPa)

Pression de contact à la surface du sol (kPa)

Effets des multiples passages

Exemple à titre 9.2 Tracteur 130-180 CV

sol argileux de la plaine de Montréal, humide

79

Remerciements

Équipe de production

- Catherine Bossé agr. IRDA
- Pierre-Luc Lemire, IRDA
- Lucie Grenon
- Francis Allard
- Arianne Blais-Gagnon, ing., IRDA

Partenaire financier

Agriculture, Pêcheries et Alimentation Québec

PRIME-VERT

UN PAS DE PLUS, ENVERS VOTRE COLLECTIVITÉ.

Comité technique

- Odette Ménard ing. agr. MAPAQ
- Bruno Garon ing. MAPAQ
- Lucie Grenon

80

Conclusion

irda

- La matière organique des sols évolue lentement et a un rôle important
 - Importe pour l'agrégation et la rétention en eau des sols
 - Diagnostic :
 - Analyses de m.o. (perte au feu) de l'horizon 0-20 cm (2007-2023)
 - Prévion avec OGeMOS
- La compaction réduit le volume d'air dans le sol
 - Diminue le potentiel de rétention en eau des sols
 - Diagnostic :
 - Profil de sol et indicateur de qualité physique
 - Prévion avec Terranimo

81

Références complémentaires

irda

Vidéos

- [La santé du sol : Comprendre les bases pour mieux comprendre l'impact des pratiques agricoles](#), AAC (2022)
- [La structure du sol, pilier de la santé des sols](#), IRDA (2023)
- « [À une profondeur de 20 pouces : 7,5 psi de contrainte dans le sol](#) », MAPAQ (2022)

Applications

- [OGeMOS](#)
- [Terranimo adapté pour le Québec](#)

Documents

- [Études pédologiques pour le Québec](#), SISCan (dates multiples)
- [Feuillelet 7-A Diagnostic et correction de problèmes de compaction et de drainage](#), CPVQ (2000)


82

QUESTIONS ?

83

À L'AGENDA

Atelier Intervention 1
Optimiser l'usage de l'eau



- Irrigation
 - Gestion raisonnée de l'irrigation
 - Outils d'aide à la décision (OAD)
 - Points de repère
 - Sources s'approvisionnement

Période de questions
- Qualité de l'eau d'irrigation

Période de questions
- Drainage contrôlé

Période de questions

11h00 à 11h10 : Pause

1

Optimiser l'usage de l'eau

Irrigation

Carl Boivin

Atelier Intervention 1

28 février 2023



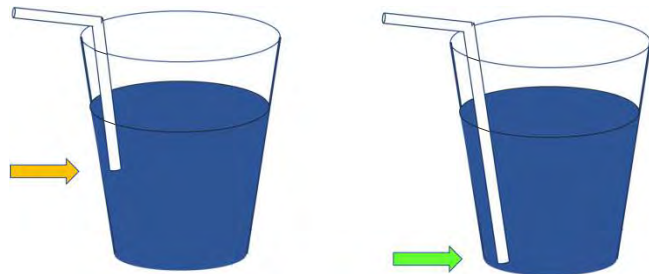
INSTITUT DE RECHERCHE
 ET DE DÉVELOPPEMENT
 EN AGROENVIRONNEMENT

2

Rappel

irda

- Important de connaître la vulnérabilité d'un système cultural
- L'irrigation est un moyen pour diminuer cette vulnérabilité, mais ce n'est pas le seul...
 - Ex. La profondeur du système racinaire



3

Gestion raisonnée

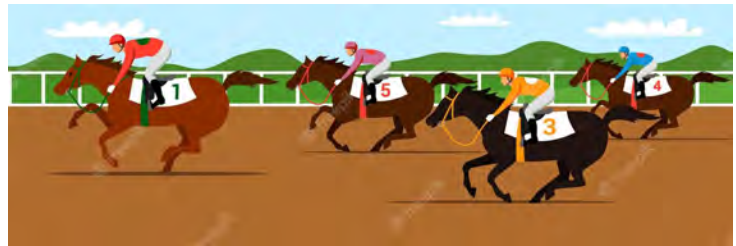
irda

4

Méthodes « qualitatives »

irda

- « Au feeling »
- Au toucher
- Après un nombre donné jours
- Selon les précipitations : « le pouce d'eau par semaine »
- Irriguer jusqu'à ce que la pompe manque d'essence



5

Gestion raisonnée de l'irrigation

irda

- La prise de décision devrait s'appuyer sur une démarche qui implique une analyse rationnelle

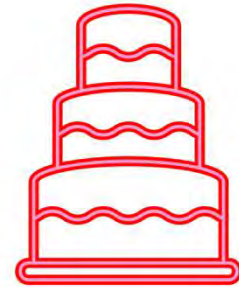


6

Gestion raisonnée de l'irrigation

irda

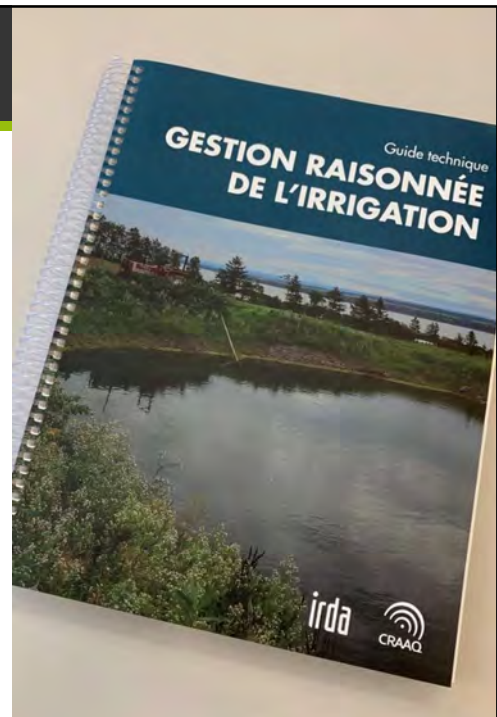
- C'est comme faire une recette
- Plusieurs éléments à rassembler
- Plusieurs étapes
- Difficile d'arriver à l'objectif sans avoir une méthode



7

Gestion raisonnée de l'irrigation

- Suggestion de livre de recettes
- Disponible au CRAAQ



8

5 conseils

irda

- Diversifier les sources d'information
- Utiliser des outils d'aide à la décision (OAD)
- Connaître ses sols
 - Capacité de rétention en eau
 - Compaction?
- Comprendre le système cultural en place
 - Profondeur système racinaire...
- Valider la pertinence d'adopter ou non l'irrigation
 - Vulnérabilité au stress hydrique
 - Économique

9

5 conseils de plus

irda

- S'assurer que l'approvisionnement en eau est suffisant
 - Volume disponible et réglementation
- Choisir le bon système d'irrigation
- Mesurer la performance du système d'irrigation
- Déterminer une consigne adéquate d'irrigation
- Déterminer la durée appropriée d'un épisode

10

Objectifs de l'irrigation

irda

- Rendement maximal
- Rendement optimal
- Assurance récolte
- Qualité
- Calibre
- Fertigation
- Germination, croissance des plantules
- Protection contre le gel
- Érosion éolienne
- Autres



11

Outils d'aide à la décision

irda



12

À quoi ça peut servir un OAD?

irda

- Évaluer la vulnérabilité au stress hydrique
 - Déterminer la zone de « confort hydrique »
- Identifier une consigne de déclenchement
- Valider la durée d'une irrigation
- Évaluer l'efficacité de la pluie et de l'irrigation

13

Outils d'aide à la décision

irda

- Tensiomètre : le plus Populaire
- Bilan hydrique
- Sondes teneur en eau
- Approche hybride



14

Outils d'aide à la décision

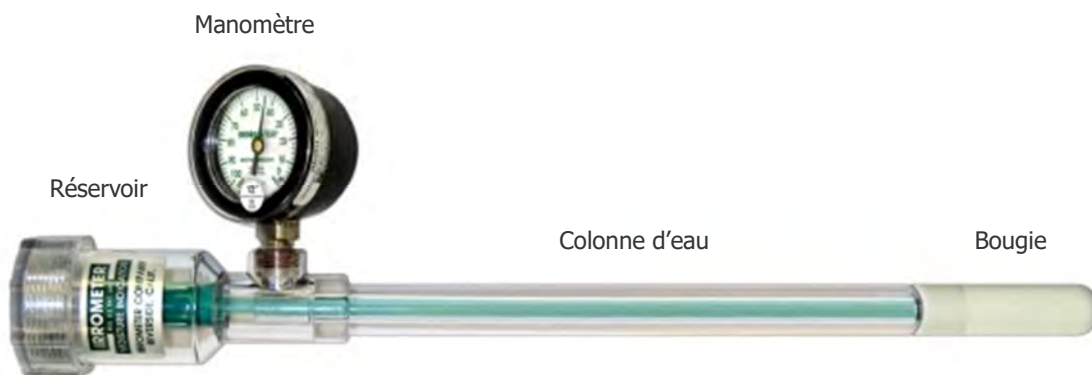
- Cahier technique



https://irda.blob.core.windows.net/media/6142/irda_bovinc_cahiertechiqueoad_ia319183_400175.pdf

15

Tensiomètre



16

Tensiomètre

irda



17

« Options »

irda

1. Communication

- a) Plateformes disponibles
 - PC, appareils mobiles
- b) Support matériel
 - Récepteur, relais
- c) Accès aux données à distance
 - Web, ondes radio, Wifi, relais entre les sondes
- d) Accès aux données à proximité
 - Bluetooth, câble, ondes radio, visuel



18

« Options »

irda

2. Mesures

- Tension, teneur en eau, pluviométrie, évapotranspiration, autres

3. Services client

- Installation, service conseil irrigation, assistance technique, désinstallation, remisage

4. Contrôle

- Gestion d'alarmes, automatisation d'équipements

19

Point tournant comme consigne

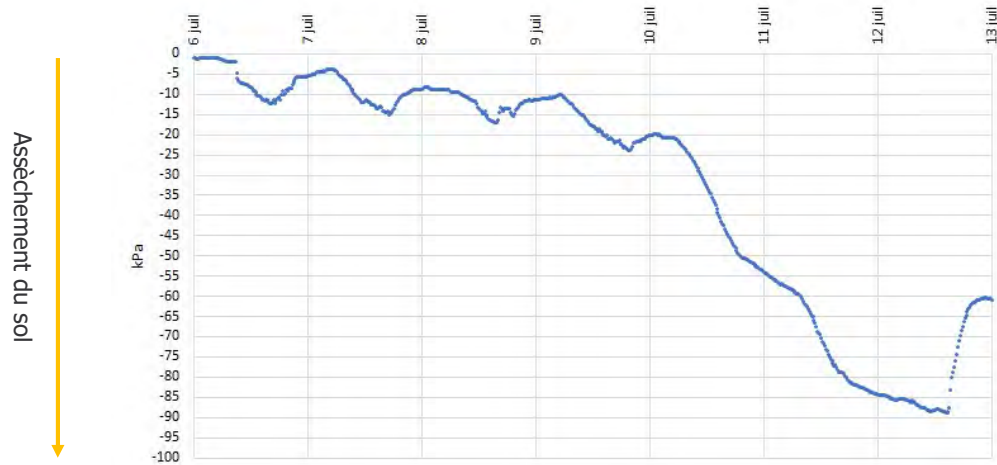
irda

- Probabilité élevée qu'il y a une contrainte de prélèvement
- Point de repère
 - Pour une consigne qui vise un objectif de « confort hydrique »
 - À partir duquel on envisage d'irriguer après un nombre donné de jours

20

Point tournant

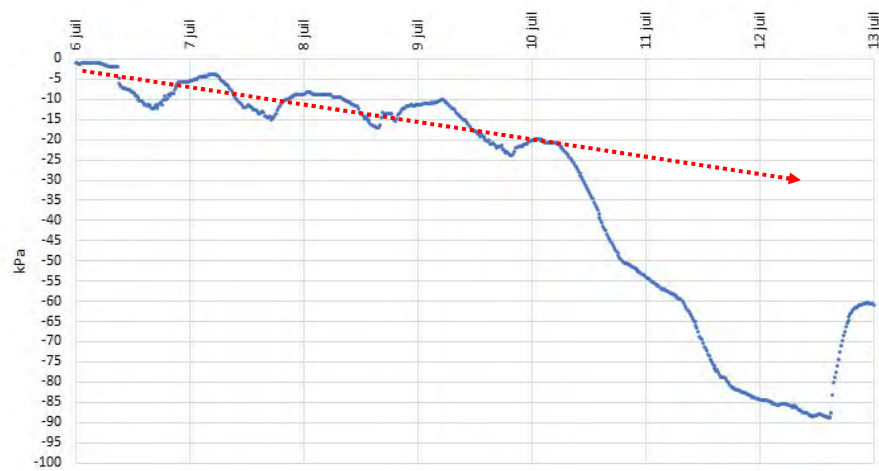
irda



21

Point tournant

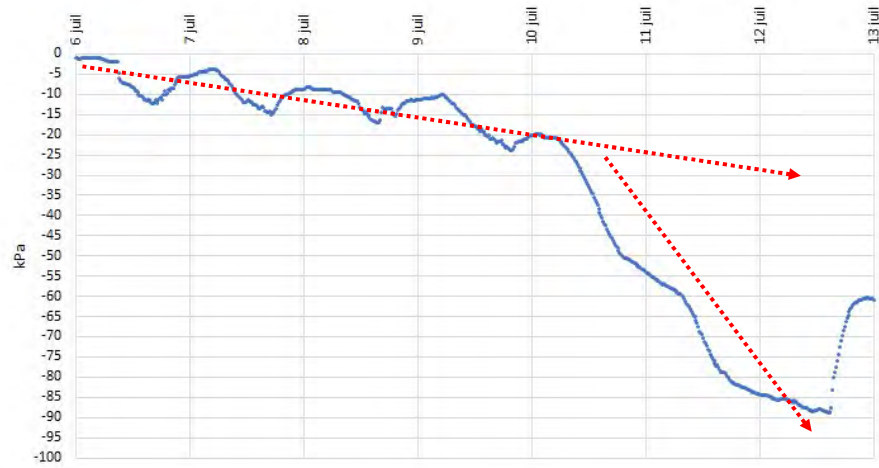
irda



22

Point tournant

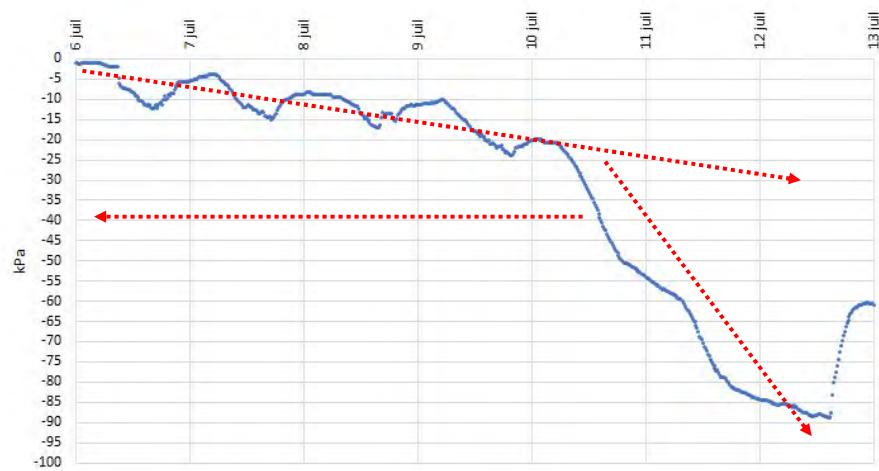
irda



23

Point tournant

irda



24

Tensiomètre irda	
Contextes favorables	Contextes défavorables
<ul style="list-style-type: none"> • Volume d'eau disponible : Non contraignant • Capacité d'intervenir avec l'irrigation au moment opportun • Automatisation de l'irrigation possible 	<ul style="list-style-type: none"> • Objectif irrigation : « Assurance récolte » • Sols avec pierrosité importante • Champ avec grande hétérogénéité
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Précision • Facilite identification consigne • Mesurer l'efficacité de la pluie et irrigation • Communication sans fil possible • Mesures directes 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût (selon modèle) • Mesures locales • Difficulté à déterminer un endroit représentatif pour l'installation • Risque élevé de déchargement en sol léger • Fragile

25

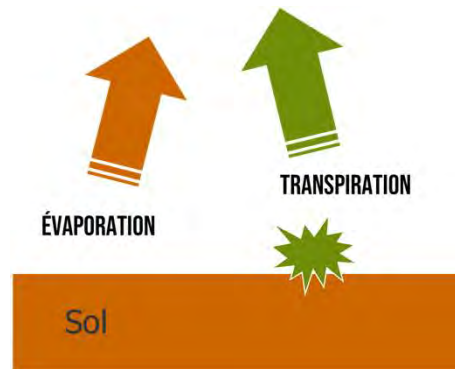
Bilan hydrique irda	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Comptabiliser les apports et les pertes en eau ■ Apports <ul style="list-style-type: none"> ▪ Précipitations « valorisables » ▪ Irrigations 	
	

26

Pertes en eau

irda

- Exportation en eau quotidienne
 - Évaporation + Transpiration
- ... Évapotranspiration
- Agrométéo Québec

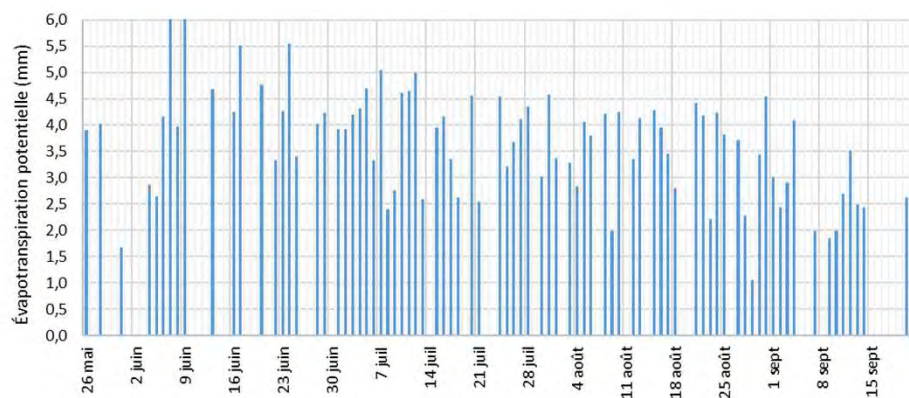


27

Évapotranspiration potentielle (ET_p)

irda

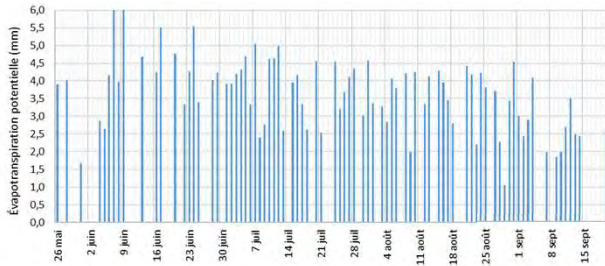
- Conditions météorologiques
 - Température et humidité relative de l'air, vent, radiation solaire



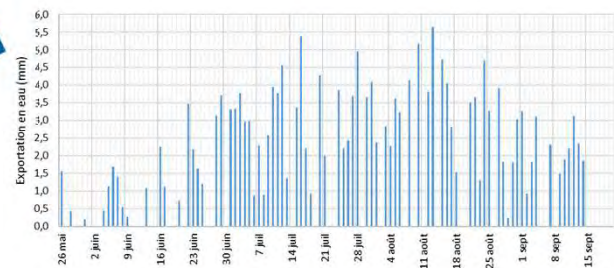
28

Estimer l'exportation en eau du système cultural

irda



Convertir évapotranspiration potentielle (ET_p) en évapotranspiration de la culture (ET_c)

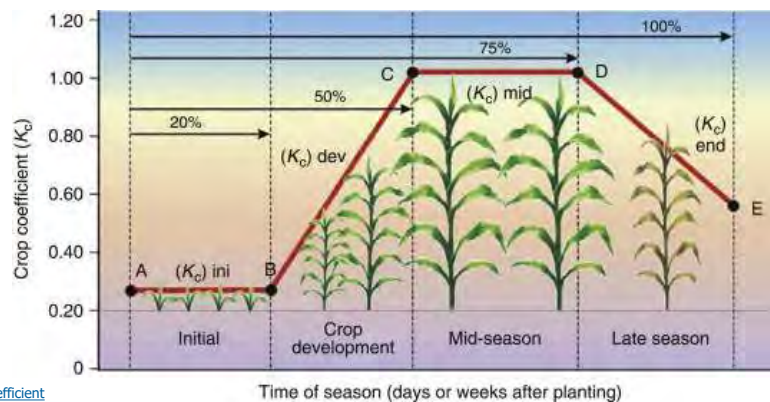


29

Facteur de conversion

irda

- Évapotranspiration potentielle (ET_p)
 - ... conditions météo.
- À laquelle, on applique un facteur de conversion (K_c)
- $ET_p \times K_c = ET_c$



<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/crop-coefficient>

30

Budget

irda

Historique - Bilan hydrique - 7 jours

Date	Estimation hauteur d'eau valorisable (mm)	ETp (mm)	Kc	ETc (mm)	Apports en eau (mm)		Estimation hauteur d'eau valorisable (mm)
					Pluie	Irrigation	
	Début journée						Fin journée
11-août	21	3,3	1	3,3	0	0	17,7
12-août	17,7	1,2	1	1,2	35	0	21
13-août							
14-août							
15-août							
16-août							
17-août							

31

Bilan hydrique

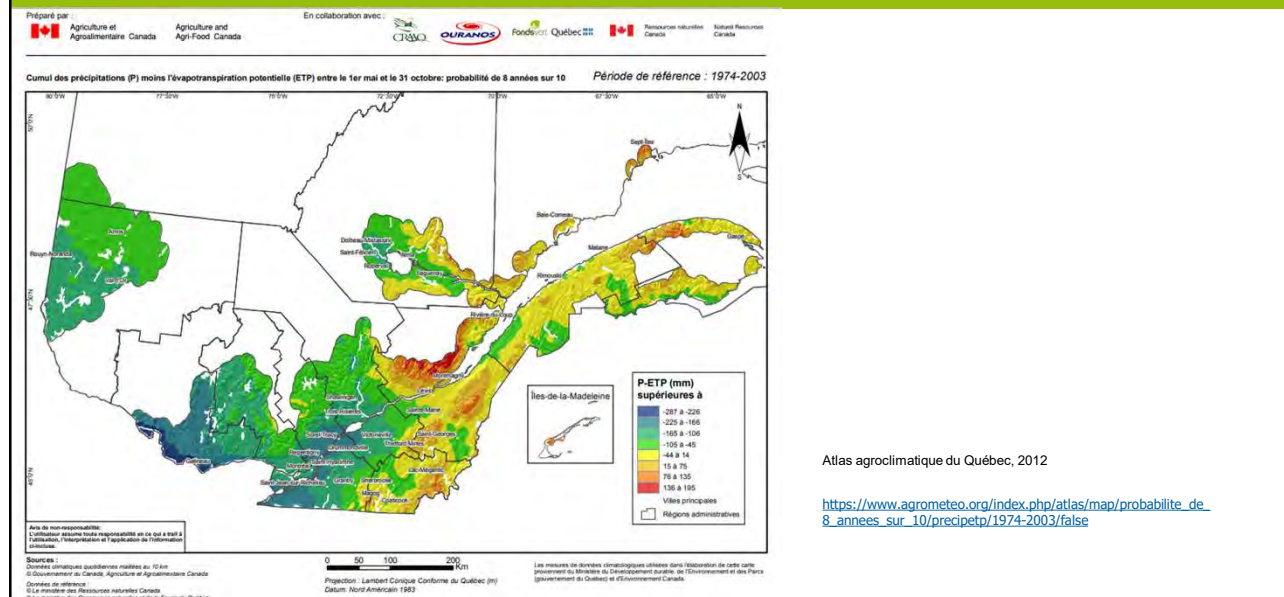
irda

Contextes favorables	Contextes défavorables
<ul style="list-style-type: none"> Grande superficie à gérer Systèmes d'irrigation par aspersion 	<ul style="list-style-type: none"> Absence de données météorologiques complètes (Pluie, ET_p)
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Coût par unité de surface Prévision du moment où la consigne sera atteinte 	<ul style="list-style-type: none"> Approche théorique Construction d'un biais possible entre l'estimation et statut hydrique réel Difficile de valider l'efficacité de la pluie et de l'irrigation Investissement en temps plus grand

32

Précipitations – Évapotranspiration (P-Etp)

irda



33



34

Sources

irda

- Étangs creusés
- Cours d'eau
- Lac
- Aqueduc
- Captage des précipitations



35

Potentiel d'approvisionnement en eau

irda

- Contraintes possibles
 - Volume
 - Règlementation
 - Qualité



36

Volume d'eau nécessaire

irda

- 1 épisode de 19 mm (3/4") :
 - 1 ha
 - 190 m³ ou 190 000 litres ou 50 193 gallons
 - 20 ha
 - 3800 m³ ou 3 800 000 litres ou 1 003 857 gallons



37

Conclusions

irda

- Quelle est la vulnérabilité de mon système cultural?
- Les OAD sont utiles pour la déterminer
- En contexte irrigué, évaluer le volume d'eau nécessaire
- Contrainte d'approvisionnement?
- Gestion de l'irrigation devrait reposer sur une démarche qui implique une analyse rationnelle

38

Optimiser l'usage de l'eau

Qualité de l'eau d'irrigation

Caroline Côté

Atelier Intervention 1

28 février 2023

irda INSTITUT DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT EN AGROENVIRONNEMENT

39


Qualité de l'eau et écosystèmes

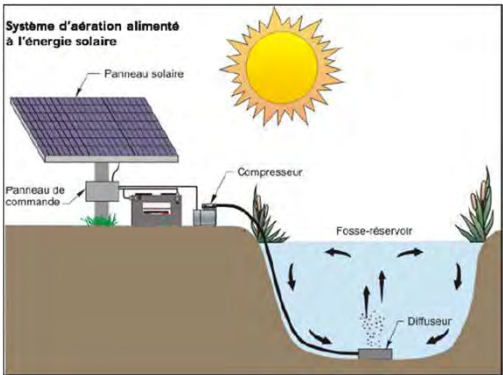
irda

- Algues bleu-vert
- DBO_5
- Pesticides

Lumière

Nutriments





40

Qualité de l'eau et productivité végétale

irda

- Pesticides
- Phytopathogènes
- Salinité
 - Structure du sol
 - Plantes sensibles
 - RAS (ratio d'absorption du sodium)
 - Inférieur à 6
 - Entre 4 et 6 et conductivité supérieure à 1,5 dS/m
 - Utiliser avec prudence
 - Entre 6 et 9
 - Suivi dans le sol à tous les 1 à 2 ans
 - Supérieur à 9

41

Qualité de l'eau et santé humaine

irda

- Santé humaine
 - Pesticides
 - Microorganismes pathogènes
 - Cultures d'alimentation humaine
 - Délai épandage – récolte
 - Algues bleu-vert

42

Risques selon la source d'eau

irda



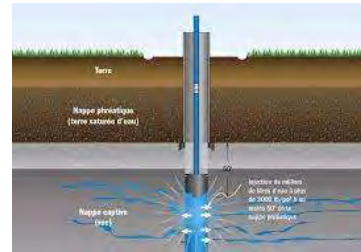
- + Disponibilité de l'eau
- Qualité variable et imprévisible

Vérifier les sources de contamination en amont
Analyser régulièrement



- + Contrôle sur la qualité
- Espace requis

Appliquer des mesures pour prévenir la contamination
Aérer



- + Généralement bonne qualité
- Coûteux

Vérifier salinité

43

Optimiser l'usage de
l'eau

Drainage contrôlé

Alexandra Villeneuve

Atelier Intervention 1

28 février 2023

irda

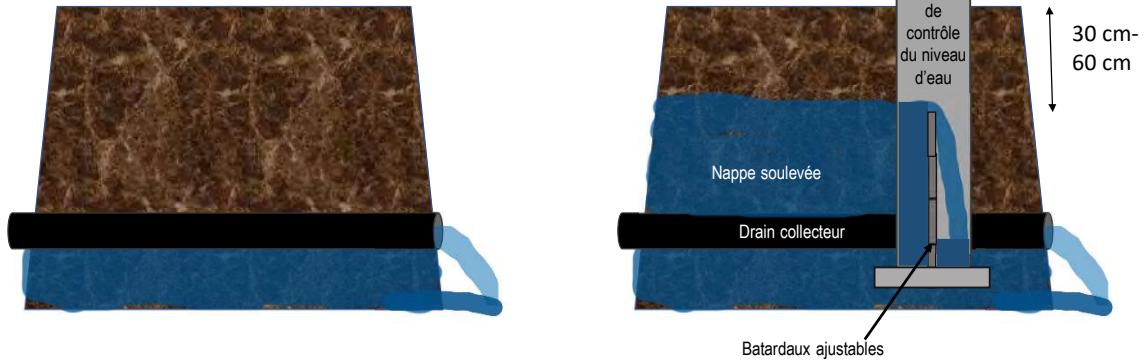
INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT

44

Drainage contrôlé Principe

Système de contrôle fermé l'été et après la récolte

→ nappe soulevée à partir du temps des semis jusqu'aux premiers gels.



45

45

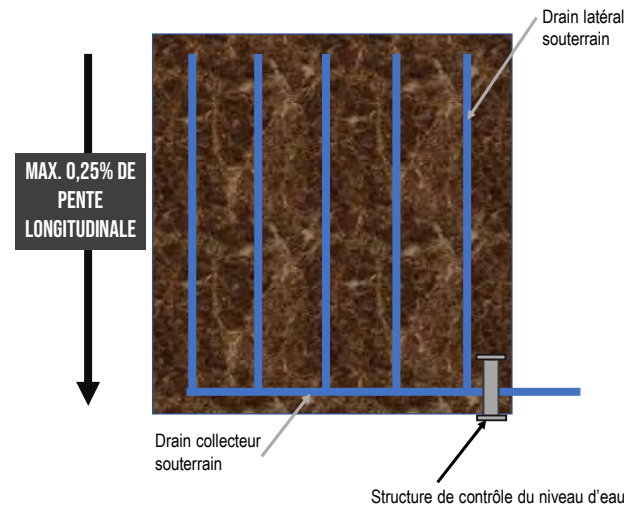


46

Drainage contrôlé

Critères

- Champ
 - drainé souterrainement
 - carré
 - très plat
- Sol minéral
- Sous-sol imperméable (gley)
 - À maximum 3m de profondeur



47

47

Drainage contrôlé

À quoi s'attendre

Qualité de l'eau

- Baisse marginale des pertes de N et de P pendant la saison de croissance (IRDA, 2022)
 - Baisse + significative en postrécolte (-3,7 kg N/ha et -0,41 kg P/ha)
- ⚠ Ruissellement : suivre la hauteur de la nappe, éviter de fermer tôt au printemps

Quantité d'eau

- 18 à 54 mm d'eau exportée en moins lors de la saison de croissance (IRDA, 2022)

48

48

QUESTIONS ?




1

À
L'AGENDA

Atelier Intervention 2

Améliorer les pratiques agricoles et les systèmes cultureux favorables à la conservation de l'eau



■ **Systèmes cultureux de conservation des sols**

- Pratiques bénéfiques et antagonistes
- Quelques constats de nos recherches

Période de questions.

11h40 à 13h20 : Dîner libre

2



3

SYSTÈMES CULTURAUX DE CONSERVATION DES SOLS
irda

Pratiques de conservation à promouvoir

1. Maintenir, voire accroître les surfaces agricoles en **cultures pérennes**
2. Réduire l'intensité du **travail de sol** -> **semis-direct**
3. Maintenir une **couverture de sol** (**vivante** ou résidus de culture/paillis)
4. **Diversifier** les rotations en grandes cultures
5. Favoriser une **gestion intégrée des fumiers** de ferme
6. Améliorer la **gestion du trafic de la machinerie** agricole pour éviter la compaction
7. Réduire sinon **éviter les intrants de synthèse**

4

SYSTÈMES CULTURAUX DE CONSERVATION DES SOLS

irda

■ Pratiques antagonistes

- Gestion des effluents d'élevage vs réduction du travail de sol
- Désherbage vs réduction du travail de sol
- Cultures de couvertures vs réduction du trafic
- Cultures de couvertures vs réduction des intrants de synthèse

■ Pratiques bénéfiques

- Cultures de couverture et désherbage
- Cultures de couverture et réduction du travail de sol
- Gestion des effluents d'élevage et travail du sol en bande ou sur billon



5

GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE VS RÉDUCTION DU TRAVAIL DE SOL

irda

FAUT-IL INCORPORER LES LISIERS AU SOL EN SEMIS DIRECT ? ET DANS LES PRAIRIES ?

- Épandre des lisiers sans les incorporer:
 - Augmente les émissions de NH_3
 - Accumule le P soluble (lisiers) à la surface du sol
- L'incorporation rapide et superficielle des lisiers:
 - Réduit les émissions d'ammoniac et augmente le stock de N dans le sol:
 - Augmente les prélèvements de N par la plante ?
 - Augmente les pertes de NO_3 aux drains ?
 - L'augmentation des concentrations de P à la surface du sol en semis-direct

6

GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE VS RÉDUCTION DU TRAVAIL DE SOL



■ Effet de l'incorporation immédiate des lisiers sous cultures annuelles en travail réduit

Système cultural	2012	2013	2014	2015
1. Semis direct /non-incorporé	Maïs grain	Soya	Blé de printemps	Maïs grain
2. Semis direct /incorporé rapid.	Maïs grain	Soya	Blé de printemps	Maïs grain
3. Labour /incorporé	Maïs grain	Soya	Blé de printemps	Maïs grain
4. Prairie /non-incorporé	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie



Gasser, M.-O., M.-E. Tremblay, M. Girard, S. Martel et A. Levesque. 2016. Efficacité agronomique et environnementale de l'incorporation immédiate des lisiers sous cultures annuelles en semis direct et en travail conventionnel du sol. Rapport final. IRDA. 52 pages + annexes

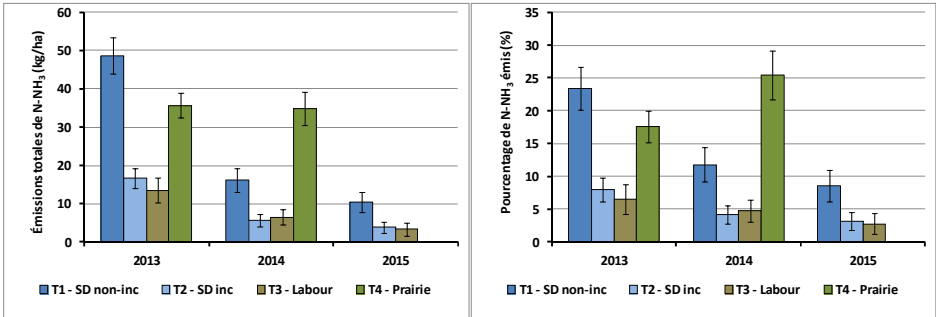
7

GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE VS RÉDUCTION DU TRAVAIL DE SOL



■ Effet de l'incorporation immédiate des lisiers sous cultures annuelles en travail réduit

▪ Réduction des émissions de NH₃



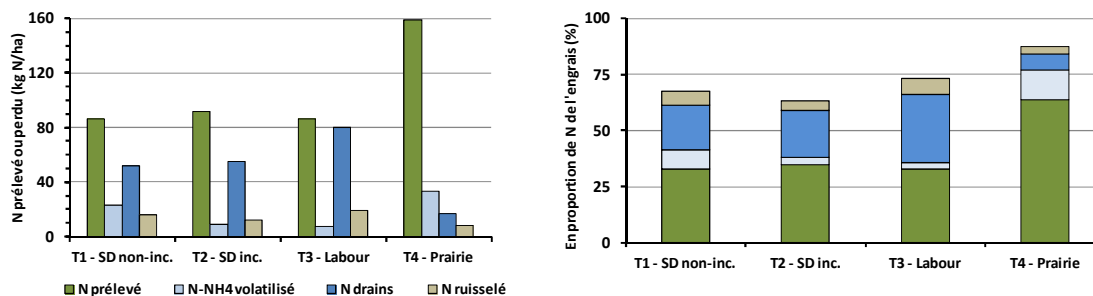
Gasser, M.-O., M.-E. Tremblay, M. Girard, S. Martel et A. Levesque. 2016. Efficacité agronomique et environnementale de l'incorporation immédiate des lisiers sous cultures annuelles en semis direct et en travail conventionnel du sol. Rapport final. IRDA. 52 pages + annexes

8

GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE VS RÉDUCTION DU TRAVAIL DE SOL

irda

- Effet de l'incorporation immédiate des lisiers sous cultures annuelles en travail réduit
 - Augmentation des prélèvements de N par la plante
 - Réduction des pertes de N (- ruissellement, - volatilisation, = drains)



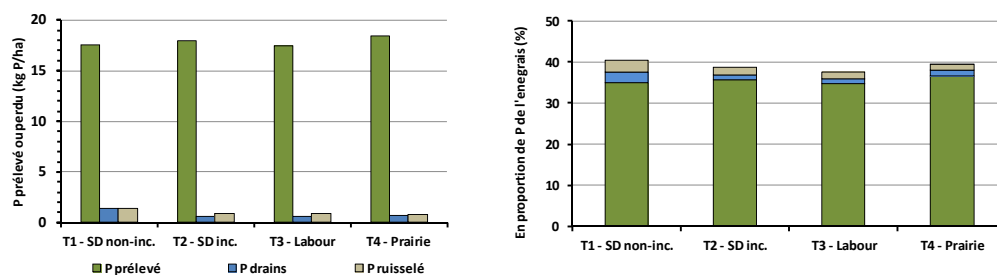
Gasser, M.-O., M.-E. Tremblay, M. Girard, S. Martel et A. Levesque. 2016. Efficacité agronomique et environnementale de l'incorporation immédiate des lisiers sous cultures annuelles en semis direct et en travail conventionnel du sol. Rapport final. IRDA. 52 pages + annexes

9

GESTION DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE VS RÉDUCTION DU TRAVAIL DE SOL

irda

- Effet de l'incorporation immédiate des lisiers sous cultures annuelles en travail réduit
 - Augmentation des prélèvements de P par la plante
 - Réduction des pertes de P (- ruissellement, - drains)



Gasser, M.-O., M.-E. Tremblay, M. Girard, S. Martel et A. Levesque. 2016. Efficacité agronomique et environnementale de l'incorporation immédiate des lisiers sous cultures annuelles en semis direct et en travail conventionnel du sol. Rapport final. IRDA. 52 pages + annexes

10

SYSTÈMES CULTURAUX DE CONSERVATION DES SOLS

irda

- Tenter d'intégrer les meilleures pratiques
- Sans créer d'antagonisme
- Savoir faire des compromis

11

SYSTÈMES CULTURAUX DE CONSERVATION DES SOLS

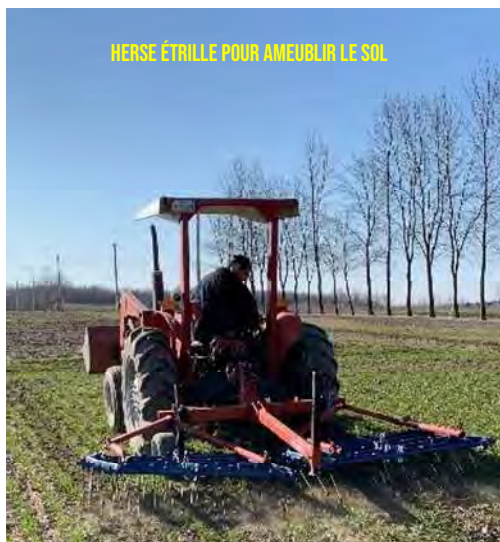
irda

- Rotation maïs-soya en conventionnel
- Intégrer les céréales d'automne et le trèfle intercalaire:
 - Couverture vivante du sol : 2 ans / 3
 - Apport de N au maïs
 - Apport de C au sol avec les pailles

12

Trèfles intercalaires implantés dans le blé d'automne au printemps

irda



13



28 mai 2021



3 août 2021



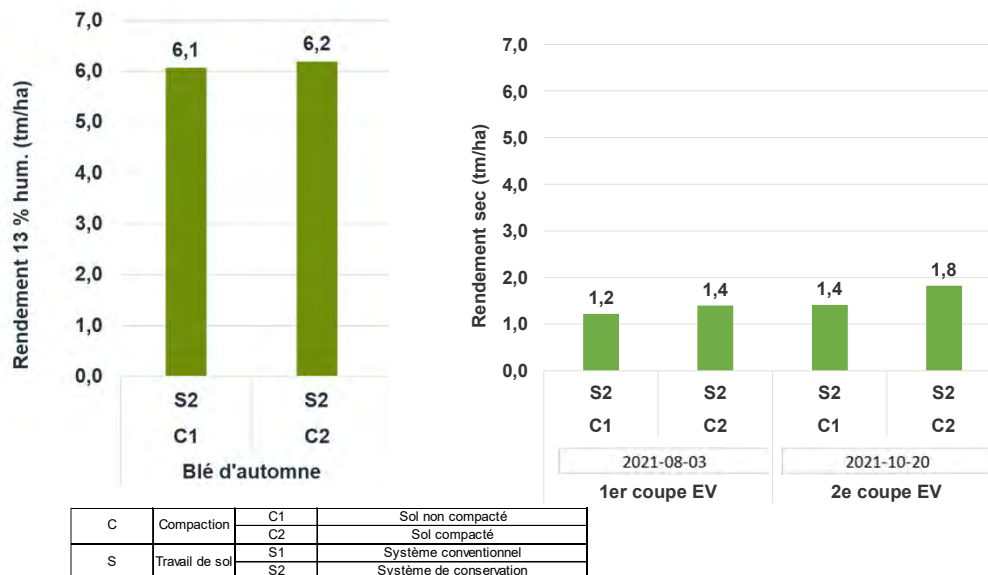
20 octobre 2021

www.irda.qc.ca

14

Rendement du blé d'automne et du trèfle intercalaire

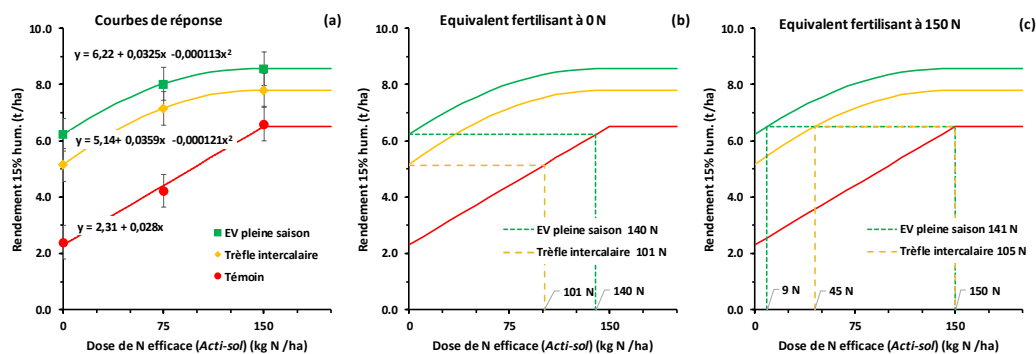
irda



15

Effet du trèfle intercalaire sur les besoins en N du maïs en production biologique / Montérégie

irda



Michaud, A., M.-O. Gasser, M.-E Tremblay, A. Blais-Gagnon et W. Huertas. 2020. Comparaison de la culture annuelle à la culture en fin de saison d'engrais vert de légumineuses pour augmenter la résilience du sol et fournir un apport suffisant de N dans un contexte climatique défavorable. Rapport final. IRDA. 76 pages plus Annexes © Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)

16

SYSTÈMES CULTURAUX DE CONSERVATION DES SOLS

irda

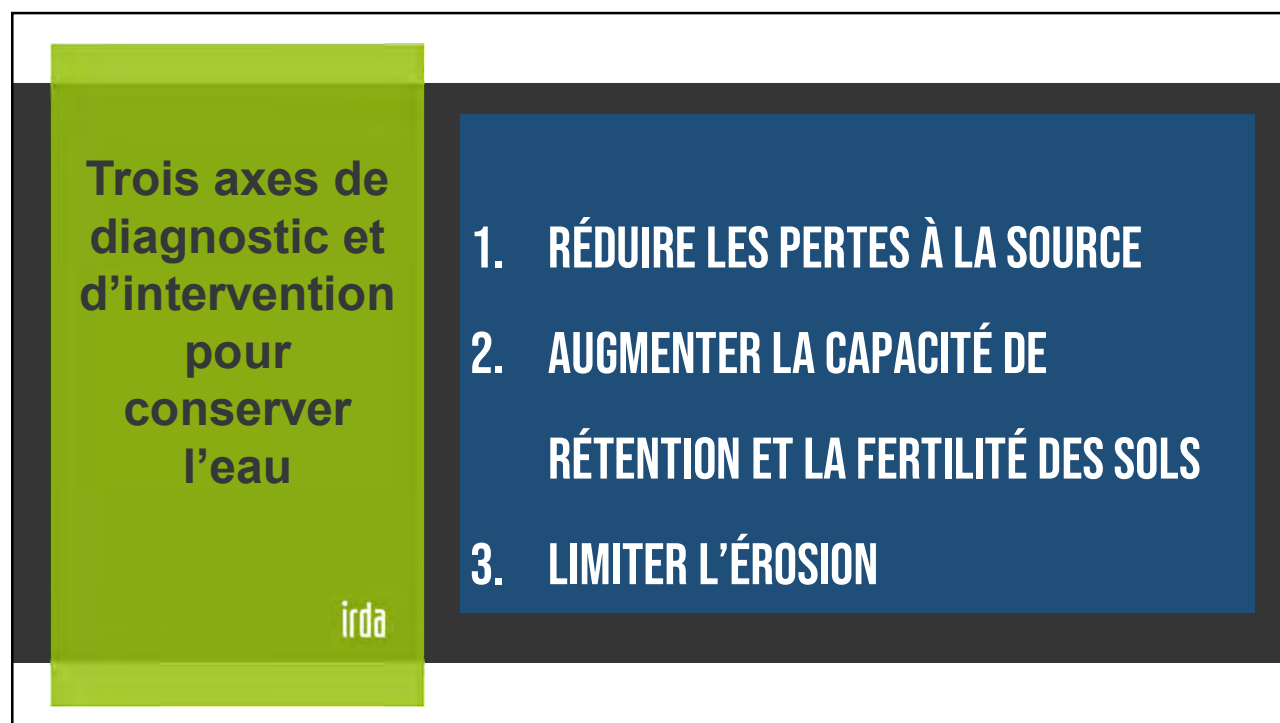
- En production bio, la gestion de trèfles et de MH au printemps demeure un enjeu
 - Contrôle réussi sur argile Sainte-Rosalie avec disques déportés
- Sol sous couverts vivants au printemps permet d'apporter des fumiers sur un sol plus portant
 - Céréale d'automne : pas d'incorporation mais prélèvement
 - Trèfles/maïs incorporation mais pas de prélèvement

17

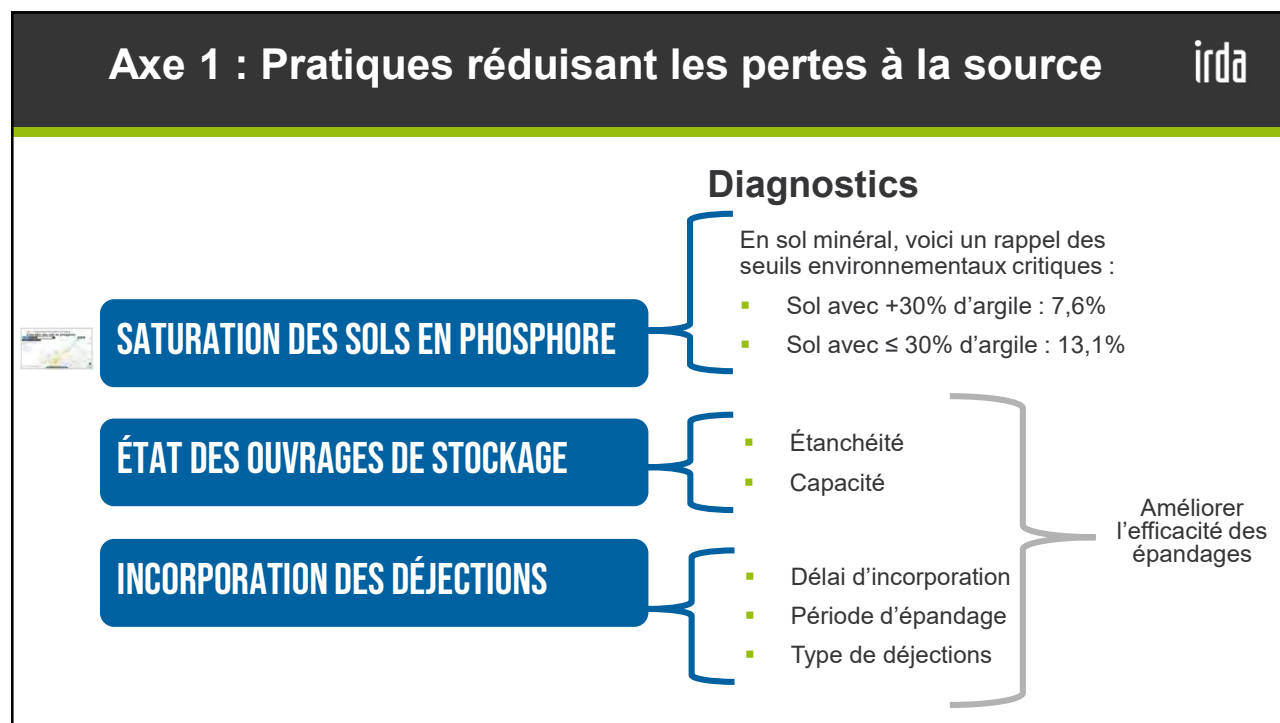


EXEMPLES D'INTERVENTIONS POUR CONSERVER L'EAU

18



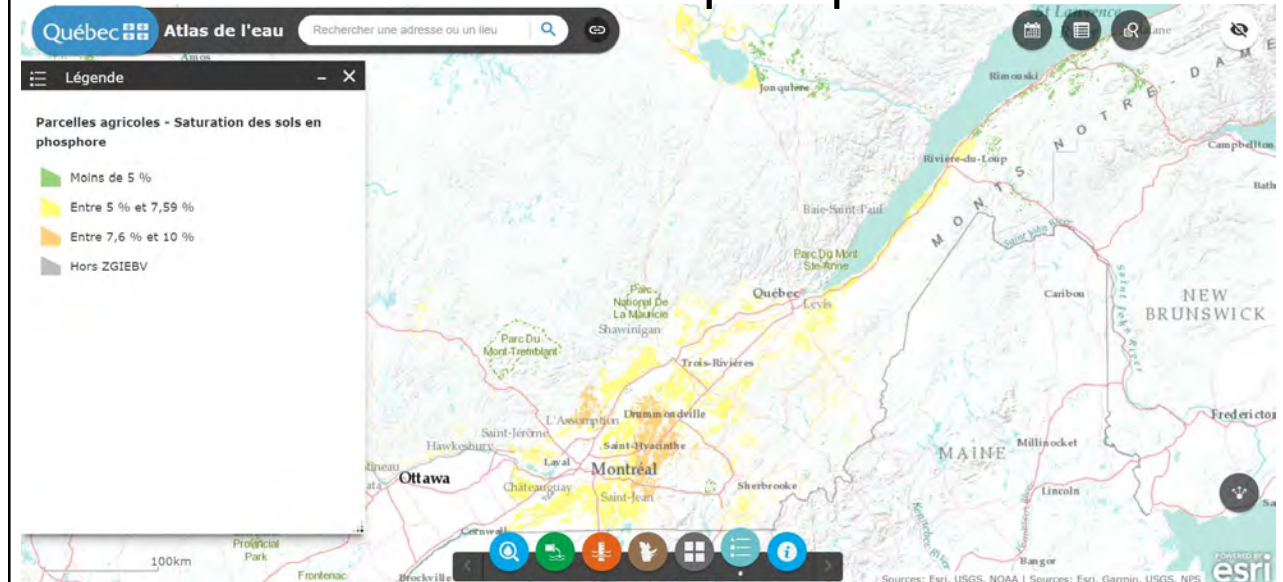
19



20

Axe 1 : Diagnostiquer les pertes à la source

Saturation des sols en phosphore



21

Qualité de l'eau au Québec

Faits saillants

↑ proportion de milieux naturels → ↑ santé des cours d'eau

↑ proportion d'agriculture → ↑ azote total dans l'eau

↑ proportion de grand interligne → ↑ phosphore dans l'eau

↓ santé des cours d'eau



Fonte des neiges est une période critique



22

AXE 1

PERTES À LA SOURCE

Séparer les phases du lisier (solide-liquide)

Séparation mécanique

- Différents systèmes : à tamis, à pression, centrifuge...



Gratte en V



Séparateur à vis

Pour qui?

- Entreprise avec des excédents de phosphore
 - Exportation de la fraction solide

À quoi s'attendre

- Séparation du 3/4 du P total et de la moitié du N total.
- Séparation de la moitié jusqu'au 3/4 de la fraction solide.
- Fraction solide plus concentrée en phosphore et en azote organique.

23

23

AXE 1

PERTES À LA SOURCE

Incorporation immédiate du lisier



Toutes les déjections doivent être enfouies le plus immédiatement possible



Équipement d'incorporation rapide sur la citerne (photo : Agrinova)

À quoi s'attendre

- ↓ risque de perte de N par volatilisation
- ↓ risque de perte de N et de P par ruissellement

24

24

Délai avant l'incorporation

+ risqué

- Lisier
 - Incorporé plus de 24hrs après l'épandage
 - Épandu à l'automne
- Fumier ayant un très bas C/N (la plupart des fumiers de volaille), épandu l'automne et n'étant pas incorporé immédiatement.

- risqué

- Lisier épandu en saison de croissance et incorporé immédiatement.
- Fumier épandu au printemps ou à l'été et incorporé immédiatement.
- Fumier ayant un C/N élevé (20-30) épandu l'automne et incorporé.

25

Axe 2 : Pratiques améliorant la capacité de rétention et la fertilité des sols irida

Diagnostics

ÉTAT DE SANTÉ DU SOL

- Évolution du taux de m.o.
- Évolution de la compaction et structure

ROTATION DE CULTURES

- Nombre de cultures
- Nombre de familles

COUVERT HIVERNAL

- Présence de résidus
- Présence de couvert végétal vivant

26

AXE 2RÉTENTION ET FERTILITÉ
DES SOLS

Augmenter le taux de matière organique

1. Augmenter la photosynthèse
2. Augmenter les apports de matière organique
3. Ralentir la décomposition

27

27

AXE 2RÉTENTION ET FERTILITÉ
DES SOLS

Améliorer la structure du sol

- Améliorer le taux de m.o. va déjà dans la bonne direction.
- Éviter d'aller dans le champ en condition humide
 - ⚠ Lorsqu'on arrive à faire une boule de sol avec les mains.
 - Un champ qui porte peut être trop humide.
- Répartir sinon réduire la charge
 - Ne jamais dépasser 3,5 TM/roue.
 - S'aider de Terranimo.
- Contrôle du trafic et culture sur billons

28

28

AXE 2
 RÉTENTION ET FERTILITÉ
 DES SOLS

Diversifier la rotation de cultures

MAÏS
SOYA

MAÏS
SOYA
BLÉ

MAÏS
SARRASIN
SOYA
BLÉ

MAÏS
SARRASIN
SOYA
CÉRÉALE D'AUTOMNE

Minimum 3 cultures différentes

- ✓ espèces différentes
- ✓ périodes de récolte différentes

Inclure des engrais verts

- ✓ Intercalaires
- ✓ Postrécolte (dérobé)

✓ Annuels
 ✓ Bisannuels
 ✓ Pérennes

Prairie dans la rotation : échange de terres?

Paille : en prendre et en laisser.

Rotation commerciale **Rotation fertilité**

29

29

Axe 3 : Pratiques limitant l'érosion

ÉROSION VISIBLE

RELIEF DU CHAMP

QUALITÉ DES BANDES RIVERAINES

Diagnostics

- Décrochement
- Fossé rempli
- Ravine
- Rigole
- Croûtage/Battance
- Pente
- Nature du sol
- Largeur
- Pente et solidité du talus

30

Références complémentaires

irda

Inclassables


- [Portail](#) *Gestion de l'eau, santé et conservation des sols*, Gouvernement du Québec (mis à jour régulièrement).
- [Site web](#) et [groupe Facebook](#) du Club Action Billon.
- [Vitrines en santé et en conservation des sols](#), Équiterre

Documents

- [Article](#) *Valeur fertilisante des fractions liquides de lisiers séparés*, MAPAQ (2008).
- [Exemples d'équipement pour l'incorporation rapide](#), IRDA/MAPAQ/AgriNova (2013).
- [Fiche](#) d'information - Incorporation du lisier, MAPAQ (2005).
- [Rapport](#) *Efficacité agronomique et environnementale de l'incorporation immédiate des lisiers sous cultures annuelles en semis direct et en travail conventionnel du sol*, IRDA (2016).
- [Rapport](#) *Comparaison de la culture annuelle à la culture en fin de saison d'engrais vert de légumineuses pour augmenter la résilience du sol et fournir un apport suffisant de N dans un contexte climatique défavorable*, IRDA (2020).
- [Rapport](#) *Évaluation de l'efficacité fertilisante en N et P, et de l'ISB de la fraction solide de lisier de porcs conditionnée obtenue du séparateur décanteur centrifuge afin d'en déterminer la valeur économique*, IRDA (2011).

31

31



AXE 3

LIMITER L'ÉROSION

Prochain atelier

QUESTIONS ?

32



1

**À
L'AGENDA**

Atelier Intervention 3
Mettre en place des aménagements hydroagricoles

- Réseau hydraulique
- Structures de captage et de sédimentation
- Protection des confluences
- Exemples d'interventions

Période de questions

14h30 à 14h45 : Mot de la fin

2

Réseau hydraulique

irida

Objectif : **ralentir et** évacuer les surplus d'eau **vers l'extérieur du champ**

L'UN NE VA PAS SANS
L'AUTRE, QU'IL Y AIT DES
PLANCHES OU NON

- Nivellement
 - Planches
- Voies d'eau aménagées
 - Raie de curage
 - Rigole d'interception
 - Voie d'eau engazonnée
 - Fossé

3

Interventions – Réseau hydraulique

Voies d'eau aménagées

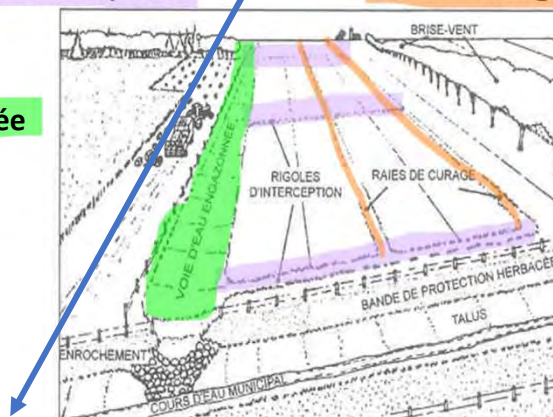
- Pour les champs ayant un drainage souterrain déficient / réacheminer des accumulations en surface / ralentir l'eau pour réduire l'érosion

Voie d'eau engazonnée



Rigole d'interception

Raie de curage (entre les planches)



Fossé

Ne permet pas le passage de la machinerie.

- Recueille et évacue l'eau de surface **et** celle provenant des drains souterrains
- Parfois, rabaisse la nappe phréatique

4

Interventions – Réseau hydraulique

Nivellement en planches

- Pour les champs plats / ayant un drainage souterrain déficient / réacheminer des accumulations en surface / ralentir l'eau

Planches en faîtes

- Pente de 0,1 à 0,25%
- Peut-être limitant pour le désherbage et le battage (soya)

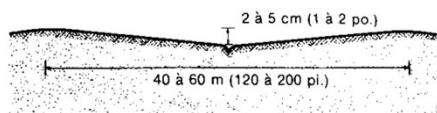


Fig. 44 — Planche en faîte.

Planches rondes

- Écoulement hypodermique (de surface) dans la raie. Nuit à son assèchement.
- Désuet pour la machinerie d'aujourd'hui

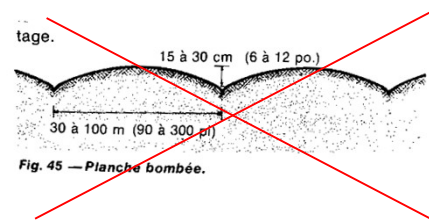


Fig. 45 — Planche bombée.

5

Structures de captage et de sédimentation

irda

Objectif : capter les surplus d'eau avant de les réacheminer
et parfois ralentir

- Avaloir
 - Avale l'excédent d'eau
- Bassin de sédimentation
 - L'eau dépose ses *sédiments* dans un *bassin*
- Tranchée filtrante
 - L'eau est captée et **grossièrement** *filtrée* dans une *tranchée*

6

Structures de captage et de sédimentation

Avaloir

Coupe la route et capte les excédents d'eau en surface provenant du ruissellement.

Réachemine cette eau vers une sortie



Crédit photo : Soleno

7

7

Structures de captage et de sédimentation

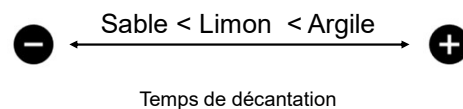
Bassin de sédimentation



Source : Victor Saviole (MAPAQ)

Concentrer le ruissellement de surface en un endroit choisi et récupérer le sol érodé.

Superficie très variable selon les caractéristiques du champ et les objectifs qu'on veut rencontrer.



Pour limiter la perte de sol hors du champ...et d'une partie des nutriments qui y sont associés.

8

8

Structures de captage et de sédimentation

Tranchée filtrante

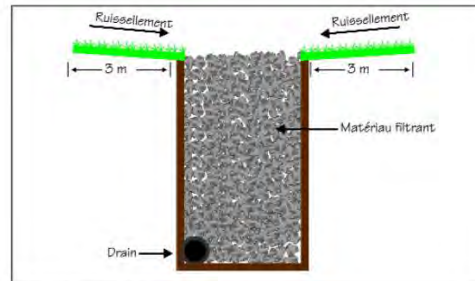


Figure 1 : Tranchée filtrante



Source : Mikael Guillou (MAPAQ)

Souvent tout indiqué dans les contre-pentes

Permet le passage de la machinerie, mais il faut relever certains outils.

9

9

Protection des confluences

irda

Objectif : protéger l'ultime sortie des surplus d'eau

COMPLÉMENTAIRES

- Stabilisation et enrochement
- Bandes riveraines

10

Protection des confluences Stabilisation et enrochement



11

11


Protection des confluences Bandes riveraines

1. Les localiser et les délimiter afin d'éviter de les endommager
2. Les améliorer pour réduire les entretiens de la bande elle-même...et du fossé!
 - Réduire la pente du talus
 - Engazonner le talus
 - Planter des plantes pérennes sur le talus :
fourragère → arbuste → arbre.
 - Enrocher les zones problématiques



12

12




François Durand, ing. agr.

Interventions en aménagements hydroagricoles

Trois exemples concrets

13

À L'AGENDA



1. Réseaux hydrauliques
2. Ouvrages de sédimentation
3. Protection des berges
4. Projet complet

14

1. Réseau hydraulique

- **Gérer le parcours de l'eau dans le champ**
- **Nivellement**

15

VOIES D'EAU ET NIVELLEMENT



16

VOIES D'EAU ET NIVELLEMENT

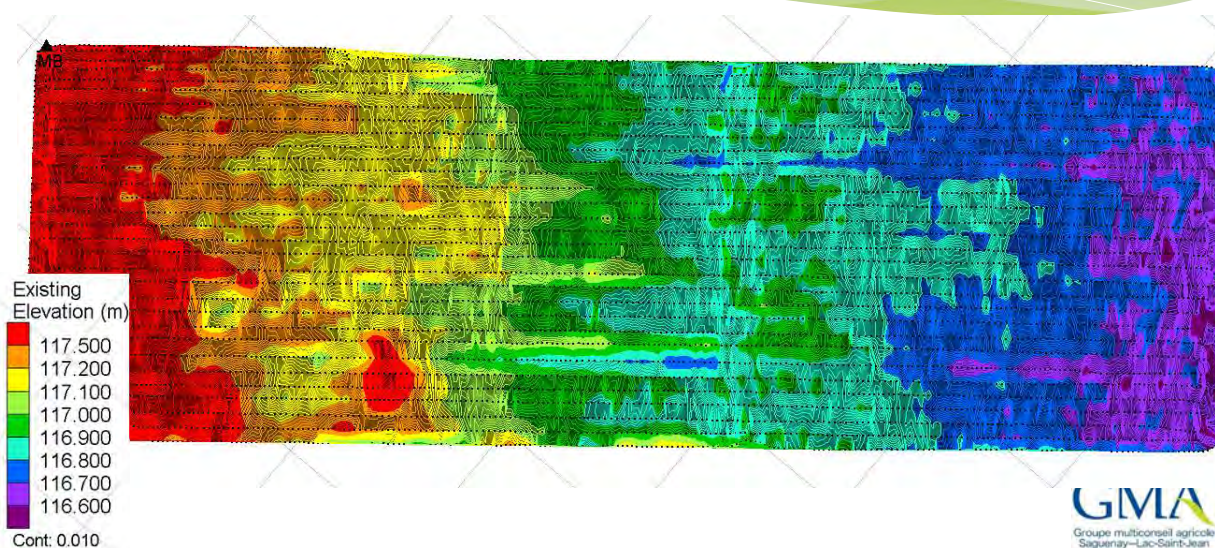
OBJECTIF: Créer des voies d'eau en laissant des pentes d'entrées et de sorties si douces que celui qui les cultive ne s'en aperçoit (presque) pas.

- Le parcours de l'eau est coupé avant le problème
- L'eau suit une pente à valeur prédéfinie
- L'eau suit un parcours protégé au besoin

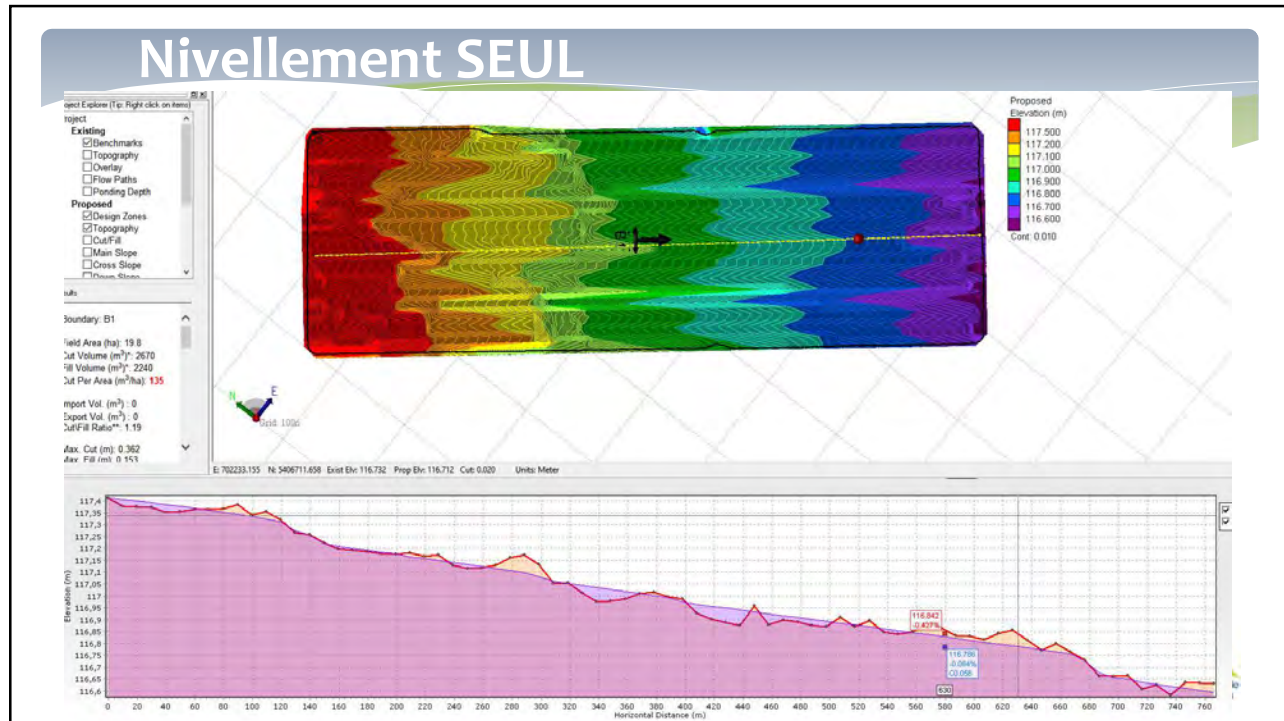


17

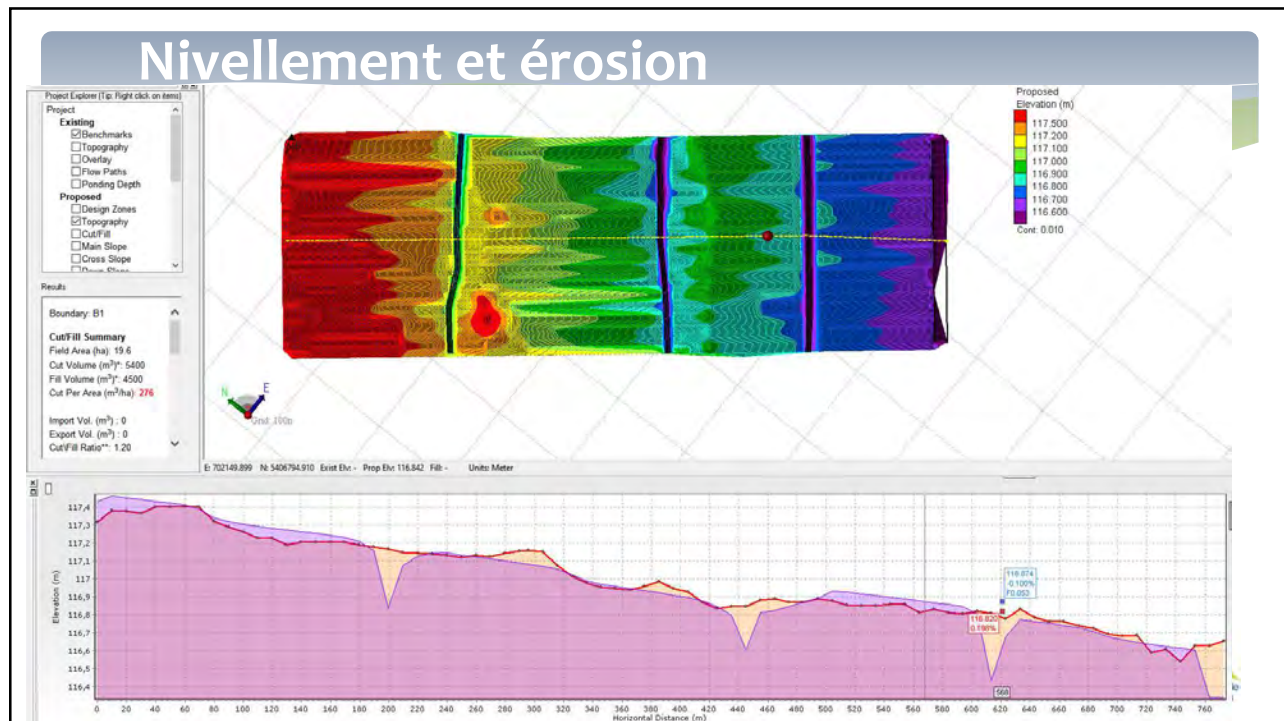
Projet de nivellement et érosion



18



19



20



21

2. Ouvrages de sédimentation

- **Rattraper...une partie de la terre perdue**

22

SÉDIMENTATION



23

Fossé-avaloir



- Permettent de drainer des fossés sans exutoire
- Interrompt le parcours de l'eau
- CAPTE LES SÉDIMENTS... dans le fossé

GMA
Groupe multiconseil agricole
Saguenay-Lac-Saint-Jean

24



25



26



27



28



29

3. Protection des berges (confluences)

30

Confluences



- L'enrochement est essentiel pour la plupart des confluences
- HORS CHAMP: pas de réduction de perte de sol arable/ha



31



32

4. Exemple de projet complet

33

- **PRODUCTEUR DE PDT**
- **DRAINAGE DE SURFACE DÉFICIENT**
- **SOL: SABLE FIN, TRÈS SENSIBLE**



34

ÉTAPE 1: GÉRER LE PARCOURS DE L'EAU (DRAINAGE!)

- LES VOIES D'EAU INTERCEPTENT LE PARCOURS DE L'EAU ET LA CANALISE EN PENTE SÉCURITAIRE VERS LE FOSSÉ
- ELLES PERMETTENT LE VIRAGE DES MACHINERIES

35

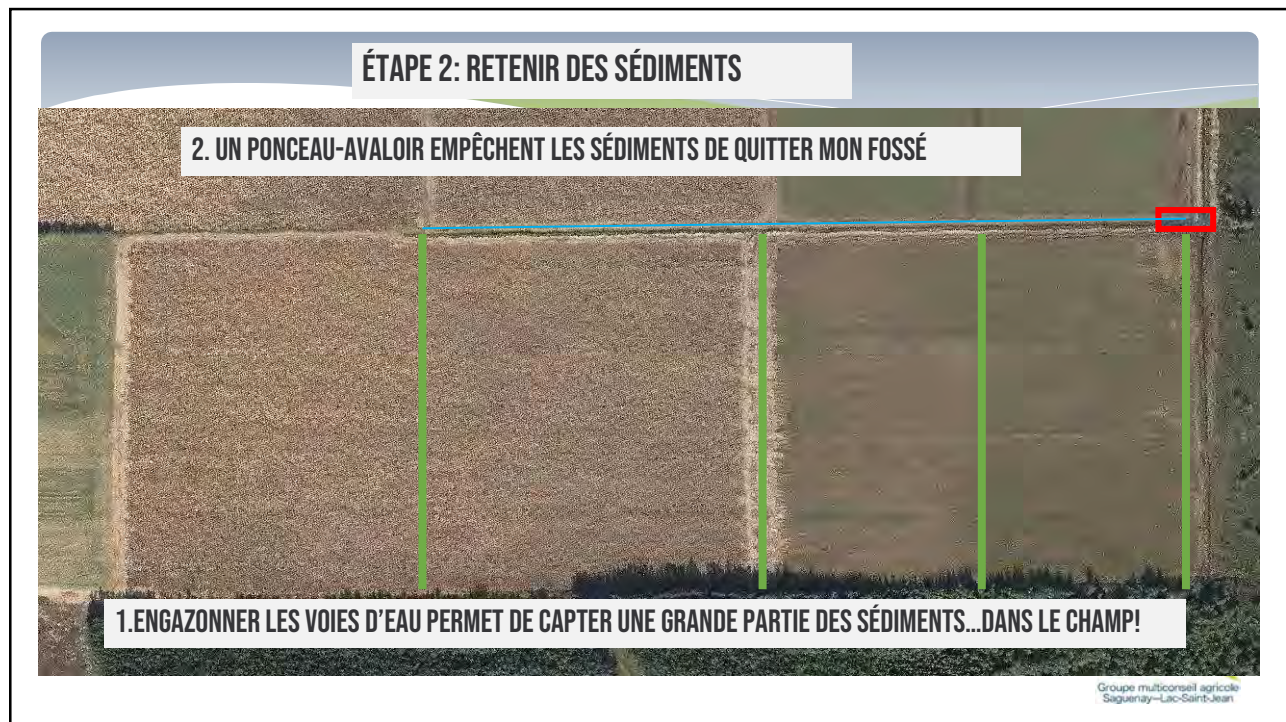
VOIES D'EAU: POMME DE TERRE

OBJECTIF: Créer des voies d'eau mais qui permettent le butage

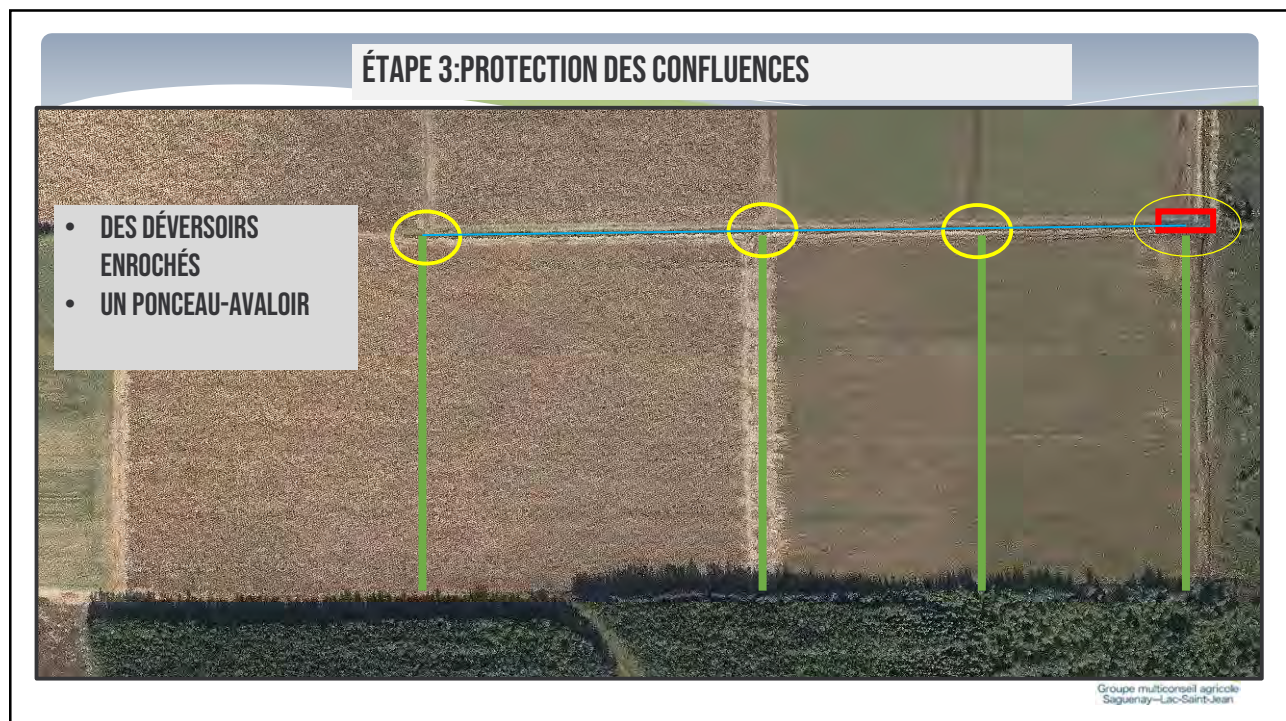
PENTE DE LA VOIE D'EAU, ENGAZONNEMENT, DIRECTION VERS UN EXUTOIRE STABILISÉ...

GMA
Groupe multiconseil agricole
Saguenay-Lac-Saint-Jean

36



37



38

VOIES D'EAU: POMME DE TERRE



39

Conclusion

Pour moi, la gestion de l'érosion s'inscrit bien dans la gestion du drainage de surface

Les différents aménagements peuvent servir plusieurs fins. Ici, les voies d'eau servent

- au drainage (exutoire pour les entre-raies),
- à la réduction de l'érosion (réduit la longueur de parcours, pente et surface contrôlées),
- au captage des sédiments (engazonnées)
- Au passage de machineries (dimensions choisies)

40

QUESTIONS ?



Cahier de formation

Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques : objectif terrain

1^{er} décembre 2024

Responsable scientifique : **Caroline Côté**, agr., Ph.D.



À l'IRDA, on **collabore**, on se **questionne**, on **explore** et on **progresses** ensemble dans la même direction : celle d'une agriculture saine, dynamique et performante.

Nous sommes des **scientifiques**, mais aussi des **gens de terrain** qui **collaborent** avec l'ensemble du milieu agricole.

Notre mission consiste à innover en agroenvironnement pour créer ensemble la production agricole de demain. Consulter le www.irda.qc.ca pour en connaître davantage sur l'Institut et ses activités.

Question ou commentaire

Caroline Côté, agr., Ph.D.

Chercheuse et coordonnatrice aux partenariats et à l'innovation

Responsable scientifique

T : 450 643-7368 p. 310

caroline.cote@irda.qc.ca

Auteurs

Carl Boivin, agr., M.Sc., IRDA

Catherine Bossé, agr., IRDA

Caroline Côté, agr., Ph.D., IRDA

Marc-Olivier Gasser, agr., Ph. D., IRDA

Mylène Généreux, agr., M.Sc., IRDA

Jérémie Vallée, agr., IRDA

Alexandra Villeneuve, agr., IRDA

Partenaires de réalisation

Émilie Beaudoin, MAPAQ

François Durand, GMA

Guillaume Sauvageau, MAPAQ

Jérémie Vallée, IRDA

Jérôme-Antoine Brunelle, SPGBQ

Emily Gervais, UPA

Maude Lapointe, IRDA

Pierre-Luc Lemire, IRDA

Simon Ricard, IRDA

William Huertas, IRDA

Arianne Blais-Gagnon, IRDA

Annie Fortin, IRDA

Aubert Michaud, IRDA retraité

Bernard Montminy, IRDA

Eveline Mousseau, Proconseil

Ferme BioNic et David Proulx

Ferme Ecopré

Ferme Flobert

Ferme OJ Bouchard

Joannie Robitaille, IRDA

Pierre-Luc Hébert, IRDA

Sandra Mougeot, IRDA

Merci à nos partenaires financiers

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert. L'équipe tient également à souligner la contribution du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec.



Ce rapport peut être cité comme suit :

Collectif, 2024. Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques : objectif terrain. Cahier de formation. IRDA et partenaires. 56 pages.

© Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)

Résumé

Le Québec dispose d'un large savoir en ce qui concerne les pratiques de conservation de l'eau en milieu agricole afin d'optimiser l'usage et de réduire le transport de contaminants vers le milieu environnant. Le choix et l'application de telles pratiques dépend bien sûr des conditions et objectifs de résultat de l'entreprise agricole. Dans tous les cas, les réflexions en ce sens doivent s'appuyer sur un diagnostic structuré d'une problématique qui permet de cibler les interventions les plus appropriées. Les systèmes de production de grandes cultures biologiques posent plusieurs défis sur le plan agroenvironnemental en raison notamment de la nature des travaux aux champs en lien avec le contrôle des mauvaises herbes et l'enrichissement du sol en phosphore découlant des apports récurrents d'engrais de ferme.

Dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et le Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec (SPGBQ), le projet «*Gérer l'eau en grandes cultures biologiques: objectif terrain*» vise à former les agronomes et les producteurs agricoles sur les outils de diagnostic et d'intervention liés à la conservation de l'eau, tant au plan de la qualité que de la quantité, adaptés aux conditions qui peuvent être rencontrées par les entreprises productrices de grandes cultures biologiques. Des formations en salle sur ces différents outils ont eu lieu en février 2023 et trois études de cas se concluant par des vitrines à la ferme ont eu cours au printemps 2024 dans autant de régions du Québec : en Montérégie, à la Plateforme d'innovation en agriculture biologique de l'IRDA ainsi que dans trois entreprises agricoles situées dans le Centre-du-Québec, en Chaudière-Appalaches et au Saguenay-Lac-St-Jean.

Le présent cahier rassemble le contenu des sept ateliers de formation dans lesquels ont été répartis la présentation des différents outils et les notions essentielles en lien avec la conservation de l'eau dans les entreprises québécoises productrices de grandes cultures biologiques (plusieurs éléments s'appliquent d'ailleurs tout autant pour les entreprises conventionnelles). Les sujets couverts par chacun d'eux se résument ainsi :

Module d'introduction

- **Module 1 – Protection des cours d'eau au Québec** : mise en contexte de ce qu'est la qualité de l'eau, de l'état de santé des cours d'eau en milieu agricole au Québec et de l'impact des changements climatiques. Présentation des trois lignes de défense pour la conservation de l'eau en milieu agricole.

Modules des diagnostics

- **Module 2 – Déterminer les besoins en eau des cultures** : informations sur le stress hydrique en contexte de production de grandes cultures et présentation de l'outil diagnostic EstimEau.
- **Module 3 – Comprendre les excès d'eau** : proposition d'une méthode pour bien localiser les excès d'eau dans un champ et identifier leur(s) cause(s) via un diagnostic par étape de chacune des trois grandes composantes du drainage agricole.
- **Module 4 – Prédire l'évolution de la matière organique et de la compaction des sols** : mises à jour sur la matière organique des sols, informations sur la compaction et présentation d'outils de diagnostic actuel et prévisionnel de la matière organique et de la compaction des sols.

Modules des interventions

- **Module 5 – Optimiser l'usage de l'eau** : survol des principes d'irrigation raisonnée et de drainage contrôlé en tant qu'interventions pouvant optimiser et recycler l'eau parfois déjà présente à la ferme.
- **Module 6 – Intégrer des pratiques agricoles et des systèmes cultureux favorables à la conservation de l'eau** : présentation d'interventions permettant de renforcer les deux premières lignes de défense pour la conservation de l'eau en milieu agricole, c'est-à-dire la réduction des pertes à la source et l'amélioration de la capacité de rétention et de la fertilité des sols.
- **Module 7 – Mettre en place des aménagements hydroagricoles** : présentation d'interventions pouvant limiter l'érosion, la troisième ligne de défense de la conservation de l'eau en milieu agricole, sous forme d'une proposition de trois grands types d'aménagements hydroagricoles.

Table des matières

Module 1. Protection des cours d'eau au Québec	6
1 Introduction	6
1.1 Qualité de l'eau au Québec	6
1.1.1 Au niveau des drains souterrains	6
1.1.2 Santé des cours d'eau	7
1.2 Le climat d'aujourd'hui et de demain	9
1.3 Trois lignes de défense pour la conservation de l'eau en milieu agricole	9
1.4 Bibliographie	9
Module 2. Déterminer les besoins en eau des cultures	11
2 Introduction	11
2.1 Confort hydrique d'une culture	11
2.2 Contrainte de prélèvement en eau	11
2.3 Éléments qui ont un impact sur le besoin en eau des cultures	12
2.3.1 Éléments d'intérêts	12
2.4 Outils pour estimer le besoin en eau	13
2.4.1 Outil de type « planification »	13
2.4.2 Outil de type « temps réel »	13
2.5 Conclusion	14
2.6 Bibliographie	14
Module 3. Comprendre les excès d'eau	15
3 Introduction	15
3.1 Localisation du problème d'excès d'eau	15
3.2 Causes de l'excès d'eau	18
3.2.1 Trois composantes du drainage agricole	18
3.3 Diagnostic par étapes de l'excès d'eau	20
3.3.1 Diagnostic du réseau hydraulique	20
3.3.2 Diagnostic du drainage de surface	22
3.3.3 Diagnostic du drainage souterrain	23
3.4 Réaliser des profils de sol pour diagnostiquer le drainage de surface et souterrain du sol	24
3.4.1 Pourquoi réaliser des profils de sols	24
3.4.2 Quand réaliser des profils de sols	24
3.4.3 Comment réaliser un profil de sol agropédologique	25
3.4.4 Informations à colliger (critères morphologiques)	26
3.5 Conclusion	29
3.6 Bibliographie	29
Module 4. Prédire l'évolution de la matière organique et la compaction des sols	31
4 Introduction	31
4.1 Prédire l'évolution de la matière organique des sols	31
4.1.1 Notions de base	31
4.2 Diagnostic du taux actuel de matière organique des sols	32
4.3 Diagnostic prévisionnel de la matière organique des sols – outil OGeMOS	33
4.4 Prédire l'évolution de la compaction des sols	33
4.4.1 Notions de base	33
4.5 Diagnostic de la compaction des sols au champ	34
4.5.1 Indicateur de la condition physique des sols minéraux par évaluation visuelle et tactile	34
4.6 Diagnostic prévisionnel de la compaction des sols – outil Terranimo	35
4.7 Conclusion	36

4.8	Bibliographie	37
Module 5. Optimiser l'usage de l'eau		38
5	Introduction	38
5.1	Irrigation	38
5.1.1	Objectifs	38
5.1.2	Valider la pertinence agronomique et économique	39
5.1.3	Contexte où l'irrigation est pertinente	39
5.2	Qualité de l'eau	42
5.2.1	Qualité physico-chimique	42
5.2.2	Qualité microbiologique	43
5.3	Bibliographie	44
Module 6. Intégrer des pratiques agricoles et des systèmes cultureux favorables à la conservation de l'eau		45
6	Introduction	45
6.1	Première ligne de défense pour la conservation de l'eau en milieu agricole : réduire à la source les apports de nutriments en excès et optimiser l'utilisation des intrants	45
6.1.1	Réduire à la source les intrants dans l'alimentation	45
6.1.2	Réduire les émissions d'ammoniac aux bâtiments	45
6.1.3	Traiter ou séparer les phases du lisier sur les sites d'élevage excédentaires en phosphore	45
6.1.4	Incorporer les déjections animales au sol	45
6.1.5	Viser des périodes d'épandages où les nutriments seront valorisés	46
6.2	Deuxième ligne de défense pour la conservation de l'eau en milieu agricole : protéger les sols et améliorer la capacité de rétention en eau et la fertilité des sols	46
6.2.1	Intégrer des cultures pérennes et des cultures de couverture en automne	46
6.2.2	Diversifier les espèces en grandes cultures	47
6.2.3	Accroître l'utilisation des techniques de travail de sol réduit ou du semis direct	47
6.2.4	Améliorer la gestion des machineries agricoles afin d'éviter la compaction et la dégradation des sols	48
6.3	Conclusion	49
6.4	Bibliographie	50
Module 7. Mettre en place des aménagements hydro-agricoles		52
7	Introduction	52
7.1	Troisième ligne de défense pour la conservation de l'eau en milieu agricole : limiter l'érosion	52
7.1.1	Aménagement du réseau hydraulique	52
7.1.2	Mise en place de structures de captage et de sédimentation	54
7.1.3	Protection des confluences	54
7.2	Bibliographie	54

Liste des tableaux et des figures

Tableau 1. Tableau comparatif entre différents systèmes d'irrigation.	40
Tableau 2 : Valeurs de salinité (RAS) et de conductivité acceptables pour l'eau d'irrigation.	43
Figure 1. Emplacement des stations aux embouchures de 22 tributaires agricoles et qualité générale évaluée à l'aide de l'IQBP6 calculé pour la période de mai à octobre 2015-2017 (Adapté de Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2020)	7
Figure 2. Suivi du phosphore total dans les cours d'eau du Québec évalué à l'aide de la fréquence de dépassement du critère pour la protection de la vie aquatique de 0,03 mg/L pour la période de 2000 à 2022. Sur fond de carte de l'utilisation générale du territoire en 2020.	7
Figure 3. Classe de l'indice diatomées de l'Est du Canada (IDEC) en fonction de l'occupation du territoire (Adapté de Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2020).	8
Figure 4. Un champ exemple (contours rose) avec la donnée « Photos aériennes 1979 » en fond de carte.	16
Figure 5. Un champ exemple (contours rose) avec la donnée « Carte hydrographique en fond de carte ».	17
Figure 6 . Un champ exemple (contours rose) avec la donnée « Tracé d'écoulement » en avant-plan. Mosaïque de photos aériennes du MERN en fond de carte.	17
Figure 7. Image satellitaire Sentinel-2 acquise le 5 avril 2021 et traitée avec un indice de végétation par différence normalisée (NDVI). La forme rectangulaire verte foncée au centre est un champ en blé d'automne.	18
Figure 8. Illustration du réseau hydraulique permettant l'évacuation de l'eau du champ	19
Figure 9. Illustration du drainage de surface horizontal ou vertical.....	19
Figure 10. Illustration du drainage souterrain	20
Figure 11 . Localisation d'un ponceau (rectangle noir), des exutoires (cercle vert) et des entrées (cercle rouge) de l'écoulement à l'aide de la donnée « Tracé d'écoulement » (ligne rouge) pour un champ (contour rose) non-drainé souterrainement.	21
Figure 12. Profil altimétrique sur une section d'un tracé d'écoulement d'un champ (transect A-B).	21
Figure 13. Schéma d'un champ exemple présentant plusieurs composantes liées au drainage.....	22
Figure 14. Eau à la surface du sol au printemps.	25
Figure 15. Limite entre l'horizon Ap et B est à 20 cm (série Hébertville).	26
Figure 16. Variation des classes de drainage naturel du sol en fonction des traits d'oxydo-réduction (source : Guide de stratigraphie des sols).	27
Figure 17. Variation de la couleur du sol selon le drainage naturel du sol.	27
Figure 18. Marbrures.	27
Figure 19. Agrégats ronds et petits dévoilés sur un coroplaste.	28
Figure 20. Couche engendrée par le travail de sol.....	28
Figure 21. Structure massive.	29
Figure 22. Structure façonnée horizontalement (lamellaire/lenticulaire).	29
Figure 23. Visualisations de l'outil Terranimo.	36
Figure 24. Schéma présentant des exemples d'aménagement de captage d'eau - Adapté de MAPAQ (2008).....	53

MODULE 1. PROTECTION DES COURS D'EAU AU QUÉBEC

Auteure : Alexandra Villeneuve, agr., IRDA

1 Introduction

1.1 Qualité de l'eau au Québec

En contexte agricole québécois, la majorité des volumes d'eau sont évacués hors saison culturale. Il n'y a qu'à penser à la période de la fonte des neiges pour comprendre que les grands volumes d'eau s'évacuent davantage par ruissellement à la surface des champs qu'en s'infiltrant dans le sol. Il apparaît alors logique, si on additionne les volumes d'eau évacués, que ce soit via le ruissellement ou les drains souterrains, que ceux-ci soient assez constants peu importe le système cultural.¹

Pour l'entreprise agricole souhaitant avoir un impact positif sur la qualité de l'eau de son milieu environnant, il importe de garder cet élément en tête : à la fonte des neiges, on estime que près du ¼ des pertes annuelles en sédiments ont lieu. Un phénomène bien entendu supporté par le fait que la moitié du ruissellement annuel, parfois la presque totalité, se produit à cette période.

Il est difficile de réduire les volumes de neige interceptés par les terres agricoles lors de l'hiver et que dire de contrôler la vitesse de la fonte. Peut-on en revanche augmenter la résistance du sol à l'érosion hydrique? Limiter les nutriments en excès emportés dans les cours d'eau avec les particules de sol? Voici quelques pistes de réflexions que nous aborderons dans ce chapitre dans l'objectif d'aider l'entreprise agricole à cibler les stratégies les plus appropriées à son contexte pour favoriser la qualité de l'eau.

1.1.1 Au niveau des drains souterrains

Dans les champs plats et drainés souterrainement, environ la moitié des pertes de sols sont évacuées via les drains. En moyenne, 83% de la charge annuelle de nitrates en sort, parfois même jusqu'à 98 %. Plus de la moitié de ces pertes ont lieu en période hivernale, quelquefois jusqu'à 95 %. Du côté du phosphore, ce sont plus de 30 % des charges annuelles. On observe que les parcelles en prairie rejettent généralement moins de phosphore via les drains souterrains que celles en cultures annuelles : 30 à 40 % de la charge annuelle en phosphore contre 51 à 99 %.

¹ Fiche technique M.Guillou «Effets des pratiques agricoles sur la qualité de l'eau»

1.1.2 Santé des cours d'eau

La Figure 1 présente une carte générée par l'Atlas de l'eau où sont situés les 22 cours d'eau en milieu agricole monitorés par le Gouvernement du Québec pour différents paramètres liés à la santé de l'écosystème du milieu aquatique et de la qualité de l'eau.

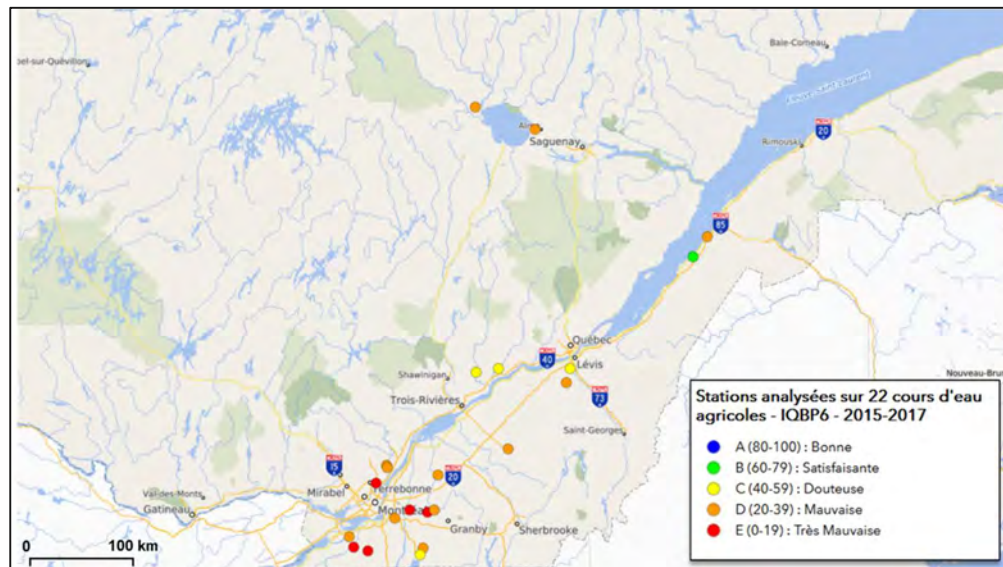


Figure 1. Emplacement des stations aux embouchures de 22 tributaires agricoles et qualité générale évaluée à l'aide de l'IQBP6 calculé pour la période de mai à octobre 2015-2017 (Adapté de Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2020)

Un seul de ces cours d'eau montre une santé bonne ou satisfaisante. Cette évaluation a été faite à partir de données de 2015 à 2017 qui rassemblent six indicateurs de la santé des cours d'eau (indice IQBP6). Selon le dernier *Rapport sur l'état des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques du Québec* (2020), les paramètres dépassant le plus souvent les critères de qualité de l'eau sont :

- Le phosphore total
- La turbidité
- L'azote total

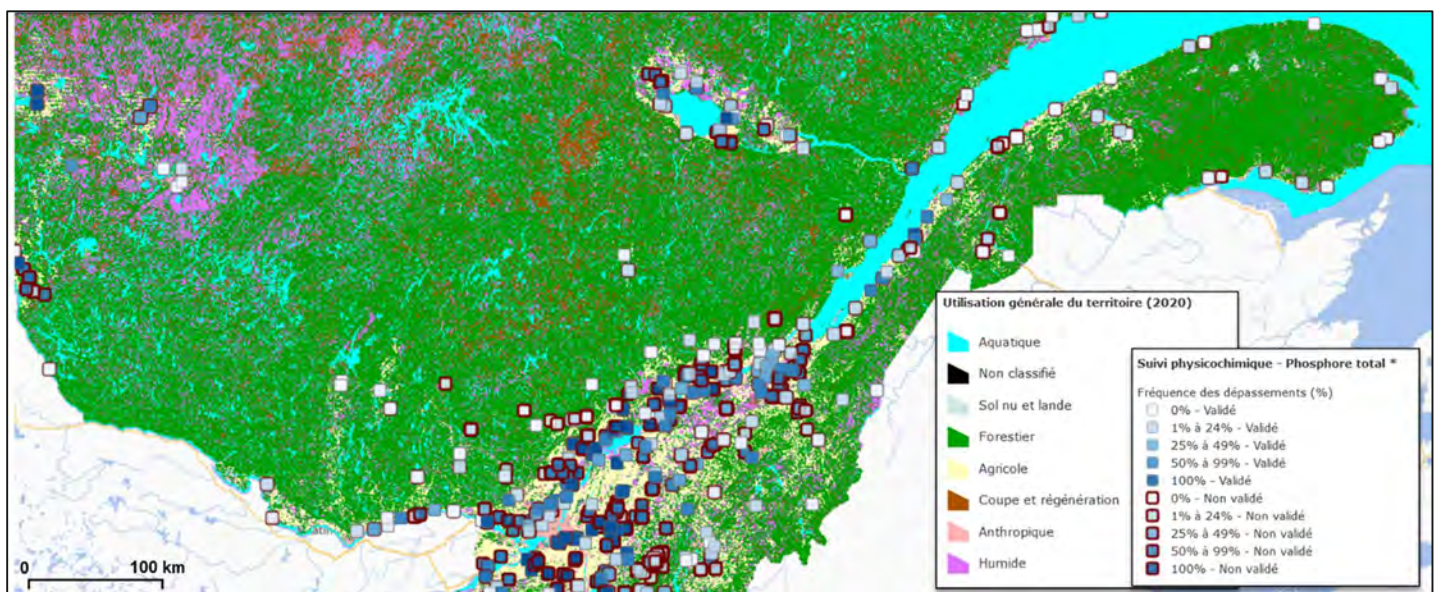


Figure 2. Suivi du phosphore total dans les cours d'eau du Québec évalué à l'aide de la fréquence de dépassement du critère pour la protection de la vie aquatique de 0,03 mg/L pour la période de 2000 à 2022. Sur fond de carte de l'utilisation générale du territoire en 2020.

Le phosphore dans l'eau est jugé particulièrement problématique lorsqu'il se trouve en concentration dépassant 0,03 mg/L. Au-delà de ce seuil, ce nutriment n'est généralement plus limitant dans l'écosystème et peut provoquer une croissance excessive des algues et des plantes aquatiques. S'en suit une dégradation de la santé du cours d'eau et de la qualité de l'eau en soit dans une cascade de phénomènes souvent très difficile à inverser. Au Québec, on observe depuis quelques décennies des taux de phosphore total préoccupants dans de nombreux cours d'eau (Figure 2), un problème qui a provoqué la mise en place de politiques et règlements visant à réduire les pertes potentielles de cet élément dans l'environnement.

Dans l'objectif de mesurer la santé des cours d'eau de façon globale, on observe l'état de différentes communautés d'organismes vivants aquatiques, tels que les diatomées, des algues microscopiques qui tapissent le fond des cours d'eau. Certaines espèces sont plus sensibles à la pollution alors que d'autres y sont plus tolérantes et se mettent à prospérer en conditions dégradées (eutrophie). Ainsi, observer leur diversité et leur abondance relative renseigne sur l'état de santé du milieu aquatique. L'indice diatomées de l'Est du Canada (IDEC) mesure ces modifications dans la structure des communautés de diatomées et reflète le niveau d'intégrité biologique d'un cours d'eau. Une valeur élevée d'IDEC indique un niveau d'intégrité biologique élevé et une bonne qualité de l'eau. À la Figure 3, la proportion d'agriculture (a), de milieux forestiers (b), de cultures à grand interligne (c) et de milieux anthropiques (d) en fonction des classes d'IDEC est présenté. On peut y voir qu'une augmentation des superficies urbaines (anthropiques) ou en agriculture, particulièrement les grandes interlignes (cultures annuelles avec de grands écartements entre les rangs, tels que le maïs et le soja) entraînent des répercussions négatives sur l'IDEC. L'inverse se produit pour une augmentation des milieux forestiers.

De manière plus large et selon plusieurs paramètres de qualité de l'eau, d'un bassin-versant à l'autre, celui ayant une plus grande proportion de milieux naturels a habituellement des cours d'eau en meilleure santé. Celui ayant une proportion plus grande de superficies en agriculture montre des concentrations d'azote total plus élevées dans ses cours d'eau et, si ces superficies sont en grandes interlignes, le phosphore sera lui aussi plus élevé et la santé des cours d'eau sera inférieure.

En somme, encore aujourd'hui, il importe d'améliorer les impacts que peuvent avoir l'agriculture sur les milieux aquatiques afin de contribuer à une meilleure santé des cours d'eau.

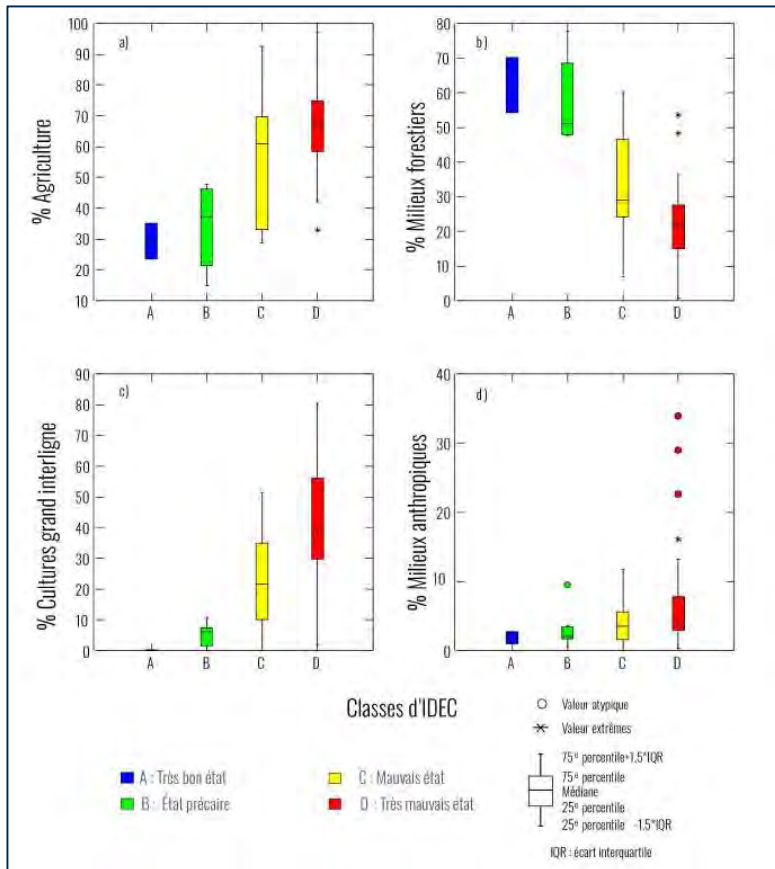


Figure 3. Classe de l'indice diatomées de l'Est du Canada (IDEC) en fonction de l'occupation du territoire (Adapté de Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2020).

1.2 Le climat d'aujourd'hui et de demain

À l'horizon 2040, il y aura davantage d'orages, ce qui veut dire plus de précipitations courtes et de forte intensité qui dépassent la capacité d'infiltration de sols. Le ruissellement sera accentué, tout comme l'érosion qui s'en suit. La saison de croissance sera plus longue et plus chaude, ce qui veut aussi dire que les canicules seront plus fréquentes. L'étiage des cours d'eau sera plus long et sévère. L'eau disponible aux périodes critiques sera donc en proie à une demande plus forte alors que sa quantité sera diminuée. Des conflits d'usages de l'eau seront plus fréquents.

1.3 Trois lignes de défense pour la conservation de l'eau en milieu agricole

Dans le cadre du [Plan d'agriculture durable 2020-2030](#) (PAD), 27 regroupements de producteurs agricoles, dont fait partie le SPGBQ, ont pris des engagements pour répondre à des objectifs en lien avec l'accélération de l'adoption de pratiques agroenvironnementales. Optimiser la gestion de l'eau est l'un de ces objectifs et les deux indicateurs suivants représentent les cibles à atteindre d'ici 2030 :

- Amélioration de l'indice de santé benthos des cours d'eau dégradés d'une classe ou de 15 unités;
- Réduction de 15% de la concentration en phosphore total des cours d'eau.

Au Québec, pour prévenir et réduire la pollution diffuse d'origine agricole, trois grands types de stratégies sont généralement mis de l'avant (A. Michaud, communication personnelle, décembre 2022) (Tessier, 2015; Pilote, 2002). La première est toujours associée à la thématique de la réduction de la pollution à la source, et plus précisément à abaisser en priorité la teneur des sols en phosphore sous le seuil de saturation. Vient ensuite la nécessité d'utiliser les sols de façon optimale pour limiter leur érosion et les experts s'entendent généralement à prioriser les pratiques de conservation de sol, telles que celles qui permettent le maintien d'une couverture de sol. Finalement, la protection des abords des cours d'eau par des aménagements des zones riveraines et la création de zones tampon est un incontournable.

À la lumière de ces consensus, nous proposons d'ordonner ces stratégies en trois lignes de défense de la conservation de l'eau en milieu agricole qui sont à la portée des entreprises agricoles :

1. Réduire les pertes à la source
2. Améliorer la capacité de rétention et la fertilité des sols
3. Limiter l'érosion

Ces concepts sont détaillés dans les modules 6 et 7.

1.4 Bibliographie

Boivin, C. (2018). Gestion raisonnée de l'irrigation – Guide technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Récupéré sur <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-technique-gestion-raisonnee-de-l-irrigation/p/PLEG0102-C04>

Gouvernement du Québec. (2023, février 23). *Gestion de l'eau, santé et conservation des sols*. Récupéré sur Québec.ca: <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/agriculture/pratiques-agricoles-environnement/gestion-eau-sols>

Gouvernement du Québec. (2023, mai 26). *Politique bioalimentaire*. Récupéré sur Québec.ca: <https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/politique-bioalimentaire/agriculture-durable>

Guillou, M. (2018, Septembre). *Effets des pratiques agricoles sur la qualité de l'eau : Impacts et solutions*. Récupéré sur Agri-Réseau: https://www.agrireseau.net/documents/Document_98772.pdf

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. (2023). *Information sur les sols*. Récupéré sur Institut de recherche et de développement en agroenvironnement: <https://www.irda.qc.ca/fr/services/protection-ressources/sante-sols/information-sols/>

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2020). *Rapport synthèse - Rapport sur l'état des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques du Québec*. Récupéré sur <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rapport-eau/rapport-eau-2020-synthese.pdf>

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. (2020, janvier 9). *Amélioration de l'indice de santé benthos des cours d'eau dégradés d'une classe ou de 15 unités*. Récupéré sur Québec.ca: https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/agriculture-pecheries-alimentation/politique-bioalimentaire/agriculture-durable/FI_agriculturedurable_indicateur_benthos_MAPAQ.pdf

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. (2020, janvier 15). *Réduction de 15 % de la concentration de phosphore*. Récupéré sur Québec.ca: https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/agriculture-pecheries-alimentation/politique-bioalimentaire/agriculture-durable/FI_agriculturedurable_indicateur_phosphore_MAPAQ.pdf

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. (s.d.). *Atlas de l'eau [page d'accueil]*. Récupéré sur <https://services-mdelcc.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=371faa9786634167a7bdefdead35e43e>

Pilote, R. (2002, décembre). *La protection de l'eau dans le contexte agricole au Québec : historique et perspectives*. Récupéré sur Bibliothèque et Archives nationales du Québec: <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/60569?docref=3KegBxdZSAkvy0XBhEqtsg>

Tessier, M. (2015, juin 10). Cent ans d'abus... Cent ans de réparation? *Union des producteurs agricoles*. Récupéré sur <https://www.upa.qc.ca/citoyen/centre-des-communications/nouvelles/toutes-les-nouvelles/cent-ans-dabus-cent-ans-reparation>

MODULE 2. DÉTERMINER LES BESOINS EN EAU DES CULTURES

Auteurs : Carl Boivin, agr., M.Sc. et Jérémie Vallée, agr., IRDA

2 Introduction

L'eau est impliquée dans plusieurs mécanismes physiologiques chez les végétaux. Elle est essentielle à la croissance des plantes et à la productivité agricole. Son importance dans les plantes peut être décrite selon quatre grands mécanismes distincts (Kramer et Boyer, 1995, cité dans Goorahoo et coll., 2011) : 1) la composition; 2) ses propriétés comme solvant; 3) ses propriétés comme réactant; et 4) le maintien de la turgescence. L'eau compose plus de 80 % du poids des végétaux. Elle permet donc de maintenir la forme et la structure des cellules qui soutiennent les mécanismes physiologiques. L'eau est essentielle aux transports des minéraux et des composés solubles à l'intérieur des plantes. De plus, elle est impliquée dans des réactions chimiques essentielles à la croissance, comme la photosynthèse. Enfin, la turgescence des cellules est possible grâce à l'eau et permet différentes fonctions critiques comme l'ouverture stomatique, le mouvement des feuilles, l'ouverture des fleurs, etc.).

Pour déterminer les besoins en eau des cultures, il est important de comprendre les concepts de base du mouvement de celle-ci. Dans le concept du continuum sol-plante-air, décrit par Hillel, (1998), le sol, la plante et l'air sont des composantes indissociables d'un système qui influence le mouvement de l'eau. C'est principalement la transpiration qui est responsable du mouvement de l'eau dans la plante. Ce phénomène est la résultante d'un processus physique expliqué par l'énergie potentielle de l'eau dans le sol et dans l'atmosphère. Dans un contexte agricole, le besoin en eau d'une culture représente l'eau qui a été perdue par évapotranspiration ou autrement dit, par transpiration (plante) et par évaporation (sol), et ce, sans que la plante ait subi de contrainte pour le prélèvement de l'eau. Selon le concept du continuum sol-plante-air, tout facteur qui influence un élément exerce une influence sur l'ensemble du système. C'est pourquoi le concept de l'évapotranspiration est largement utilisé pour estimer les besoins en eau des cultures.

2.1 Confort hydrique d'une culture

Le confort hydrique d'une culture fait référence à une situation où la disponibilité de l'eau dans le sol n'est pas un facteur limitatif à la transpiration de la plante. Autrement dit, la culture ne subit pas de contrainte au prélèvement de l'eau. Le besoin en eau des cultures est souvent exprimé dans un contexte de confort hydrique. Différents éléments peuvent avoir un impact sur la disponibilité de l'eau. Il existe une certaine « compétition » entre le sol et les plantes pour l'eau. Dans le sol, l'eau est retenue par des forces de capillarité et d'adsorption. Dans un sol humide, l'eau est facilement disponible aux plantes, car l'eau est, d'une certaine manière, faiblement retenue par le réseau complexe de capillaires. Au fur et à mesure que le sol s'assèche, les forces qui retiennent l'eau dans le sol augmentent et l'eau est plus difficilement accessible aux plantes. Le concept de confort hydrique d'une culture fait donc référence à des statuts hydriques particuliers, une plage de fonctionnement idéale en quelque sorte. Dans la littérature, ce concept fait référence à la réserve en eau facilement utilisable (RFU). Il s'agit de la quantité d'eau (souvent exprimée en mm d'eau par cm de sol) que le sol peut fournir aux plantes sans qu'il y ait une contrainte de prélèvement. De plus, le confort hydrique d'une culture sera variable selon la culture, le contexte pédologique et les conditions environnementales.

2.2 Contrainte de prélèvement en eau

Comme mentionné précédemment, le statut hydrique du sol peut devenir un facteur limitatif au prélèvement de l'eau par les racines. D'autres conditions peuvent avoir un effet limitatif sur le prélèvement de l'eau par les plantes. Une température élevée de l'air peut entraîner un stress thermique et la fermeture des stomates. Toutefois, dans un contexte d'estimation des besoins en eau des cultures, l'effort sera davantage déployé sur l'identification d'un « point d'intervention » ayant trait au sol. Ce point d'intervention, qui peut devenir la consigne de déclenchement en contexte irrigué, correspond à un statut hydrique du sol précis à partir duquel à une contrainte de prélèvement en eau est observée. L'identification des points d'intervention a été décrite dans Boivin et coll. 2018.

2.3 Éléments qui ont un impact sur le besoin en eau des cultures

2.3.1 Éléments d'intérêts

Ces éléments peuvent être répartis dans quatre catégories selon leurs liens avec : 1) la culture; 2) le milieu de croissance des racines; 3) le système cultural; et 4) les conditions météorologiques.

2.3.1.1 Culture

Le besoin en eau est influencé par la culture elle-même et son stade de développement. Chaque culture a des caractéristiques qui lui sont propres et qui influencent le besoin en eau. Ces caractéristiques incluent notamment : la résistance à la transpiration, la hauteur de la culture, la rugosité des tissus, la réflexion des feuilles, le couvert végétal et le développement racinaire (Allen et coll., 1998). Ces caractéristiques peuvent non seulement être différentes selon la culture, la variété ou le cultivar, mais évoluent également de manière plus ou moins importante dans le temps. Ainsi, pour une même culture, le besoin en eau augmentera durant la croissance, pour atteindre un plateau à la maturité et ensuite décliner. La nature pérenne ou annuelle de la culture influencera aussi ces périodes. Le besoin en eau d'une culture est habituellement exprimé selon une durée précise (jour, semaine, mois). Enfin, la durée entre le semis et la récolte est aussi un élément à considérer.

2.3.1.2 Milieu de croissance

Le milieu de croissance fait référence au sol. Les propriétés physiques de ce dernier sont variables d'un sol à l'autre et aussi dans le temps. Ceux-ci ont un impact sur la capacité de rétention en eau du sol et indirectement, sur le besoin en eau des cultures et éventuellement, sur le besoin en eau d'irrigation. Parmi les propriétés les plus importantes, la structure, la texture, les détritiques (particules de sol au diamètre supérieur à 2 mm), la matière organique et la compaction seront à considérer. La texture exprime la nature granulométrique d'un sol et influence fortement sa structure et sa capacité de rétention en eau. Les forces physiques qui permettent de retenir l'eau dans l'espace poral du sol ne s'expriment pas de la même manière selon la nature granulométrique et pédologique du sol. De manière générale, un sol composé principalement de sable aura une capacité de rétention en eau et une réserve en eau facilement utilisable (RFU) plus faible qu'un sol dont la texture est limoneuse. Plus la proportion occupée par les « détritiques » est importante, plus la capacité de rétention en eau d'un sol sera diminuée, car ces fragments sont des assemblages de minéraux qui retiennent peu ou pas l'eau. Finalement, la compaction du sol diminue l'espace poral d'un sol. La densité du sol augmente puisque l'espace occupé par l'air diminue. La surface spécifique où l'eau peut être retenue par les particules de sol, ainsi que le volume de sol pouvant être exploité par le système racinaire sont diminués. La résultante sur la capacité de rétention en eau est directe, elle est diminuée.

2.3.1.3 Système cultural

Une culture évolue dans un système cultural donné. Ce système comporte des éléments qui peuvent influencer l'interaction entre l'eau et la culture. La présence d'un paillis perméable ou imperméable à l'eau, la configuration du sol en surface (plat ou billonné) et l'architecture des parties aériennes des plantes sont des exemples. Ces éléments affectent le mouvement de l'eau de différentes façons. Ils peuvent diminuer ou augmenter la transpiration des cultures, l'évaporation de l'eau à la surface du sol et diriger, concentrer ou détourner l'eau des précipitations vers des zones spécifiques du système cultural. Ces éléments ont un impact sur le mouvement de l'eau de manière spatiotemporelle et influencent la disponibilité de l'eau à la culture. Dans certains de ces systèmes culturaux, l'irrigation est inévitable. L'impact sur le besoin en eau des cultures, et parallèlement le besoin en irrigation des systèmes culturaux, doit donc être évalué au cas par cas. Une description exhaustive des systèmes culturaux est présentée dans Boivin et coll. 2018.

2.3.1.4 Conditions météorologiques

Le contexte météorologique dans lequel les cultures évoluent influence le besoin en eau des cultures. La température de l'air ambiant et l'humidité de celui-ci, la vitesse du vent et la radiation solaire sont des paramètres qui influencent directement la demande en évapotranspiration. Le besoin en eau d'une culture sera plus faible lors d'une journée nuageuse ou pluvieuse que lors d'une journée chaude, sèche et venteuse. D'une autre manière, la fréquence et la nature des

précipitations peuvent également influencer la quantité d'eau retenue par le sol. Ainsi, il devient essentiel de déterminer la proportion des précipitations qui ont un potentiel d'être valorisées par les cultures (précipitations valorisables).

2.4 Outils pour estimer le besoin en eau

2.4.1 Outil de type « planification »

EstimEau² est un outil d'aide à la décision (OAD) en gestion de l'eau de type « planification » qui permet d'estimer les besoins en eau d'une entreprise agricole et la disponibilité de l'eau de surface et souterraine. Il ne permet pas de déterminer le moment où il serait pertinent d'intervenir avec l'irrigation. Il est plutôt utile pour estimer les besoins en eau pour diverses activités agricoles comme l'irrigation pour protéger les cultures du manque d'eau et du gel, l'abreuvement des animaux, le lavage intérieur des bâtiments, le lavage des légumes, l'utilisation par la main-d'œuvre hébergée sur le site de la ferme et pour la préparation des traitements phytosanitaires.

L'outil s'appuie entre autres sur des données météorologiques historiques couvrant la quasi-totalité du Québec agricole afin de calculer différents scénarios élaborés par l'utilisateur en fonction d'années plus ou moins pluvieuses. L'intensité du risque de subir un gel peut également être ajustée afin de déterminer si les quantités d'eau disponibles à la ferme permettront ou non de combler les besoins pour la protection de la culture.

EstimEau utilise la géolocalisation de l'exploitation pour estimer la disponibilité potentielle de l'eau de surface et souterraine, tout en prenant en compte les caractéristiques des diverses sources d'approvisionnement saisies par l'utilisateur (réservoirs, toitures, puits, etc.). Ce dernier obtient alors une estimation globale des ressources en eau disponibles. L'application offre la possibilité de choisir parmi 81 systèmes culturaux et huit types d'élevages.

Grâce à cet outil, il est possible d'estimer le besoin en eau des cultures dans des contextes spécifiques. Veuillez vous référer à la fiche technique *Déterminer les besoins en eau des cultures grâce à l'outil EstimEau*, pour connaître la démarche en détail.

2.4.2 Outil de type « temps réel »

Les OAD de type en « temps réel » réfèrent généralement à des appareils de mesure et des méthodes théoriques qui permettent l'acquisition de données ou d'évaluer le statut hydrique du sol, le statut hydrique ou physiologique des végétaux ou les conditions météorologiques. Ces outils sont généralement utilisés dans le cadre d'une gestion raisonnée de l'irrigation (Boivin et coll., 2018), mais peuvent également servir à évaluer le besoin en eau des cultures dans un contexte non irrigué. Ainsi, ces outils permettent d'identifier des points d'intervention ou consignes. Autrement dit, grâce à ceux-ci, il est plus facile d'identifier les contextes où la culture se retrouve en situation de confort hydrique ou de contraintes de prélèvement en eau. De plus, les OAD sont utiles pour mesurer l'efficacité des apports en eau dans certains systèmes culturaux où la compréhension du mouvement de l'eau est plus complexe (ex. : billons, paillis, culture de couverture, résidus de culture, semis direct). Les outils qui permettent de suivre le statut hydrique du sol mesurent généralement la teneur en eau volumique du sol ou le potentiel matriciel de celui-ci. Sur le marché, il existe une variété de technologies disponibles comme les tensiomètres, les sondes utilisant la méthode diélectrique, la résistance ou la conductance électrique, la dissipation thermique, la psychrométrie, etc.

Pour en connaître davantage sur les technologies disponibles ainsi que leurs avantages et inconvénients, une vitrine technologique sur les outils d'aide à la décision a été réalisée par l'équipe de recherche en gestion de l'eau à l'IRDA (Deschênes, Boivin et Vallée, 2021). Certains outils sont également présentés au module 5.

² <https://estimeau.ca/>

2.5 Conclusion

Comme il a été mentionné précédemment, différents facteurs influencent les besoins en eau des cultures. Ainsi, lorsque le contexte spécifique de production (facteurs en lien avec la culture végétale, le milieu de croissance des racines, le système cultural, les conditions météorologiques) est pris en compte, la situation peut rapidement devenir complexe à analyser. Il est toutefois possible d'utiliser des outils simples afin d'y apporter un éclairage. L'outil EstimEau est un bon point de départ pour évaluer la vulnérabilité au déficit hydrique d'une entreprise agricole. Cette approche pourra être confrontée et précisée grâce à l'utilisation d'outils en « temps réel ». Que le contexte soit ou non irrigué, le guide technique « Gestion raisonnée de l'irrigation » (Boivin et coll., 2019) est certainement une source d'information pour comprendre un système cultural. Votre conseiller agricole est aussi une source d'information incontournable. Enfin, il est important de diversifier ses sources d'information.

2.6 Bibliographie

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raeset et M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. Rome.

Boivin et coll., 2018. Gestion raisonnée de l'irrigation – Guide technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 312 p. Disponible au CRAAQ : <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-technique-gestion-raisonnee-de-l-irrigation/p/PLEG0102-C04>

Boivin, C., L. Anderson, S. Ricard et J.-T. Denault. 2024. EstimEau : un outil d'aide à la décision pour améliorer la gestion de l'eau et prévenir les conflits d'usage; VOLET 1 – Estimation des besoins en eau des exploitations agricoles. Rapport final. IRDA. 109 p. https://irda.blob.core.windows.net/media/9041/rfinal_estimeau_21-001-ge-irda_volet1.pdf

Deschênes P., C. Boivin et J. Vallée. 2021. Vitrine technologique sur les outils d'aide à la décision pour la régie de l'eau en contextes agricoles variés. 130 p.

Goorahoo, D., C. F. Sharma, D.D. Adhikari et S.E. Benes. 2011. Chapter 3 :Soil-Water-Plant, dans Stetson, L.E. et B.Q. Mecham. 2011. Irrigation, 6th Edition, Irrigation Association, Falls Church, VA, 1089 p.

Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics, Academic Press, San Diego, Californie, E-U, 771 p.

Kramer, P. et J. Boyer, 1995. Water Relations of Plants and Soils. San Diego, Academic Press, 495 p.

Ricard, S., M. Osina, M., F. Huchet, A. Blais-Gagnon et C. Boivin, 2024. EstimEau : un outil d'aide à la décision pour améliorer la gestion de l'eau et prévenir les conflits d'usage; VOLET 2 – Estimation de la disponibilité en eau à l'échelle du Québec agricole. Rapport final. IRDA et partenaires, 58 p.

MODULE 3. COMPRENDRE LES EXCÈS D'EAU

Auteure : Catherine Bossé, agr., IRDA

3 Introduction

En agriculture au Québec, et encore plus avec les changements climatiques, il faut autant gérer des manques d'eau que des excès d'eau. Alors que les épisodes de déficit hydrique sont souvent déclenchés par des facteurs macroclimatiques, tels qu'une longue période sans pluie, les surplus d'humidité sont généralement un peu plus prévisibles. Le printemps est propice aux excès d'eau localisés dans les dernières zones de retrait de la neige. La nappe phréatique est aussi plus haute, ce qui met en lumière les problèmes de rabattement de l'eau souterraine. Après chaque pluie abondante, des cuvettes se forment dans les mêmes zones du champ, année après année. La vulnérabilité d'un champ, voire de toute l'entreprise, aux excès d'eau est plutôt connue. Maintenant, bien que l'entreprise ait une idée de l'endroit où l'humidité peut être en surplus à quelques périodes de l'année, ce même endroit est souvent le *résultat* d'un problème et non pas sa *cause*. Dans ce module, nous proposerons d'abord une méthode et des outils pour localiser avec précision les problèmes d'excès d'eau dans un champ. Ceci est d'une grande aide pour réaliser le diagnostic des causes du surplus d'humidité qui permettra de choisir les interventions les plus efficaces pour corriger le problème en amont.

3.1 Localisation du problème d'excès d'eau

Sur un plan de la parcelle, identifier les zones suivantes :

- Celles donnant les meilleurs et les pires rendements
- Celles plus humides et plus sèches

Identifier aussi les aménagements hydroagricoles tels que les éléments du réseau hydraulique, les structures de captage et de sédimentation et les ouvrages de protection des confluences.

Les zones hétérogènes dans la parcelle sont souvent homologues aux changements de séries de sol. Les différences entre les séries de sol ne sont pas toujours visibles à la surface, c'est pourquoi il est très aidant de s'informer sur les caractéristiques des horizons du sol en profondeur. La nature des sols amène différentes limites aux interventions possibles.

- Pour localiser des changements de série de sol
 - Info-Sols
 - Pédologie (limites)
 - Classification de sols
- Pour s'informer sur la nature du sol : [cartes pédologiques](#)

Observer les différentes zones hétérogènes identifiées au niveau du rendement, de l'eau et de la pédologie. Des liens pourront déjà être faits dans la compréhension du problème d'excès d'eau.

Pour vous aider

Plusieurs données sont accessibles en ligne et gratuites. En voici quelques-unes recommandées.

- indice NDMI
- indice Sols nus
- [Info-Sols](#)
 - Images prises par avion



Figure 4. Un champ exemple (contours rose) avec la donnée « Photos aériennes 1979 » en fond de carte.

- Cours d'eau aménagés par le MAPAQ

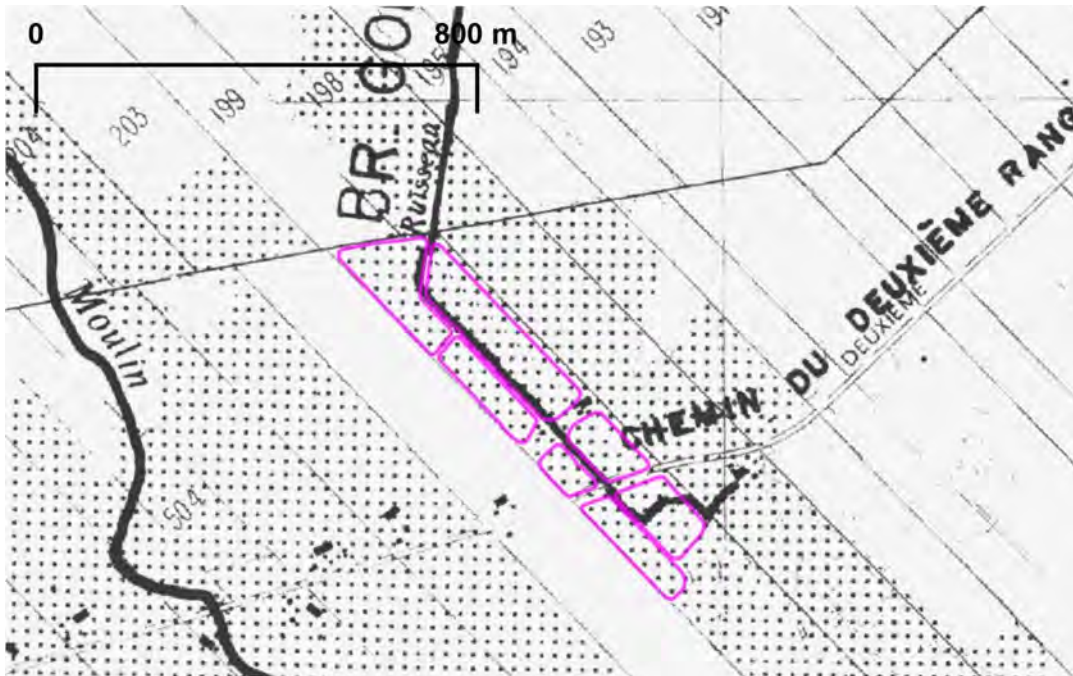


Figure 5. Un champ exemple (contours rose) avec la donnée « Carte hydrographique en fond de carte ».

- Tracé d'écoulement

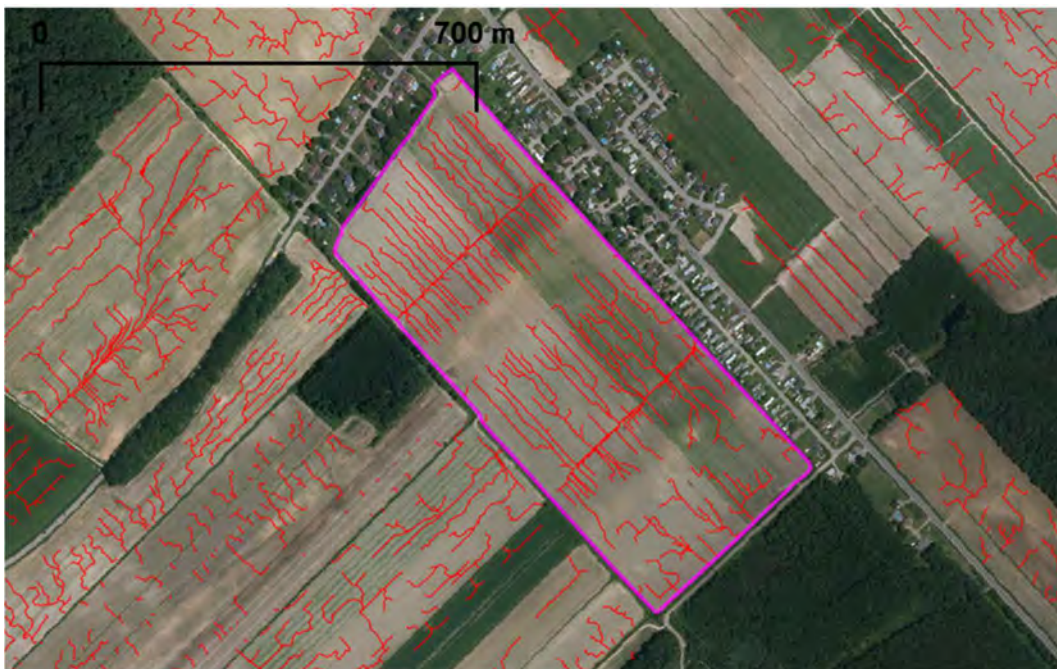


Figure 6. Un champ exemple (contours rose) avec la donnée « Tracé d'écoulement » en avant-plan. Mosaïque de photos aériennes du MERN en fond de carte.

- Et plusieurs autres tels que l'hydrographie, Modèle numérique de terrain, etc.
- EO Browser
 - Images prises par la constellation de satellites Sentinel-2
 - couleurs vraies
 - indice NDVI

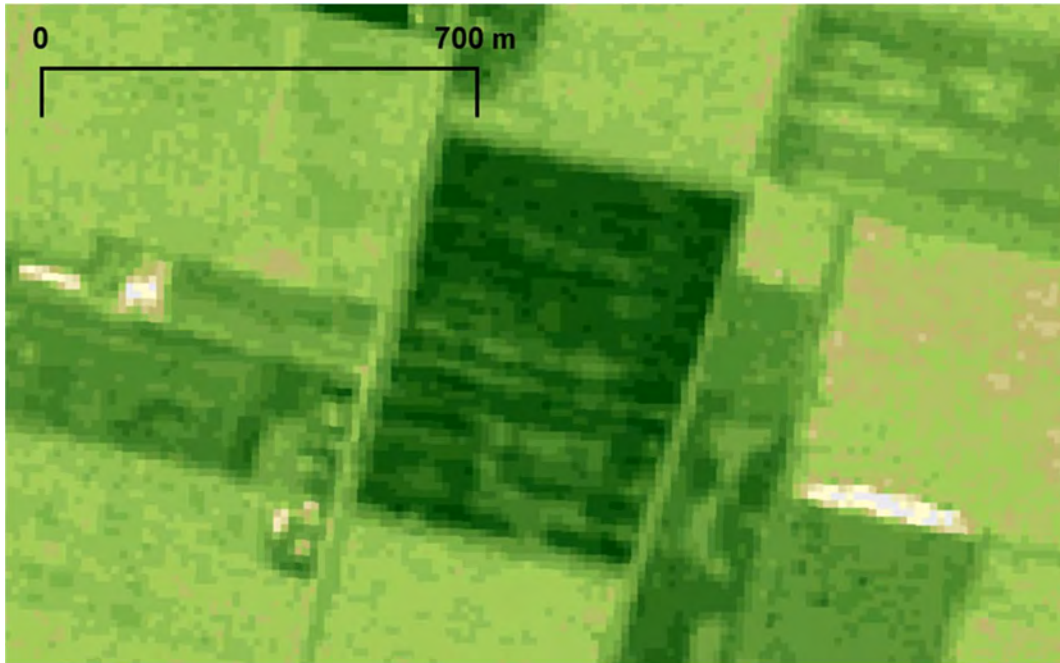


Figure 7. Image satellitaire Sentinel-2 acquise le 5 avril 2021 et traitée avec un indice de végétation par différence normalisée (NDVI). La forme rectangulaire verte foncée au centre est un champ en blé d'automne.

Les pixels en vert foncé correspondent à une densité plus grande de chlorophylle que ceux des pixels plus pâles. Une quantité élevée de chlorophylle est un indicateur de la présence de végétation verte vivante.

3.2 Causes de l'excès d'eau

Ce diagnostic peut se faire par étape. Chaque composante du drainage agricole doit être évaluée : c'est-à-dire d'abord le réseau hydraulique, puis le drainage de surface et, finalement, le drainage souterrain.

3.2.1 Trois composantes du drainage agricole

3.2.1.1 Réseau hydraulique

Son objectif est d'évacuer les surplus d'eau vers l'extérieur du champ.

On fait en sorte que l'eau en excès (et qui doit être évacuée du champ) circule dans des voies d'eau prédéterminées. Celles-ci peuvent être naturelles telles que des cours d'eau ou bien aménagées tels que des fossés.

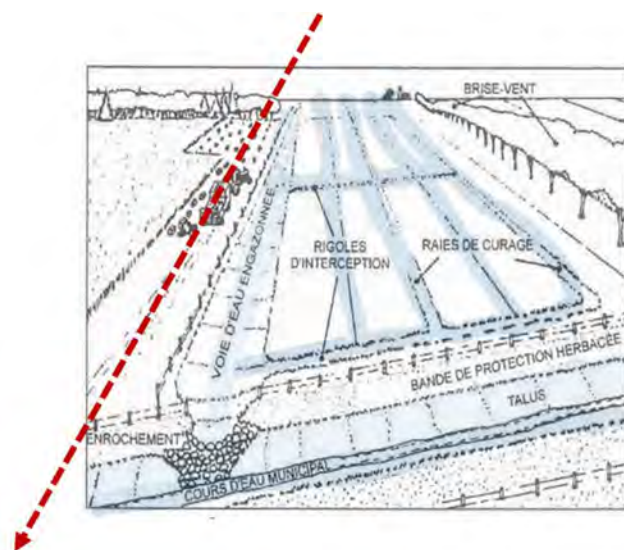


Figure 8. Illustration du réseau hydraulique permettant l'évacuation de l'eau du champ

3.2.1.2 Drainage de surface

Son objectif est d'éliminer l'eau s'étant accumulée à la surface dans un délai raisonnable.

Le drainage de surface peut se faire de deux façons : horizontale et verticale (qu'on appelle aussi *infiltration*)



Figure 9. Illustration du drainage de surface horizontal ou vertical

3.2.1.3 Drainage souterrain

Son objectif est d'abaisser la nappe phréatique.

On met des drains souterrains dans un champ pour accélérer l'abaissement de la nappe phréatique. C'est donc une gestion de l'eau en excès qui provient du sous-sol bien plus que de la surface.

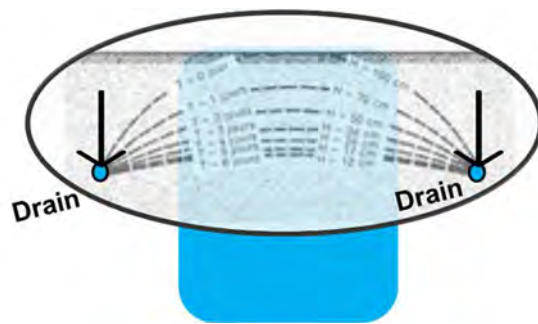


Figure 10. Illustration du drainage souterrain

3.3 Diagnostic par étapes de l'excès d'eau

Est-ce un problème de réseau hydraulique, de drainage de surface ou de drainage souterrain? Diagnostiquer les problèmes d'excès d'eau par étape, dans cet ordre.

3.3.1 Diagnostic du réseau hydraulique

Le but ici est de répondre à la question : est-ce que le réseau hydraulique est fonctionnel?

Le meilleur moment de l'année pour réaliser ce diagnostic est bien entendu au printemps ou bien à la suite d'une pluie abondante lorsque les fossés sont davantage remplis d'eau. Il est alors plus facile de comprendre le sens de l'écoulements et de détecter les obstacles à ce même écoulement. Il est aussi pertinent de prolonger ces observations au-delà des limites du champ. Par exemple, l'eau peut être évacuée hors du champ sur une courte distance, puis être refoulée à la rencontre d'un obstacle situé dans une parcelle voisine.

La première étape consiste à localiser les ouvrages hydro-agricoles, en particulier les ponceaux et les structures de captage et de sédimentation (avaloir, tranchée filtrante, bassin de sédimentation. Consulter au besoin le Module 7). Ensuite, identifier les exutoires et les entrées d'écoulement, c'est-à-dire les endroits où, respectivement l'eau sort et entre dans les limites du champ. Pour une évacuation provenant du flux des drains souterrains, la localisation est bien sûr facilitée par la connaissance de l'emplacement des sorties des collecteurs. Si vous ne disposez pas du plan du système de drainage souterrain, sachez qu'ils sont parfois disponibles sur Info-Sols via la donnée « Plans de drainage ». Pour les parcelles non-drainées ou celles ayant tendance à évacuer leur surplus d'eau par des écoulements préférentiels en surface, il n'est pas toujours évident de localiser l'exutoire. Pour ces situations, la donnée « Tracé d'écoulement »³ disponible sur Info-sols peut donner des pistes complémentaires aux observations sur le terrain (Figure 11). Noter que ces tracés ne donnent pas le sens de l'écoulement : utiliser l'outil « Profil altimétrique » aussi disponible sur Info-Sols lorsque nécessaire. À la Figure 12, un profil altimétrique entre le point A et B nous indique que l'écoulement sur cette section se fait vers l'intérieur du champ.

³ Il est recommandé de vérifier l'année à laquelle a été pris le dernier relevé Lidar afin de s'assurer que les tracés d'écoulement ont été calculés à partir de données d'élévation reflétant bel et bien la topographie actuelle du champ. Pour ce faire, consulter la donnée « Limites des relevés d'élévation » sur Info-Sols qui indique la dernière date de l'acquisition de données Lidar dans la région. S'assurer que le tout est cohérent avec la réalité terrain (ex. : du nivellement ou autres aménagements fonciers ont-ils été réalisés depuis la dernière acquisition Lidar?)

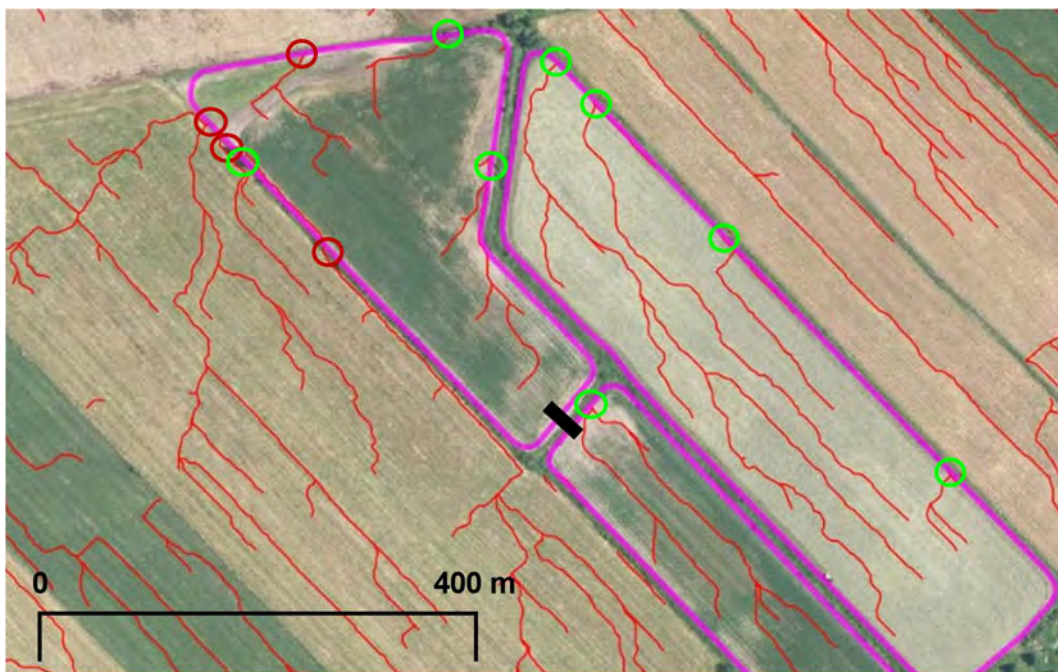


Figure 11 . Localisation d'un ponceau (rectangle noir), des exutoires (cercle vert) et des entrées (cercle rouge) de l'écoulement à l'aide de la donnée « Tracé d'écoulement » (ligne rouge) pour un champ (contour rose) non-drainé souterrainement.

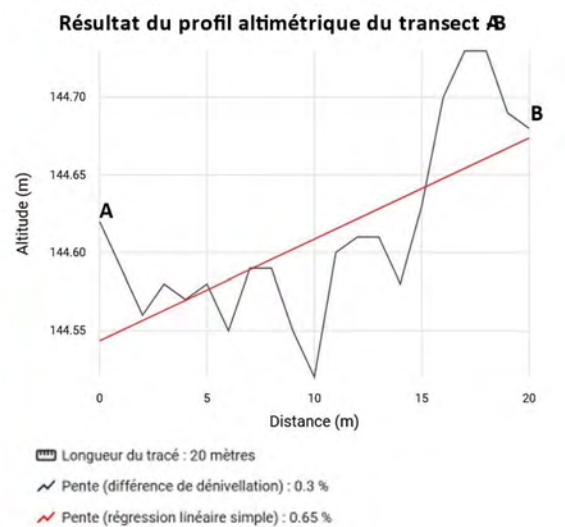
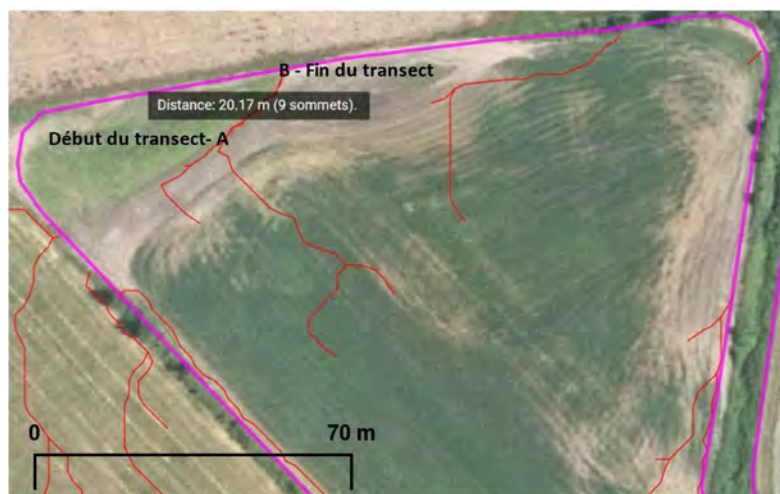


Figure 12. Profil altimétrique sur une section d'un tracé d'écoulement d'un champ (tranchée A-B).

Une fois que les ouvrages hydro-agricoles servant au captage et à la sédimentation, les exutoires et les entrées d'écoulement sont identifiés, la prochaine étape consiste à repérer les voies d'eau aménagées ou naturelles ainsi que les planches (qui créent habituellement elles-mêmes des voies d'eau). Portez attention aux pentes et aux profondeurs des composantes en

vous aidant, si nécessaire et approprié⁴, de la donnée « Modèle numérique de terrain » et d'une des données de courbes de niveau sous la section « Topographie » d'Info-Sols.

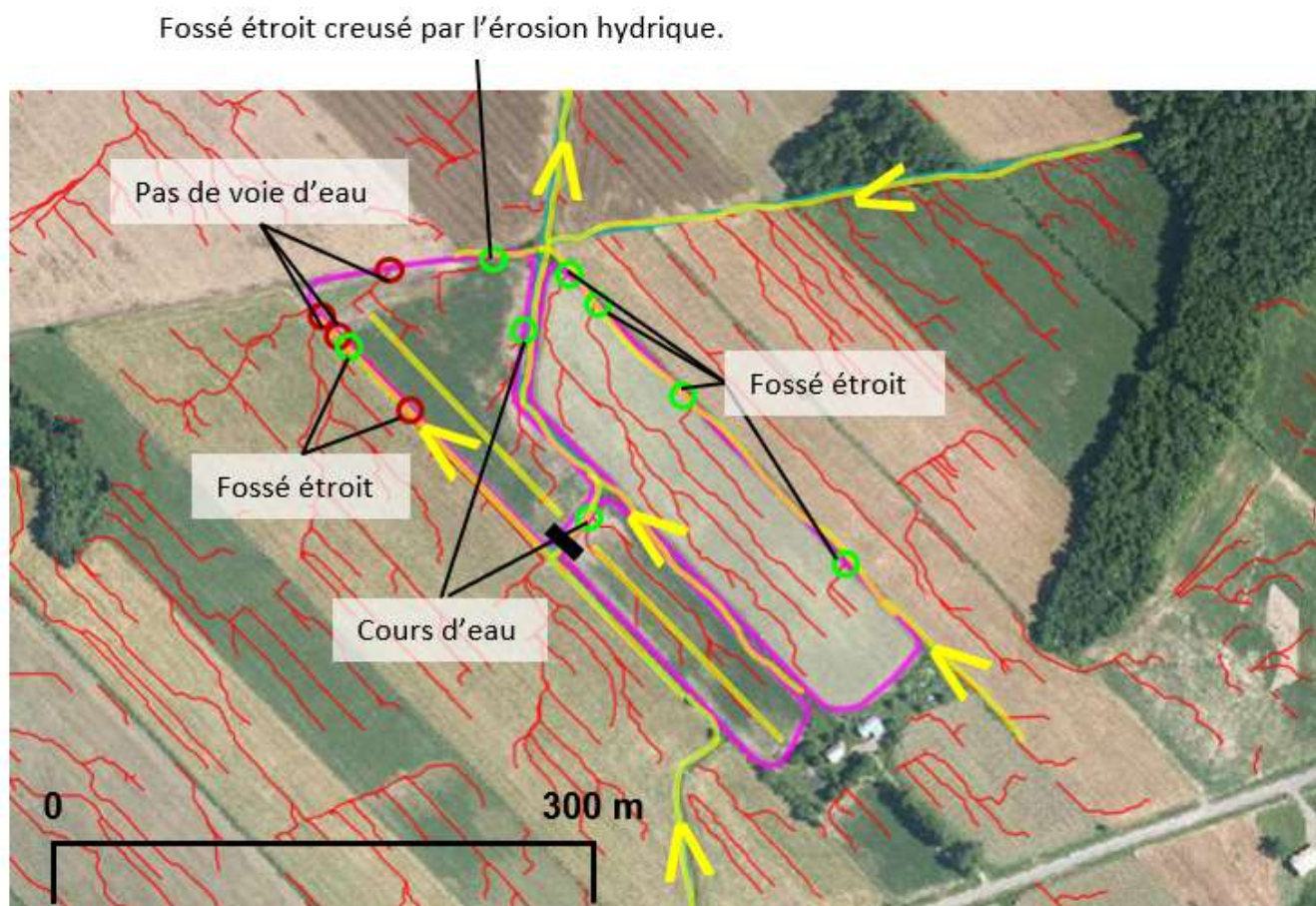


Figure 13. Schéma d'un champ exemple présentant plusieurs composantes liées au drainage.

À la Figure 13, on observe que l'évacuation de l'eau en excès provenant de l'intérieur et de l'extérieur du champ n'est pas toujours garantie. En effet, de l'eau entrant par les parcelles voisines peut traverser les frontières du champ sans être captée par un élément de réseau hydraulique : autrement dit, il n'y a aucun obstacle à cette entrée d'eau. Il est d'ailleurs possible de voir que celle-ci crée de forts canaux préférentiels entraînant de l'érosion hydrique à quelques endroits. L'eau cherche naturellement à se creuser une voie de sortie année après année! Du côté des exutoires de l'écoulement interne (cercles verts), ceux-ci débouchent tous sur une voie d'eau déjà présente. Or, ces dernières ne sont pas toutes aménagées d'une façon optimale. L'étroitesse de plusieurs fossés et la présence de végétation encombrante vient limiter le bon travail d'évacuation. Ce genre de considération sera davantage discutée au Module 7.

3.3.2 Diagnostic du drainage de surface

Une fois que le bon fonctionnement du réseau hydraulique a été vérifié, l'état de surface du champ doit être analysé. Un réseau hydraulique optimal permet l'évacuation de l'eau en excès, mais cette eau doit bien entendu être en mesure de

⁴ Toujours compléter et valider les données prises en ligne avec des mesures sur le terrain. Les données discutées dans cette section sont issues du modèle numérique de terrain, qui est lui-même dérivé du relevé Lidar. En cas de doute au sujet de la source de la donnée, consulter les métadonnées associées à chacune d'entre elle sur Info-sols ou encore le guide d'utilisateur.

cheminer au travers le champ et le sol jusqu'aux exutoires. Il est approprié de procéder en deux temps : diagnostiquer d'abord le drainage latéral, puis le drainage vertical (infiltration).

Au niveau du drainage latéral, on recherche d'abord les secteurs où l'eau s'accumule, en particulier au printemps ou à la suite d'une forte pluie : typiquement, ce sont les cuvettes. Une donnée « Cuvettes » existe sur Info-sols et est dérivée du LiDAR. Cette donnée peut être utile en préalable à une visite terrain, mais elle sous-estime très fréquemment le nombre et la superficie des cuvettes dans une parcelle. Elle est plus fiable pour trouver les cuvettes causées par un mauvais drainage latéral plutôt que vertical puisque les calculs sont basés sur la topographie et non pas la condition du sol. Pour cibler des zones d'accumulation d'eau, on peut avoir une bonne idée en s'intéressant aux pentes du champ via la consultation du modèle numérique de terrain directement (aussi disponible sur Info-Sols) et en y superposant une couche de courbes de niveau⁵. La donnée « Pente (%) » peut aussi être utile, mais l'est davantage pour choisir des interventions appropriées plus tard dans le processus décisionnel. Il faut porter attention aux changements de pente et profiter de l'occasion pour vérifier si ces derniers concordent avec des changements dans les types de sol via les données de la section « Pédologie » d'Info-Sols. Si oui, le noter car ceci sera utile pour le diagnostic du drainage vertical.

Il est aussi possible de s'aider encore une fois de la donnée « Tracé d'écoulement » qui calcule elle-même la tendance qu'a le mouvement de l'eau dans le champ selon la topographie. L'idéal, au niveau du drainage latéral, est souvent de raccourcir les lignes des écoulements préférentiels, sinon, de concentrer l'écoulement à un nombre restreint d'endroits qui sont aménagés en conséquence dans le champ. De longs écoulements ont tendance à dénuder le sol, ce qui accentue son érosion, et aussi à créer de la compaction en surface, ce qui peut enfreindre l'infiltration de l'eau. Au niveau du diagnostic, on cherche donc à cibler les zones où de longs écoulements sont présents et à vérifier où ils sont réceptionnés. Dans le champ exemple (Figure 13), on remarque la présence de longs écoulements préférentiels à l'intérieur des parcelles. Une raie de curage est présente au centre des deux parcelles gauches. Toutefois, cette raie ne se prolonge pas jusqu'au réseau hydraulique, ce qui nuit à son bon fonctionnement : la raie reçoit une bonne partie de l'écoulement des deux planches, mais cette eau rencontre un obstacle pour sortir. La parcelle de droite ne contient pas de raie de curage, bien qu'on y trouve plusieurs longs écoulements préférentiels. Le drainage latéral dans l'ensemble du champ n'est donc pas optimal.

Pour diagnostiquer le drainage vertical, l'objectif est de vérifier que l'eau s'infiltre sans limitation importante dans le profil de sol. Pour ce faire, il est alors nécessaire d'observer le sol dans sa verticalité à quelques endroits opportuns dans le champ : en premier lieu aux endroits où il y a des accumulations d'eau et comparer avec des zones n'ayant pas ce problème. La méthode recommandée est le profil de sol. Celui-ci peut être creusé avec une pelle ou avec une pelle mécanique sur une profondeur allant jusqu'à l'horizon C ou jusqu'à la nappe. Elle permet de porter une attention fine aux éléments suivants :

- Les changements de résistance lors du creusage
- Les changements de couleur, de texture et de structure
- La présence ou l'absence de marbrures
- Les changements d'humidité

Les caractéristiques observées peuvent être dues à la nature du sol ou encore à une dégradation de la qualité physique du sol. Il est suggéré de comparer en effectuant un profil dans une zone non-perturbée de la parcelle ou autre témoin jugé pertinent de la même série de sol.

3.3.3 Diagnostic du drainage souterrain

Un problème de drainage souterrain est aujourd'hui beaucoup moins fréquent que les autres. S'intéresser d'abord à la répartition du système de drainage souterrain : la parcelle est-elle drainée sur toute sa superficie ou seulement certaines zones? Si ce n'est pas déjà fait, effectuer au moins un profil de sol pour chaque zone hétérogène identifiée dans la première

⁵ Il est plus facile d'évaluer la topographie du terrain avec ces deux données en superposition.

section de cette fiche ainsi qu'au moins un profil respectif pour une zone drainée et non-drainée. Noter les éléments suivants :

- Hauteur de la nappe et des marbrures
- Signes de colmatage ou de bris du système
 - Sorties de drain
 - Nature des résidus s'accumulant dans les drains
 - Ocre de fer
 - Présence et type de filtre enveloppant les drains
- Conformation du système de drains souterrains (s'aider d'une tige à drain)
 - Écartement
 - Profondeur
 - Pente

3.4 Réaliser des profils de sol pour diagnostiquer le drainage de surface et souterrain du sol

Le profil de sols agropédologique est un outil diagnostique permettant d'évaluer in situ l'impact des pratiques agricoles sur l'état physique d'un sol. Les profils de sols agropédologiques utilisent à la fois des observations liées à des notions de pédologie (horizons, couleur, granulométrie, etc.) et des observations de nature agronomique comme l'examen des racines et de la structure du sol. La combinaison de ces informations permet de bien comprendre la nature du sol étudié (forces et faiblesses) et son état de santé pour ainsi dégager des constats qui dirigeront vers une recommandation adaptée. Pour en apprendre davantage sur les profils de sols agropédologiques, un webinaire sur la santé des sols est disponible sur le sujet.

3.4.1 Pourquoi réaliser des profils de sols

Le profil de sol peut être réalisé par un conseiller ou un producteur agricole dans différents contextes pour identifier des problématiques ciblées. Une baisse de rendement ou une mauvaise gestion de l'eau sont des indicateurs de problématique reliée au sol. De plus, on peut décider de réaliser des profils de sol pour évaluer l'état général du sol. Par exemple, on peut évaluer l'impact d'une modification d'une pratique culturale sur la structure du sol ou pour évaluer l'état général du sol avant l'achat d'une terre. Il est ainsi possible d'évaluer les coûts supplémentaires occasionnés par des interventions (sous-solage, drainage souterrain) pour corriger les problématiques diagnostiquées. À l'inverse, le profil de sol peut aussi être utile pour identifier les interventions jugées inutiles (sur-drainage). En résumé, si les profils de sols sont bien réalisés, les réponses aux questions seront obtenues et mèneront vers une recommandation adaptée à la situation du producteur agricole.

3.4.2 Quand réaliser des profils de sols

Dans un contexte de gestion de l'eau, il est nécessaire de déterminer si la problématique envisagée est liée à l'eau souterraine ou à l'eau de surface. Si nos soupçons se dirigent vers un drainage souterrain inefficace, la période idéale pour diagnostiquer la problématique serait au printemps lorsque les nappes d'eau souterraine sont élevées. Si nos soupçons nous dirigent vers une problématique liée à l'eau de surface, le moment propice pour réaliser le profil de sols serait après une pluie de forte intensité. Dans les deux cas, le sol doit être ressuyé, c'est-à-dire à capacité au champ. Si le profil de sols se remplit trop rapidement d'eau, il sera impossible de visualiser l'élément limitant dans le profil.



Figure 14. Eau à la surface du sol au printemps.

3.4.3 Comment réaliser un profil de sol agropédologique

1- Recueillir les informations sur les sols (avant d'aller au champ)

Il est nécessaire d'identifier les séries de sols présentes sur la parcelle et à proximité pour connaître les matériaux composant notre sol. Il est possible de visualiser les cartes pédologiques sur infos-sols ou en téléchargeant un feuillet en format pdf, kmz ou shp sur le site internet de l'IRDA (feuillets téléchargeables). Par la suite, il est essentiel de consulter les informations relatives à la série de sols dans l'étude pédologique de la région ciblée ou au moyen des fiches synthèses de séries de sols produites par l'IRDA. C'est une étape importante et souvent négligée. L'étude pédologique n'a pas de date de péremption. Les propriétés stables (granulométrie, classe de réaction, couleur) n'ont pas ou peu évolué même si l'étude a été réalisée il y a plusieurs années.

2- Réalisation et description du profil de sols (au champ)

Une fois sur le terrain, il faut déterminer le nombre et l'emplacement des profils à réaliser. Le nombre est déterminé en fonction des séries de sols rencontrées dans la zone jugée problématique (deux profils de sol/par série de sols + un profil témoin) et aussi en fonction du paysage (pente). Un profil témoin peut être réalisé pour fin de comparaison avec les profils en zone problématique. Un sol peu perturbé ayant des agrégats de sols développés caractérise un profil témoin. Les haies brise-vent, les vieilles prairies, les bordures de clôtures et les champs performants peuvent servir généralement de zone témoin. Le matériel minimal nécessaire est : une pelle aiguisée, un couteau à manche rigide, un gallon à mesurer, un coroplaste blanc, une bouteille d'eau et un appareil photo. La tarière hollandaise n'est pas obligatoire, mais peut cependant être utile si on veut repérer un changement de matériau en profondeur. Les dimensions du profil doivent être d'environ 45-60 cm de diamètre et au moins 60 cm de profondeur si possible, pour observer minimalement la partie supérieure de l'horizon B. Les couleurs sont très importantes dans un diagnostic de problématiques liées à la gestion de l'eau. Il est donc important de nettoyer le profil à l'aide du couteau pour bien visualiser les couleurs. La couleur de l'horizon B est indicatrice de l'état du régime hydrique du sol.



Figure 15. Limite entre l'horizon Ap et B est à 20 cm (série Hébertville).

3.4.4 Informations à colliger (critères morphologiques)

La granulométrie, le changement de couleur et les informations en lien avec la structure du sol devraient être colligés pour un diagnostic de problématique en lien avec la gestion de l'eau.

1- Granulométrie

La granulométrie fait référence au pourcentage de sable, limon et argile (fraction fine ≤ 2 mm) et comprend les fragments (> 2 mm; graviers-cailloux-pierres). Chaque changement notable de la texture et de la quantité de fragments devrait être identifié. Par exemple, une texture s'alourdissant en profondeur ou une grande quantité de fragments retrouvés dans un horizon aura nécessairement un impact sur l'infiltration de l'eau dans le sol. Il est donc important de ne pas négliger la nature du sol dans l'interprétation d'un profil de sol.

2- Couleur du sol

Dans le cadre d'un diagnostic en gestion de l'eau, l'interprétation des couleurs est une étape importante dans la réalisation d'un profil de sol. Au niveau de l'horizon B, généralement atteint entre 20 et 30 cm de profondeur, les processus d'oxydation et de réduction du fer peuvent être observés. C'est un indicateur du drainage naturel ou intrinsèque du sol. La classe de drainage « fait référence à la fréquence, à la profondeur et à la durée des périodes durant lesquelles le sol est complètement ou partiellement saturé en eau »⁶ (Figure 16). Un sol orangé (couleur rouille) indique un milieu non saturé en eau et le fer est sous une forme oxydée, donc bien drainé naturellement. À l'inverse, dans un milieu saturé en eau (mal drainé naturellement), le fer est sous une forme réduite et le sol sera de couleur grisâtre, voire bleutée. Un sol avec un drainage modéré à imparfait aura une couleur dans les teintes de brun (Figure 16).

Pour les sols mal drainés naturellement, il est fréquent de voir des marbrures (ex : sol argileux). Les marbrures (Figure 18) sont des taches de couleur orangé ou brunâtre « dispersés dans la couleur dominante de la matrice du sol (souvent gris) »⁷. L'espace laissé par les racines et les microorganismes du sol en condition aérobique peuvent devenir des marbrures. La présence de marbrures est donc souhaitable surtout en sol lourd.

⁶ Guide de stratigraphie des sols

⁷ Rapport pédologique de Rouville

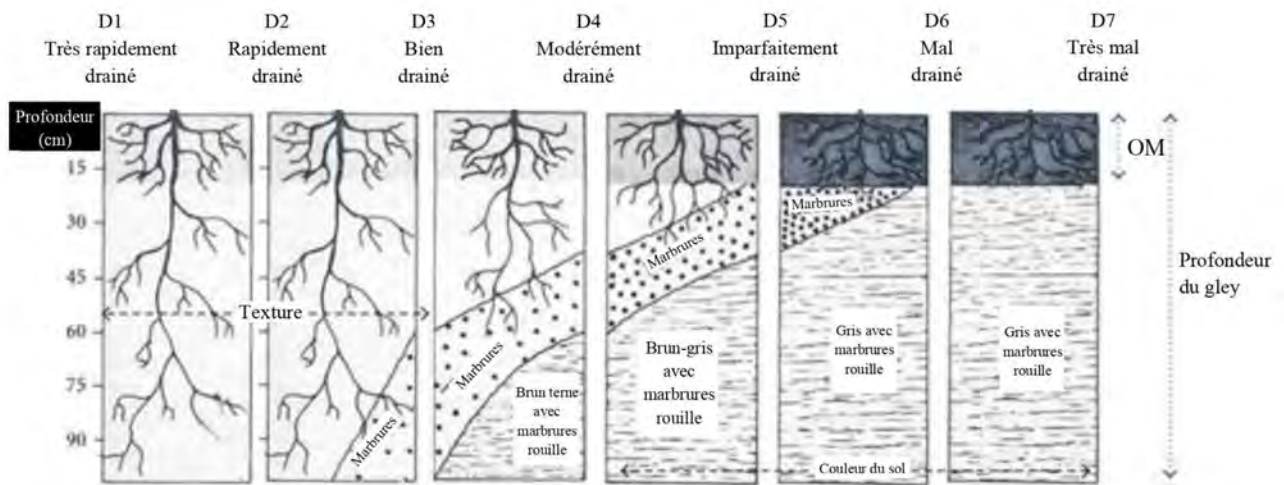


Figure 16. Variation des classes de drainage naturel du sol en fonction des traits d'oxydo-réduction (source : Guide de stratigraphie des sols).

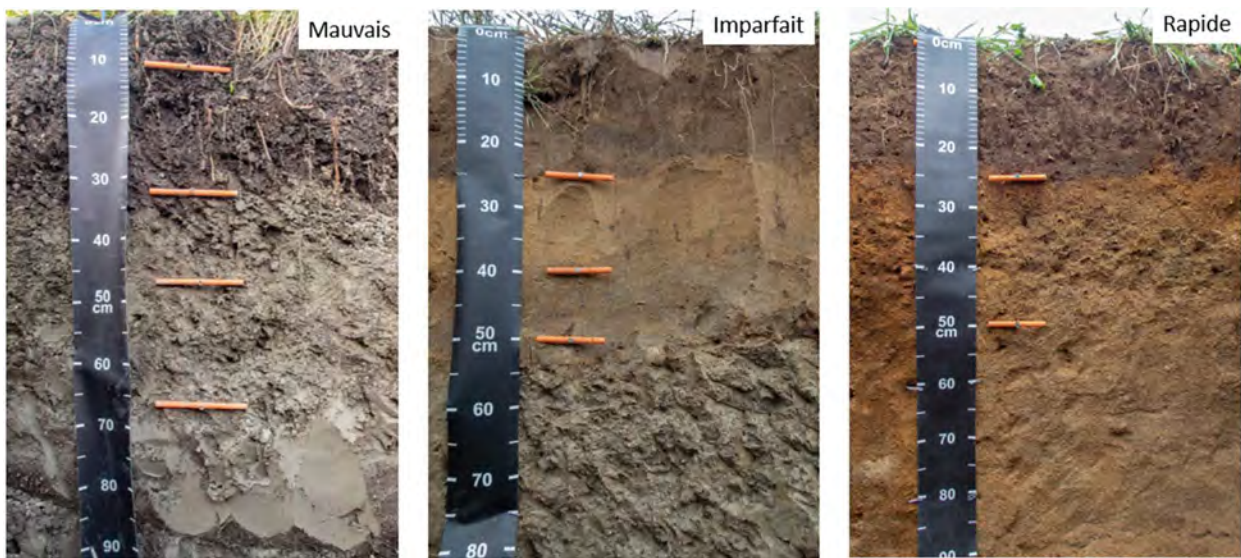


Figure 17. Variation de la couleur du sol selon le drainage naturel du sol.



Figure 18. Marbrures.

3- La structure du sol et porosité du sol

La structure et la porosité d'un sol sont des propriétés dynamiques. La structure du sol réfère à l'arrangement des agrégats en profondeur et devient donc un paramètre important à évaluer lors de la réalisation du profil de sol. Elle est évaluée en prélevant un bloc de sol non perturbé à l'aide d'un couteau. Suite au prélèvement, l'échantillon doit être manipulé avec soin pour dévoiler la structure et pour visualiser les agrégats. Cette structure peut être étendue sur un coroplaste, de couleur pâle idéalement, pour évaluer la forme de la structure et sa grosseur. L'agrégat idéal doit être rond et sa grosseur peut varier dans l'échantillon sans être trop grossier (Figure 19). La structure sur le coroplaste peut être prise en photo en prenant soin d'indiquer le numéro de champ, le nom du producteur et l'horizon sur le coroplaste. La structure principale devrait être évaluée pour chacun des horizons identifiés. Il arrive fréquemment de trouver deux types de structures différentes à l'intérieur de l'horizon de surface (Ap). Elles sont souvent façonnées par le travail du sol (Figure 20). Il est donc important d'identifier la structure à chacune des couches identifiées.



Figure 19. Agrégats ronds et petits dévoilés sur un coroplaste.

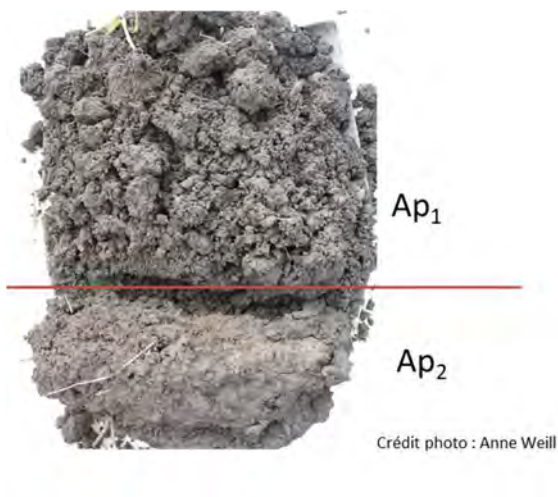


Figure 20. Couche engendrée par le travail de sol.

Les structures qui ont une incidence négative sur la gestion de l'eau sont les structures massives, lenticulaires/lamellaires et particulaires. Pour les structures dites massives et particulaires, les agrégats ne sont pas apparents (Figure 21). La structure massive est souvent reliée à une compaction des sols, surtout lorsqu'elle est identifiée à la surface du sol. Elle a une incidence sur l'infiltration de l'eau. L'eau s'infiltré très lentement ou pas du tout à travers cette structure et peut demeurer visible à la surface du sol. Cette eau de surface est souvent confondue à l'eau souterraine, laissant supposer un problème d'eau souterraine. Ce mauvais diagnostic peut mener à la mauvaise solution et entraîner des coûts inutiles. À l'inverse, une

structure particulière est composée de particules isolées sans aucune cohésion. L'eau s'y infiltre rapidement. Ce sont des sols susceptibles à la sécheresse qui pourraient nécessiter de l'irrigation. Les structures lamellaires et lenticulaires sont façonnées sur un plan horizontal, réduisant l'infiltration de l'eau dans le profil (Figure 22). Pour en savoir plus sur les différents types de structures, la consistance et la porosité des sols, nous vous invitons à regarder une capsule vidéo de L'appel de la pelle et un webinaire sur la santé des sols du CRAAQ.



Figure 21. Structure massive.



Figure 22. Structure façonnée horizontalement (lamellaire/lenticulaire).

3.5 Conclusion

Il est possible d'avoir plusieurs problèmes d'excès d'eau dans une même parcelle et il est essentiel de procéder au diagnostic dans cet ordre :

- 1- Réseau hydraulique
- 2- Drainage de surface
- 3- Drainage souterrain

Il faut savoir qu'un problème de drainage souterrain est beaucoup moins fréquent que les deux premières sources.

3.6 Bibliographie

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. (2023). *Information sur les sols*.

<https://www.irda.qc.ca/fr/services/protection-ressources/sante-sols/information-sols/>

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. (2023, 2 février). *L'appel de la pelle - Une série de capsules vidéo éducatives en agropédologie*. <https://www.irda.qc.ca/fr/nouvelles-et-evenements/irda-lappel-de-la-pelle/>

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. [MAPAQ]. (2021, 28 janvier). *Webinaire santé des sols - Introduction à l'application Info-sols* [vidéo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=BigMfxyYIIA>

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. [CRAAQ]. (2022, 27 octobre). *Utilisation des images satellites en données ouvertes pour le suivi des cultures* [vidéo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=E4-ludDFp0c&t=1682s>

Gouvernement du Québec. Info-Sols. [page d'accueil]. <https://www.info-sols.ca/>

Sentinel Hub. EO Browser. [page d'accueil]. <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

Chabot, R. et coll. (2022). *Diagnostic et drainage souterrain des terres agricoles – Guide technique*. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-diagnostic-et-drainage-souterrain-des-terres-agricoles/p/PING0102-C02>

Savoie, V. (2009). *Le drainage de surface*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/drainageformation2009-2010.pdf>

MODULE 4. PRÉDIRE L'ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE ET LA COMPACTION DES SOLS

Auteur : Marc-Olivier Gasser, agr., Ph.D., IRDA

4 Introduction

L'eau et le sol sont intimement liés. La condition physique du sol, sa structure et la teneur en matière organique jouent des rôles importants pour assurer l'infiltration de l'eau à la surface du sol, la transmission et la diffusion de l'eau dans tout le profil (conductivité hydraulique), ainsi que pour retenir l'eau dans le sol (capacité de rétention) et assurer des réserves en eau utiles à la plante (Module 2). L'utilisation d'outils pour prédire l'évolution de la matière organique ou la compaction du sol devrait faciliter le choix des meilleures pratiques agricoles à adopter pour assurer une meilleure gestion de l'eau dans le profil de sol.

4.1 Prédire l'évolution de la matière organique des sols

4.1.1 Notions de base

4.1.1.1 Qu'est-ce que la matière organique dans le sol?

La matière organique accumulée dans les sols provient essentiellement de l'activité biologique des êtres vivants qui peut avoir eu lieu très récemment (< 1 an) ou il y a très longtemps (>10 000 ans).

Jusqu'à récemment, on voyait la matière organique des sols comme un stock à gérer alors que ce serait plutôt un flux de différentes composantes de matière organique à piloter. Il devient autant important d'évaluer l'accessibilité des microorganismes à une réserve de matière organique fraîche que de gérer la teneur en matière organique stable (aussi appelé « carbone protégé »).

Dans le passé, les mots humification, humus, humine, acides fulviques faisaient partie du vocabulaire d'usage en sciences du sol. Or, depuis 10 ans, une nouvelle conception de la constitution de la matière organique basée sur la dimension des particules et de sa protection avec les particules fines a vu le jour. Il est de plus en plus admis que la matière organique stable du sol n'est pas un stock d'humus qui se forme à la suite de l'accumulation de résidus ligneux. La matière organique stable du sol s'accumule avec la complexation de produits microbiens et des particules fines de sol (argile principalement) provenant de la décomposition de résidus carbonés relativement plus décomposables (ex. : exsudats racinaires, résidus de cultures, racines et feuilles, etc.).

4.1.1.2 L'importance de la matière organique des sols vis-à-vis la quantité et la qualité de l'eau

La matière organique retient une partie des nutriments et des polluants dans les sols, ce qui améliore la santé des plantes et protège la qualité de l'eau.⁸ Elle a un grand rôle à jouer dans l'agrégation des particules de sols qui, en soit, contribue à leur bonne structure et, directement, à leur capacité de rétention en eau.

4.1.1.3 Cycle de vie de la matière organique des sols

La matière organique se présente principalement sous deux formes dans les sols: la matière organique particulaire (POM) et celle associée aux particules minérales fines (MAOM). La forme labile, en solution dans le sol, est négligeable en quantité. La POM, de taille plus grossière que 53 microns, a une durée de vie entre 1 et 50 ans. La MAOM peut quant à elle résider de 10 à 1000 ans dans les sols et est beaucoup plus petite (moins de 53 microns).

⁸ Lehmann & Kleber, 2015

4.1.1.4 Ce qui fait que la matière organique augmente ou diminue

L'accumulation de matière organique est bien entendu favorisée par un accroissement des apports faits au sol. N'oublions pas que la photosynthèse des plantes en soit est la première façon qu'a la nature d'accumuler du carbone dans les sols. Ensuite, pour limiter la diminution de la MOS⁹, il faut tout aussi logiquement ralentir sa minéralisation. Ceci peut être réalisé en diminuant les opportunités qu'a le carbone du sol de s'oxyder. Il n'y a rien de plus efficace pour oxyder le carbone du sol que des cycles répétés d'humidité/assèchement associés à un contact répété avec l'air. Le travail du sol peut créer ces conditions : le sol est brassé, son contact avec l'air est accentué, il sèche plus vite. Il est d'ailleurs courant d'observer une libération de nutriments à la suite d'un travail de sol étant donné l'action minéralisante que cela crée sur la matière organique.

4.2 Diagnostic du taux actuel de matière organique des sols

Au Québec, la teneur en matière organique des sols (MOS) a été évalué jusque dans le milieu des années 2000, par dosage du carbone organique (CO) avec la méthode Walkley-Black modifiée. Un facteur de 1,724 (58 % de CO dans la MOS) est utilisé pour convertir le CO en MOS. La méthode par oxydation humide Walkley-Black a été abandonnée en raison des coûts et des déchets en produits chimiques générés, malgré sa bonne fiabilité pour doser le carbone organique des sols. La plupart des laboratoires accrédités utilisent présentement la méthode de détermination de la MOS par perte au feu ou incinération. La méthode employée est identifiée sur le certificat d'analyse envoyé par le laboratoire : n'hésitez pas à contacter ce dernier en cas de doute.

Pour des fins de comparaison, dans le temps par exemple, il peut être hasardeux de comparer des teneurs en MOS mesurées à partir de différentes méthodes qui dosent soit la teneur en matière organique ou celle en carbone organique. L'équation suivante est toutefois utilisée pour estimer la teneur en MOS par perte au feu à partir de la teneur en MOS déterminée par Walkley^{10 11} :

$$\% \text{ MOS par perte au feu} = 0,9932 * \text{MOS par Walkley-Black} + 0,587$$

Une teneur en MOS de 4,00% mesurée par la méthode Walkley-Black donnerait donc 4,56% par perte au feu.

Il est tout aussi important de bien échantillonner le sol au champ, avec un minimum d'un sous-échantillon de sol par hectare de superficie homogène, prélevé à une profondeur de 0-20 cm et idéalement à la même période durant l'année au fil des campagnes d'échantillonnage¹².

Pourquoi s'attarder à ces détails? Car toute la pertinence du diagnostic de la matière organique actuelle des sols tient dans sa comparaison avec les valeurs historiques, c'est-à-dire le passé. Ainsi, encore faut-il que cette comparaison puisse se faire et savoir demeurer prudent lorsqu'on en tire des conclusions, et ce en particulier pour les variations de moins de 0,5%. Jumeler l'exercice avec le diagnostic prévisionnel de la matière organique ainsi que le diagnostic de la compaction actuelle des sols est tout indiqué (la compaction des sols va souvent de pair avec la perte de matière organique) : il en sera question dans les prochaines lignes de ce module.

Considérant ces précautions, il est possible de comparer la teneur en MOS actuelle avec celle des années précédentes et, de manière plus large, avec les valeurs référencées dans différents ouvrages présentant la série de sol concernée. Le [portail web d'Information sur les sols](#) de l'IRDA en rassemble plusieurs, tels que les études pédologiques et l'Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec.

Y a-t-il une tendance à la baisse, à la hausse ou au maintien dans les teneurs en MO de vos sols?

⁹ MOS : Matière Organique des Sols.

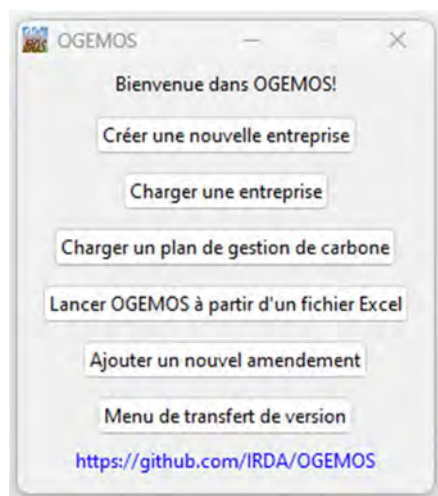
¹¹ Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) et MAPAQ. 2003. Détermination de la matière organique par incinération : méthode de perte de feu (PAF), MA. 1010 – PAF 1.0, Ministère de l'Environnement du Québec, 9 p.

¹² Pour plus de détails, consulter l'ouvrage suivant : KHIARI, Lotfi. Échantillonnage conventionnel des sols agricoles au Québec. CRAAQ. 2014.

4.3 Diagnostic prévisionnel de la matière organique des sols – outil OGeMOS

Maintenant, est-ce que vos pratiques agricoles (cultures, engrais verts, amendements organiques, travail de sol) diminueront, augmenteront ou encore maintiendront les teneurs en MO actuelles dans vos sols?

OGeMOS est un logiciel servant à estimer l'évolution de la matière organique sur le long terme. Il est basé sur le modèle ICBM¹³ développé en Suède et a été choisi en raison des conditions climatiques apparentées avec celle du Québec¹⁴. Il permet de comparer les effets de différents scénarios de régimes culturels en incluant le choix des cultures, des engrais verts, le retrait des résidus de cultures et l'apport d'amendements organiques.



OGeMOS est disponible gratuitement et en libre-accès sur la plateforme Github : <https://github.com/IRDA/OGeMOS>. Tous les détails et mises à jour au sujet d'OGeMOS s'y trouvent. Une vidéo de présentation d'OGeMOS est aussi en ligne : <https://www.youtube.com/watch?v=3mYgjMZPEPI>.

Il est estimé que le réchauffement climatique, sans considérer de changement d'affectation des terres, aura à lui seul comme effet de faire baisser les teneurs en MOS en région plus nordique de près de 1% entre 2010 et 2100 au Québec¹⁵.

4.4 Prédire l'évolution de la compaction des sols

4.4.1 Notions de base

4.4.1.1 Qu'est-ce que la compaction des sols?

La compaction peut se présenter en surface comme en profondeur dans le sol. La compaction de surface peut restreindre l'infiltration de l'eau en surface du sol, la disponibilité de l'air aux racines ou la capacité de travail des outils, mais en général elle est plus facile à remédier que la compaction profonde. Juste en dessous de la couche de sol travaillée peut se présenter une couche compacte qu'on décrit parfois comme une semelle de labour. Cette couche compacte peut aussi se décompacter avec des outils de travail de sol, comme une sous-soleuse. En revanche, les couches compactes formées de 35 à 50 cm de profondeur et parfois jusqu'à 70 cm sont plus difficiles à corriger avec des opérations mécaniques et prennent du temps à se restructurer. Il est donc important de considérer la condition physique du sol sur tout le profil et de vérifier la présence de compaction de la surface jusqu'en profondeur et de considérer la condition physique de l'ensemble du profil de sol.

¹³ ICBM : *Introductory Carbon Balance Model* / Modèle d'introduction du bilan du carbone.

¹⁴ GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat.

¹⁵ Gasser, M.-O., A. Biswas, G. Martinelli, T. H. Easher, C. Bernard, et A. Zita. 2023. Évolution d'indicateurs spatialisés de la santé des sols sous l'effet des changements climatiques au Québec et en Ontario. Rapport final. IRDA et partenaires. 118 pages.

La compaction de surface est liée à la contrainte qu'exerce les pneus ou les chenilles directement en contact avec le sol ¹⁶.

La compaction en profondeur est celle que l'on ne voit pas à la surface du sol. Elle peut survenir jusqu'à 50 cm de profondeur dans le sol et même parfois plus, dépendant de la charge à la roue et de la condition du sol. Elle est le résultat d'un excédent de poids porté par les roues (ou tout autre outil) qui circule sur le sol. Même si la charge est bien répartie et qu'elle n'engendre pas de compaction importante en surface, elle peut néanmoins compacter les horizons plus profonds du sol.

Finalement, un sol en bonne condition physique présente dans son profil (0 à 90 cm de profondeur), une continuité dans ses propriétés hydrauliques et d'aération reliée à une bonne structure et à l'absence de couches compactes. Ces dernières viennent réduire la profondeur et la dimension du profil de sol exploitable par les racines des plantes. Avant leur mise en culture, plusieurs types de sols (par exemple, des dépôts lacustres d'argiles, des sols sableux podzolisés) présentent des limitations dans le profil de sol exploitable par les racines. En revanche, l'amélioration foncière des terres (drainage de surface et souterrain, amendements organiques et calciques) ont pu au cours du temps améliorer le profil cultural. L'évolution du parc de machinerie vers des équipements de plus en plus performants en termes de largeur et de rapidité d'exécution a eu pour impact d'augmenter de façon continue dans le temps la charge à la roue imposée sur les sols et les risques de compaction profonde. Les charges à la roue exercées par les équipements agricoles les plus lourds sont passées de 1500 kg à la roue dans les années 50, à des valeurs de 12 500 kg à la roue en 2020, équivalentes à celles des sauroscopes de l'époque des dinosaures (Keller et Or, 2022). Les contraintes exercées à 50 cm de profondeur dans le sol sont ainsi passées de 20 à 130 kPa, excédant largement la capacité du sol à résister à la compaction à cette profondeur en condition humide.

4.4.1.2 L'eau et la compaction

Peu importe le type de compaction, la porosité du sol, soit l'espace entre les agrégats de sol, est diminuée. Cette porosité est un espace servant à la circulation de l'air, de l'eau, des racines et autres organismes vivant dans le sol. Ainsi, un plus faible espace pour stocker l'eau a des répercussions bien réelles sur la résilience du sol lors d'épisodes d'excès de pluies comme de sécheresse. La compaction de surface peut accentuer le ruissellement en diminuant la capacité d'infiltration de l'eau, en l'empêchant de s'infiltrer (ex. : croûte de battance). Par ricochet, les risques d'érosion hydrique augmentent. La compaction en profondeur peut elle aussi nuire à l'infiltration de l'eau jusqu'à créer des accumulations en surface ou encore des nappes perchées¹⁷ dans le profil de sol. Plus ces nappes perchées sont près de la surface du sol et persistantes, plus elles réduisent la circulation de l'air, asphyxient les racines et contribuent à la dénitrification de l'azote en conditions réductrices. Finalement, la compaction et la déstructuration du sol diminue la capacité de rétention de l'eau dans le sol et la réserve en eau utile aux plantes.

4.5 Diagnostic de la compaction des sols au champ

4.5.1 Indicateur de la condition physique des sols minéraux par évaluation visuelle et tactile

Un outil diagnostique a été développé pour quantifier l'état de la structure des sols minéraux à partir d'un profil de sol agro-pédologique. Il est destiné essentiellement aux producteurs et conseillers agricoles du Québec. L'indicateur a été développé et validé dans le cadre de l'Étude sur l'état de santé des sols agricoles du Québec sur différents types de sols regroupés en cinq groupes texturaux: les sols argileux, limoneux, loameux, sableux et squelettiques (> 35 % de fragments grossiers (> 2 mm)). Le résultat de l'indicateur est présenté sur une échelle de 0 à 10 pour chaque couche caractérisée et permet d'apprécier la condition physique du sol évaluée. Les utilisateurs sont ainsi en mesure d'évaluer, de quantifier et de comparer les impacts des différentes pratiques agricoles sur la structure du sol.

¹⁶ Le lissage provoqué par le passage d'outil plus en profondeur en condition humide génère une compaction sous la surface. Autrefois à 20-30 cm de profondeur, la semelle de labour était associée à la raie de la charrue et au passage de la roue de tracteur. Désormais, on retrouve parfois une couche compacte à 10-20 cm de profondeur liée à des outils de travail de surface comme les déchaumeuses.

¹⁷ À noter que des nappes perchées peuvent aussi se former sur des horizons naturellement limitant dans le sol (ex. : couche de texture très fine au travers un sol de texture plus grossière).

À l'aide des indications présentées dans la fiche *Faire un profil de sol*, l'observateur évalue différentes caractéristiques décrivant la structure, la consistance et la porosité des agrégats et du sol. Cette évaluation se fait sur les différentes couches identifiées dans les horizons Ap et B du profil de sol. Ainsi, il est possible de répertorier à quelle profondeur se situent des couches jugées dégradées ou restrictives. L'indicateur se veut un outil pour la réalisation de profils de sols menant vers un bon diagnostic et à la bonne recommandation. Cet indicateur est disponible dans l'application ProfilSol publiée sur Apple Store.

4.6 Diagnostic prévisionnel de la compaction des sols – outil Terranimo

Le logiciel **Terranimo**® permet aux producteurs et conseillers d'évaluer l'effet du passage de la machinerie, de la charge à la roue, de la pression des pneus et des conditions de sol sur la compaction du sol. Le logiciel est utile pour comparer des équipements et leurs conformations, ainsi que pour faire des choix appropriés pour réduire les risques de compaction en fonction des conditions de sol.

La version du logiciel adaptée pour les conditions du Québec est disponible à l'adresse suivante :

<https://quebec.terranimo.world/>

Des sols types, 17 séries de sols les plus communément cultivées au Québec, ont été intégrés dans l'application pour permettre aux producteurs de simuler des conditions de sols comparables à celles de leur entreprise. De même, la machinerie agricole, les types de pneus et la conformation de la machinerie (roue simple, double ou triple, chenilles) ont été revus en considérant les options plus couramment disponibles au Québec.

La version Expert du logiciel permet en 5 menus principaux de :

- 1- Sélectionner la machinerie,
- 2- Configurer les pneus/chenilles,
- 3- Définir le sol
- 4- Définir la teneur en eau du sol
- 5- Visualiser les résultats

Le logiciel **Terranimo**® permet ainsi de comparer les effets de la machinerie et des pneus, ainsi que leur réglage pour :

- Modifier la machinerie actuelle, le réglage de la pression des pneus, l'équilibrage avant-arrière, moduler la charge transportée
- Orienter l'acquisition ou la modification de la machinerie/pneus dans le futur

Le logiciel permet aussi de comparer les effets des conditions d'humidité du sol, des types de sol, du travail de sol, etc., afin de réviser le calendrier et la planification des opérations au champ.

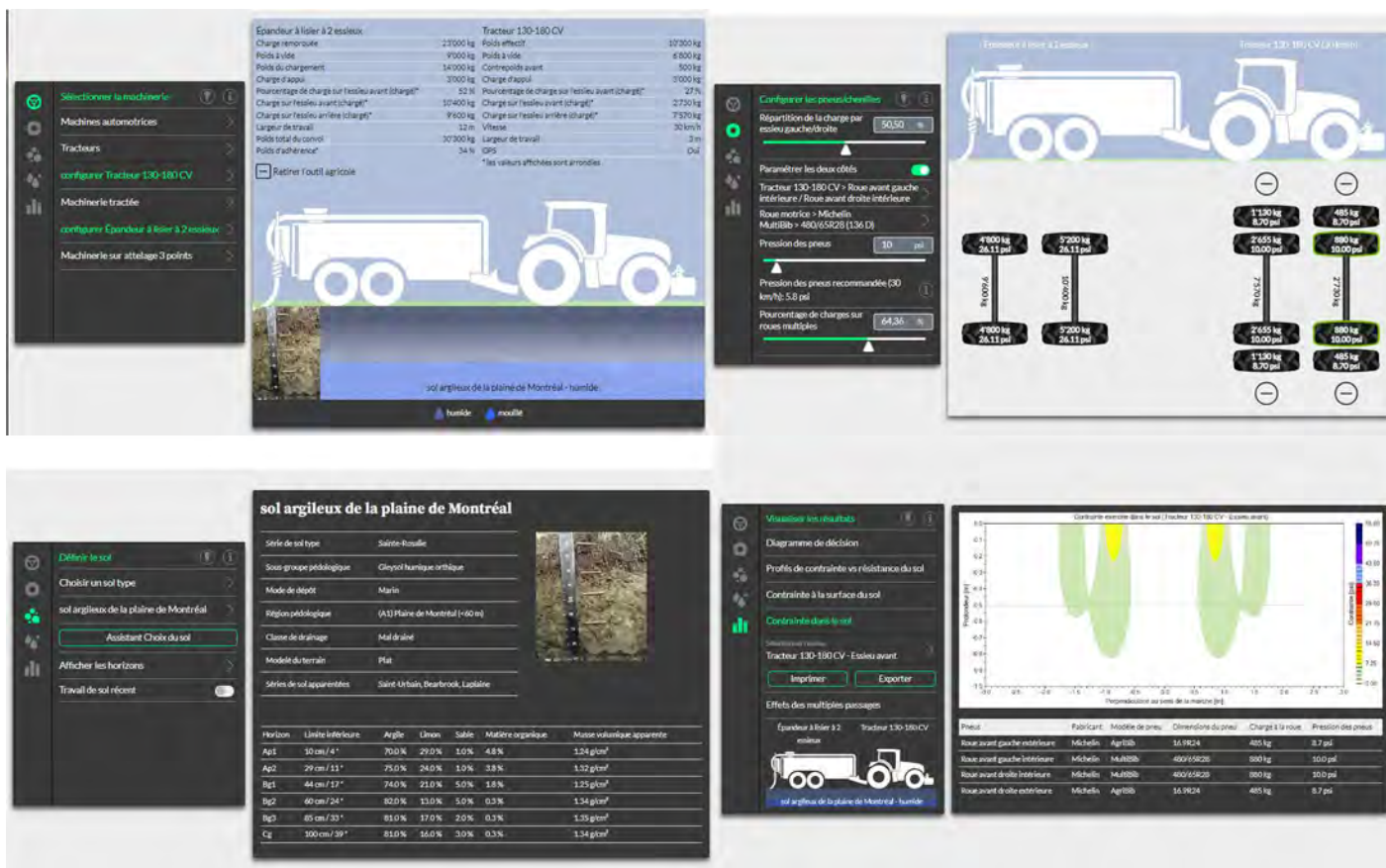


Figure 23. Visualisations de l'outil Terranimo.

4.7 Conclusion

La gestion de l'eau dans les cultures est intimement liée à la condition physique du sol, sa structure et la présence de matière organique dans le sol. Ces éléments jouent un rôle important pour favoriser l'infiltration de l'eau à la surface du sol, la transmission et la diffusion de l'eau dans tout le profil (conductivité hydraulique), ainsi que pour retenir l'eau (capacité de rétention) et assurer des réserves en eau utiles à la plante. L'utilisation d'outils pour prédire l'évolution de la matière organique ou la compaction du sol devrait faciliter le choix des meilleures pratiques agricoles à adopter pour assurer une meilleure gestion de l'eau dans le profil de sol.

Un bon diagnostic de la teneur en matière du sol et de son évolution en fonction des pratiques requiert un bon échantillonnage du sol et une analyse adéquate de la teneur en matière organique ou du carbone dans le sol. Un outil comme OGeMOS permet d'entrevoir comment va évoluer la matière du sol en fonction des pratiques agricoles et des rotations de cultures en cours ou celles qu'on veut modifier.

La compaction et la condition physique du sol peuvent être observées au champ en creusant et en qualifiant la condition physique des couches présentes à différentes profondeurs dans un profil de sol. L'application ProfilSol permet d'évaluer la condition physique du sol, en qualifiant la structure, la consistance et la porosité des différents types de sols. La mise en place de mesures pour améliorer le profil de de sol peut par la suite être évaluée en qualifiant à nouveau un profil de sol avec l'app ProfilSol.

Pour réduire la compaction, le logiciel **Terranimo®** permet de comparer les effets de la machinerie et des pneus, ainsi que leur réglage, en vue de modifier la machinerie actuelle, le réglage de la pression des pneus, l'équilibrage avant-arrière, moduler la charge transportée, ou d'orienter l'acquisition ou la modification de la machinerie/pneus dans le futur. Le logiciel permet aussi de comparer les effets des conditions d'humidité du sol, des types de sol, du travail de sol, etc., afin de réviser le calendrier et la planification des opérations au champ.

4.8 Bibliographie

- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), Article 7580. <https://doi.org/10.1038/nature16069>.
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. [CRAAQ]. (2022, 15 février). *La santé du sol : Comprendre les bases pour mieux comprendre l'impact des pratiques agricoles* [vidéo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=QH9kODUDVo>.
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. [CRAAQ]. (2022, 20 décembre). *La structure du sol, pilier de la santé des sols* [vidéo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=z2jNEVDcKz4>.
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. [CRAAQ]. (2022, 13 janvier). « À une profondeur de 20 pouces : 7,5 psi de contrainte dans le sol » [vidéo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=dkOjNQegSYM>.
- Gasser, M.-O. 2021. OGEMOS. GitHub. <https://github.com/IRDA/OGEMOS>.
- Gasser, M-O., Bossé, C., Lemire, P-L. et coll. 2023. Prévenir la compaction des sols avec Terranimo®, un logiciel adapté aux conditions du Québec. 2 p. <https://www.irda.qc.ca/fr/projets-recherche/terranimio/>.
- Keller, T. et D. Or. 2022. Farm vehicles approaching weights of sauropods exceed safe mechanical limits for soil functioning. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 119, e2117699119..
- Terranimo Québec. <https://quebec.terranimio.world/>.
- Gouvernement du Canada. (2012). *Études pédologiques pour le Québec*. Service canadien d'information sur les sols. <https://sis.agr.gc.ca/siscan/publications/surveys/pq/index.html>.
- Conseil des productions végétales du Québec. (2000). *Guide des pratiques de conservation en grandes cultures – Problèmes de compaction* (feuillet 7-A). <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Feuille7A.pdf>.

MODULE 5. OPTIMISER L'USAGE DE L'EAU

Auteurs : Carl Boivin, agr., M.Sc., Caroline Côté, agr., Ph.D., Mylène Gagné, agr., M.Sc. et Jérémie Vallée, agr., IRDA

5 Introduction

Que l'objectif soit d'optimiser la gestion de l'eau ou tout autre élément, il est important de diversifier ses sources d'information. Cela dit, l'optimisation de l'eau ne se limite pas seulement à l'irrigation. Il est essentiel de bien comprendre le système cultural en place et d'évaluer s'il est possible d'augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau pluviale. Autrement dit, augmenter la proportion de la pluie, qui entre naturellement en contact avec le système cultural, qui peut être valorisée par la culture. En corrigeant un problème de compaction, cela peut favoriser la colonisation d'un plus grand volume de sol par les racines et par conséquent, une plus grande autonomie en eau pour la culture. L'appariement entre la texture du sol et la culture ou prioriser les sols plus « lourds » pour les cultures ou cultivars avec le besoin en eau le plus grand est aussi une stratégie d'optimisation. Si l'irrigation se présente comme une solution envisageable, il est crucial d'en évaluer la pertinence agronomique et économique avant de l'intégrer. Ce dernier critère peut freiner son adoption pour les grandes cultures où le revenu par unité de surface est généralement inférieur à celui des cultures fruitières ou maraîchères. Il est également essentiel de s'assurer que l'approvisionnement en eau est suffisant pour répondre aux besoins. Si cette pratique est intégrée, le rôle du producteur devient alors primordial pour optimiser l'usage de l'eau, en adoptant de bonnes pratiques de gestion de l'eau.

5.1 Irrigation

5.1.1 Objectifs

Selon le contexte de production, les objectifs poursuivis par l'irrigation peuvent être différents. De manière générale, les objectifs les plus souvent rencontrés sont :

- **Évaluation de la pertinence;**
- **Le confort hydrique ou rendement maximal;**
- **Le rendement optimal;**
- **L'approche « assurance récolte »;**
- La germination ou la reprise des transplants;
- La qualité optimale;
- La fertigation;
- La protection contre le gel;
- La protection contre l'érosion éolienne;
- Le refroidissement du couvert végétal.

Dans un contexte de production de grains, certains de ces objectifs sont impertinents. Dans un cadre de validation agronomique et économique, des essais avec l'irrigation sont tout indiqués pour évaluer la pertinence de cette pratique culturale dans un contexte spécifique. À cet effet, une étude récente a été réalisée à l'IRDA (Boivin et coll., 2024a). Valider la pertinence est une étape initiale, réalisée en amont et qui est nécessaire pour « légitimer » le recours à l'irrigation. L'objectif de confort hydrique permet de s'assurer que la disponibilité de l'eau ne soit pas un facteur limitatif au rendement, alors que l'objectif de rendement optimal implique de maintenir un équilibre entre les coûts et les bénéfices de l'irrigation. Cet objectif s'appuie sur des résultats de projets de recherche. L'objectif qui s'appuie sur une approche « d'assurance récolte » vise à tolérer un certain degré de contrainte de prélèvement en eau pour la plante avant d'intervenir avec l'irrigation. Cet objectif vise à éviter des pertes importantes. L'approvisionnement en eau disponible pour l'irrigation devient un élément incontournable dans le processus qui mène à viser un objectif réalisable. Peu importe l'objectif visé avec l'irrigation, l'optimisation de l'utilisation de l'eau, qui passe par une gestion raisonnée de l'irrigation, doit toujours être un objectif qui se combine à celui poursuivi.

5.1.2 Valider la pertinence agronomique et économique

La validation de la pertinence agronomique et économique a été rapidement discutée précédemment. L'analyse de la pertinence de l'irrigation comme pratique viable comprend également l'analyse plus fine de plusieurs aspects comme le besoin en eau d'irrigation et la vulnérabilité au stress hydrique.

5.1.2.1 Besoins en eau d'irrigation

Le besoin en eau des cultures et parallèlement le besoin en eau d'irrigation a fait l'objet d'une explication détaillée au Module 2.

5.1.2.2 Vulnérabilité au stress hydrique

La vulnérabilité des entreprises face au stress hydrique dépend d'une multitude de facteurs propre à chaque situation. Ces facteurs ont été décrits au module 2. La vulnérabilité est directement reliée au besoin en eau des cultures. Comme mentionné au module 2, les principaux paramètres qui ont un impact important sur le besoin en eau des cultures sont : la culture elle-même, le sol, le système cultural et des conditions météorologiques de la saison. L'outil EstimEau¹⁸ permet de fournir une estimation de cette vulnérabilité de manière globale. En outre, les résultats obtenus avec EstimEau peuvent amener à réévaluer la gestion actuelle de l'eau dans une perspective d'optimisation, de promouvoir une gestion raisonnée de cette ressource, ainsi que d'explorer divers scénarios liés à la gestion des exploitations.

Concrètement, le rapport de projet qui accompagne EstimEau propose une multitude de bonnes pratiques de gestion de l'eau (BPGE) qui peuvent s'appliquer en contexte irrigué ou non (Boivin et coll., 2024b). Ces bonnes pratiques concernent notamment la culture, l'expertise, les outils d'aide à la décision, les ressources en eau, la performance des systèmes d'irrigation et la santé des sols. Par exemple, une entreprise pourrait privilégier un cultivar plus résistant au stress hydrique ou utiliser une plante abris au semis.

5.1.3 Contexte où l'irrigation est pertinente

5.1.3.1 S'assurer que l'approvisionnement en eau est suffisant

Pour combler adéquatement le besoin en eau des cultures, il est possible que dans certains contextes, l'irrigation soit nécessaire. À ce moment, il faut savoir si l'approvisionnement en eau est un enjeu. Le besoin en eau maximal pour l'irrigation peut, dans certains cas, représenter jusqu'à 3000 m³/ha annuellement (Boivin et coll., 2018). La réglementation et la disponibilité (volume et qualité) sont des éléments à valider. Ces derniers peuvent devenir des facteurs limitatifs et contraindre l'approvisionnement disponible à certains seuils. De plus, il est important de vérifier la qualité de l'eau tant au niveau physico-chimique que bactériologique.

5.1.3.2 Choisir le bon système d'irrigation

Le choix d'un système d'irrigation repose sur de nombreux critères propres à chaque entreprise. Pour mieux guider ce choix, les principaux systèmes d'irrigation ont été comparés selon différents paramètres présentés au **Tableau 1**. Les éléments d'information inscrits sous chacun des systèmes sont accompagnés d'un code de couleur qui simplifie l'identification des différences entre ces derniers.

¹⁸ <https://estimeau.ca/>

Tableau 1. Tableau comparatif entre différents systèmes d'irrigation.

Éléments comparés	Canon avec enrouleur	Rampe avec enrouleur	Pivot central	Gicleurs/Canons tuyaux mobiles	Gicleurs/Canons tuyaux fixes (enfouis)	Goutte-à-goutte (Court terme)
Équipement mobile (d'une irrigation à l'autre)	Oui	Oui	Possible	Oui	G/C seulement	Non
Énergie : Besoin	Élevé	Modéré	Modéré	Élevé	Élevé	Faible
Main-d'œuvre : Besoin pour la mise en place	Chaque irrigation	Chaque irrigation	1 fois- Fournisseur	Besoin élevé	1 fois- Fournisseur	1 fois- Technique
Main-d'œuvre : Besoin pour l'opération	Surveillance	Surveillance	Surveillance	Surveillance	Surveillance	Surveillance
Main-d'œuvre : Besoin pour hivernage	Faible	Faible	Moyen	Faible	Faible	Ramassage
Entretien-réparation : Niveau technique	Moyen	Moyen à élevée	Élevée	Faible	Faible	Faible
Durée de vie	Long terme	Long terme	Long terme	Long terme	Long terme	Court terme
Uniformité : Peut atteindre/dépasser 80 %	Non	Possible	Possible	Non	Non	Possible
Uniformité : Sensibilité au vent	Très sensible	Peu sensible	Peu sensible	Très sensible	Très sensible	Aucun impact
Passage machinerie : Gêne lors irrigation	Élevée	Élevée	Élevée	Moyenne	Faible	Aucune
Passage machinerie : Gêne en tout temps	Aucune	Aucune	Aucune	Moy. (tuyaux+G/C)	Attention aux G/C	Aucune
Approvisionnement en eau suffisant	Adéquat	Adéquat	Adéquat	Adéquat	Adéquat	Adéquat
Approvisionnement en eau contraignant (AEC)	Efficacité?	Rentabilité?	Rentabilité?	Efficacité?	Efficacité/Rentabilité?	Favorable
Filtration : Exigence	Minimale	Moyenne	Moyenne	Minimale	Minimale	Élevée
Fréquence des irrigations : Faible	Adéquat	Rentabilité?	Rentabilité?	Adéquat	Rentabilité?	Rentabilité
Fréquence des irrigations : Élevée	Durée tour?	Durée tour?	Adéquat	Adéquat si fixe	Adéquat	Adéquat
Champ : Topographie accidentée	Stabilité?	Stabilité?	Adéquat	Adéquat	Adéquat	Adéquat
Champ : Pente forte	Ruissèlement	Ruissèlement	Ruissèlement (R)	Non-uniformité + R	Non-uniformité + R	Non-uniformité
Champ : Grande superficie	Durée tour?	Durée tour?	Adéquat	Adéquat si fixe	Adéquat	Adéquat si AEC
Champ : Longitudinal	Recoupage?	Adéquat	Technique	Recoupage?	Recoupage?	Adéquat
Culture de rotation irriguée	Neutre	Neutre	Favorable	Neutre	Non applicable	Non applicable
Culture : Valeur par unité de surface	Faible à élevée	Moyenne à élevée	Élevée	Moyenne à élevée	Moyenne à élevée	Moy. à élevée
Sol butté recouvert de paillis	Inapproprié	Inapproprié	Inapproprié	Sauf protection gel	Inapproprié	Approprié
Objectif : Évaluer pertinence agronomique	Envisageable	Inapproprié	Inapproprié	Envisageable	Inapproprié	Approprié
Objectif : Fertigation	Inapproprié	Approprié	Approprié	Envisageable	Envisageable	Approprié
Objectif : Approche d'assurance récolte	Approprié	Rentabilité?	Rentabilité?	Envisageable	Rentabilité?	Envisageable
Objectif : Protection contre le gel	Impossible	Impossible	Impossible	Approprié	Approprié	Impossible
Objectif : Rendement optimal/maximal	Fréquence?	Fréquence?	Approprié	Approprié	Approprié	Approprié

5.1.3.3 Utiliser des outils d'aide à la décision (OAD)

Les outils d'aide à la décision (OAD) regroupent un ensemble d'outils qui peuvent être utilisés pour fournir de l'information essentielle à une gestion raisonnée de l'irrigation. Il est possible de regrouper les OAD en fonction des paramètres mesurés. Ainsi, les OAD peuvent renseigner sur : le statut hydrique du sol, l'état physiologique des végétaux, les conditions météorologiques et d'autres paramètres complémentaires comme les volumes d'eau utilisés. Pour chaque catégorie, les paramètres peuvent encore être subdivisés en fonction des technologies utilisées. Par exemple, pour mesurer le statut hydrique du sol, il est possible d'utiliser une sonde qui mesure le potentiel matriciel, la teneur en eau volumique ou une méthode théorique comme le bilan hydrique. Comme mentionné dans le module 2, les OAD ont plusieurs utilisations :

- Valider l'atteinte d'une consigne d'irrigation (point d'intervention) (module 2);
- Mesurer l'efficacité des apports en eau (pluie et irrigation) (module 2);
- Anticiper le moment où l'irrigation sera déclenchée;
- Déterminer et valider la durée d'un épisode d'irrigation;
- Automatiser des processus;
- Faciliter la gestion des réserves en eau.

Pour les deux premiers points, soit « Valider l'atteinte d'une consigne d'irrigation » et « Mesurer l'efficacité des apports en eau », veuillez vous référer au module 2. En plus de renseigner sur le moment où l'irrigation doit être déclenchée, grâce à des mesures concrètes de l'humidité du sol, les OAD peuvent être utilisés en mode prévisionnel. Il est ainsi possible d'anticiper le moment où la consigne sera atteinte (1 à 3 jours). Cela facilite la gestion et la planification à la ferme. L'utilisation de sondes qui mesurent le statut hydrique du sol peut également servir à déterminer la durée d'une irrigation. Pour ce faire, il faut une sonde qui mesure le statut hydrique à la profondeur équivalente à celle des racines les plus profondes. Par itération, l'irrigant ajustera la durée d'irrigation en fonction de la réponse de la sonde en profondeur. Il s'agit d'une manière pratique d'ajuster la durée d'irrigation en fonction d'un contexte de production donné. Il est également possible d'automatiser les irrigations grâce à certains outils. Pour ce faire, la consigne de déclenchement issue des capteurs est transmise vers un contrôleur qui permet de démarrer l'irrigation (ex. : contrôle de valve, démarrage du moteur, etc.). Finalement, il existe des utilités plus spécifiques à certains OAD comme les débitmètres/compteur d'eau qui permettent notamment de faciliter la gestion des réserves en eau et les déclarations de prélèvements lorsqu'un contexte réglementaire est applicable.

5.1.3.4 Déterminer une consigne adéquate

La consigne d'irrigation fait référence à un point d'intervention et cette dernière n'a rien d'universel. En effet, une consigne d'irrigation doit s'appuyer sur le contexte de production. Elle est l'aboutissement d'un raisonnement qui combine plusieurs éléments comme la culture, le sol, le système cultural, les conditions météorologiques et l'objectif poursuivi. Il existe différentes méthodes pour établir une telle consigne. Ces méthodes ont été décrites par Boivin et coll., 2018. La première méthode est le « Point tournant ». Elle consiste à utiliser un tensiomètre et de suivre l'évolution du statut hydrique sur une période plus ou moins longue. Le point tournant est obtenu lorsque la tendance du tensiomètre réelle diffère de l'accroissement lent et uniforme du potentiel matriciel normalement observé lorsque le statut hydrique du sol est à la capacité au champ. Le point tournant est un intervalle d'intervention, il est un excellent compromis lorsque la validation agronomique d'une consigne optimale n'est pas possible. Une autre méthode consiste à utiliser une consigne d'irrigation validée par des essais agronomiques. Avec cette méthode, il faut s'assurer que les conditions expérimentales qui ont mené à la détermination de cette consigne puissent s'appliquer au contexte de l'irrigant. Si le contexte s'applique, la consigne validée est la plus précise. Finalement, il est possible d'utiliser des valeurs théoriques issues de la littérature. Une réserve en eau du sol facilement utilisable (RFU) est d'abord attribuée selon la texture du sol et la profondeur d'enracinement de la culture. D'autres paramètres propres à la culture et aux conditions météorologiques sont considérés sur une base quotidienne pour évaluer les sorties d'eau du système et les apports qui ont un potentiel d'être valorisés par la culture. Autrement dit, il s'agit de réaliser un bilan hydrique.

5.1.3.5 S'assurer de la performance du système d'irrigation

Dans un contexte irrigué, il est important de se préoccuper de la performance du système d'irrigation. La performance fait référence à l'uniformité d'application en eau qu'un système d'irrigation est en mesure d'atteindre. Autrement dit, est-ce que le système d'irrigation permet d'appliquer la même hauteur d'eau sur l'ensemble de la superficie qu'il couvre. Pour ce faire, il existe des méthodes concrètes et simples pour l'évaluer (Nadon et coll., 2016). Cette évaluation consiste à valider le bon fonctionnement d'un système d'irrigation et à fournir des pistes de solutions pour en améliorer la performance. Ultimement, cette démarche produit une évaluation numérique (uniformité de la distribution d'eau, DU) qui permet d'attester ou non de la performance d'un système d'irrigation donné en fonction de barèmes de performance préétablis. Ainsi, chaque système possède une performance maximale. Le but ici est de garantir un approvisionnement en eau uniforme à la culture et de diminuer le risque qu'elle subisse un stress hydrique grâce à un statut hydrique du sol uniforme.

5.2 Qualité de l'eau

L'irrigation des grandes cultures étant encore peu réalisé au Québec, seuls les grands principes seront présentés dans cette section. L'ouvrage « Gestion raisonnée de l'irrigation : guide technique » présente en détails tous les paramètres d'intérêt (Boivin et al., 2008). D'un point de vue agronomique, certains paramètres peuvent affecter la croissance des plantes, comme la présence d'herbicides et une salinité trop élevée.

Bien que la qualité de l'eau d'irrigation ne soit pas réglementée au Canada pour l'instant, le gouvernement fédéral et certaines instances gouvernementales provinciales ont émis des lignes directrices et des recommandations sur le sujet. Au Québec, les critères généralement considérés sont ceux du Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME), dont la majorité date de 1987. Ces critères de qualité de l'eau, émis en vue de protéger les utilisations de l'eau à des fins agricoles (abreuvement des animaux et irrigation), incluent des lignes directrices sur la teneur acceptable en composés chimiques organiques et inorganiques, physiques et microbiologiques. Le protocole d'élaboration de ces recommandations a été conçu pour assurer la protection des cultures sensibles susceptibles d'être exposées aux substances toxiques dans l'eau d'irrigation (CCME, 1999). Ces recommandations sont basées sur deux fondements : la sensibilité des cultures non visées et le taux maximal d'irrigation¹⁹ des cultures.

Différents indicateurs existent afin de mesurer la qualité d'un milieu aquatique, notamment la demande biochimique en oxygène et l'indice de santé benthos. La demande biochimique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques par voie biologique. Elle constitue une mesure clé pour évaluer la contamination organique d'une ressource hydrique. La consommation d'oxygène de l'échantillon provient de la dégradation des molécules organiques et de l'oxydation des molécules inorganiques comme les sulfures, les ions ferreux et les différentes formes de composés azotés. L'indice de santé benthos est un indicateur de l'intégrité d'un écosystème aquatique incluant la qualité physicochimique de l'eau et de l'habitat faunique. Il permet d'évaluer la santé des cours d'eau en examinant la composition des communautés de macro-invertébrés benthiques (insectes, vers, mollusques et crustacés) et de mesurer l'effet des pratiques agricoles.

5.2.1 Qualité physico-chimique

5.2.1.1 Pesticides

Le MDDELCC a mis sur pied un réseau de surveillance de la présence des pesticides dans plusieurs cours d'eau et puits pour l'eau souterraine, où des échantillons ont été pris régulièrement durant plusieurs années. Une série de rapports présentant les résultats de cette surveillance est disponible sur le site internet du Ministère (MDDELCC, 2018a). Les étangs d'irrigation peuvent aussi contenir des pesticides (Couture, 2010). Une étude de la firme TechnoRem (2008) a rapporté la présence de pesticides dans 16 des 17 étangs échantillonnés dans la région de la Montérégie-Ouest.

¹⁹ Taux maximal d'irrigation des cultures : L'emploi du taux maximum d'irrigation utilisé au Canada permet de reproduire les conditions au pire des cas et de s'assurer que la recommandation formulée s'applique à toutes les régions. La valeur utilisée par le CCME provient des besoins en eau d'irrigation de la vallée de l'Okanagan en Colombie-Britannique, soit 1200 mm par an (CCME, 1999).

5.2.1.2 Salinité

Les matières dissoutes totales, ou solides totaux dissous (exprimés en ppm ou mg/l), incluent les sels inorganiques et les petites quantités de matières organiques qui sont dissous dans l’eau. Leurs principaux constituants sont les **cations calcium, magnésium, sodium et potassium** et les **anions carbonate, bicarbonate, chlorure et sulfate**. Les **nitrate**s sont aussi particulièrement d’intérêt dans les eaux souterraines.

En agriculture, il faut porter une attention particulière au **sodium** : à des teneurs élevées, il influence la perméabilité du sol et l’infiltration de l’eau. En effet, le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d’argile, ce qui fait se disperser les particules de sol et éclater les agrégats. En conséquence, la compaction du sol augmente et l’imperméabilité de sa structure aussi (Couture, 2007). Il est possible de vérifier la salinité de l’eau d’irrigation et l’impact de son utilisation en calculant le **ratio d’absorption du sodium (RAS)**. Ce ratio tient compte des concentrations en calcium et en magnésium dans l’eau : lorsque le sodium est en trop fort excès par rapport aux deux autres éléments, l’utilisation de cette eau à des fins d’irrigation doit être restreinte. Le Tableau 2 présente les intervalles de valeurs acceptables pour l’irrigation.

Le RAS est calculé de la façon suivante :

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

où la concentration des éléments est exprimée en milliéquivalents par litre (meq/l).

Tableau 2 : Valeurs de salinité (RAS) et de conductivité acceptables pour l’eau d’irrigation.

RAS < 6	6 < RAS < 9	RAS > 9
Cette eau peut généralement être utilisée sans contraintes sur tous les types de sol.	Les risques d’accumulation de sodium augmentent ainsi que les problèmes potentiels de perméabilité. Un suivi dans le sol devrait être fait tous les 1 ou 2 ans.	L’eau ne devrait pas être utilisée pour l’irrigation, même si les concentrations totales en sels sont relativement basses.
si 4 < RAS < 6 et conductivité élevée (1,5 à 3,00 dS/m)		
Eau à utiliser avec prudence		

Certaines régions du Québec, notamment en Montérégie-Est, présentent des eaux souterraines saumâtres expliquées par les vestiges de la mer de Champlain, ce qui les rend souvent impropres à la consommation et à l’irrigation (MDDELCC, 2018b). Quant aux eaux de surface, c’est dans l’estuaire du fleuve Saint-Laurent, à la pointe est de l’île d’Orléans, que l’eau commence à être salée. Selon les marées, la zone de transition est perceptible plus à l’ouest, et l’eau peut y présenter des niveaux élevés en sels.

5.2.2 Qualité microbiologique

Certains microorganismes pathogènes pour l’humain peuvent se trouver dans l’eau et ainsi représenter un danger potentiel pour la santé publique : ce sont des **virus**, des **bactéries** ou des **parasites**. Ces microorganismes proviennent d’une contamination antérieure par des matières fécales d’origine humaine ou animale.

Les sources de contamination fécale de l’eau d’origine humaine sont, entre autres, des fosses septiques non étanches ou des épisodes de surverses d’eaux usées des agglomérations en amont d’un point de pompage d’eau de surface. Les épandages de fumiers ainsi que des sites d’entreposage non étanches constituent les principales sources de contamination par des effluents d’élevage. Il est à noter que les animaux sauvages peuvent aussi être porteurs de ces microorganismes.

La détection de tous les microorganismes qui sont potentiellement dangereux serait très dispendieuse et s’avère impossible. Pour cette raison, l’analyse de microorganismes indicateurs de contamination fécale est à privilégier. Ceux-ci signalent une contamination par des matières fécales relativement récente, ce qui sous-tend la présence possible de microorganismes pathogènes. Deux grands groupes existent, les coliformes totaux et les coliformes fécaux. Les coliformes totaux vivent dans

l'intestin des animaux à sang chaud, mais aussi dans l'environnement en général (sols, végétation et eau) et sont surtout utilisés pour évaluer l'efficacité d'un traitement de l'eau. Les coliformes fécaux, dont le principal représentant est la bactérie *Escherichia coli*, sont aussi couramment retrouvés dans les intestins des animaux à sang chaud. La plupart des souches sont inoffensives, mais certaines en revanche peuvent provoquer une intoxication alimentaire entraînant une maladie grave (certains groupes d'*E. coli* tels les *Shiga toxin-producing E. coli* (STEC)).

Les cyanobactéries, aussi appelées algues bleu-vert, peuvent aussi présenter un risque pour la santé des humains et des animaux. Lorsqu'elles meurent, ces microorganismes peuvent libérer des toxines qui sont néfastes pour la santé, notamment en causant des gastro-entérites et des irritations cutanées graves. La prolifération de ces microorganismes est particulièrement importante quand le phosphore est présent en trop grande quantité dans le milieu aquatique. En plus de restreindre l'eutrophisation des plans d'eau, il faut gérer le phosphore pour aussi ralentir la prolifération des algues bleu-vert.

5.3 Bibliographie

Boivin et coll., 2018. Gestion raisonnée de l'irrigation – Guide technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 312 p.

Boivin C., J. Vallée, S. Delmotte, S. Ricard, G. Jégo, A. Blais-Gagnon, M. Osina, C. Bossé et M. Crépeau. 2024a. Établir des balises techniques, économiques, sociales et environnementales concernant le recours à l'irrigation du maïs, du soya et des plantes fourragères. Rapport final, IRDA, 238 p.

Boivin C., A. Anderson, S. Ricard et J.T. Denault. 2024b. EstimEau : Un outil d'aide à la décision pour améliorer la gestion de l'eau et prévenir les conflits d'usage. Rapport final, IRDA, 109 p.

CCME. 1999. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection des utilisations de l'eau à des fins agricoles. Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, Winnipeg.

https://www.ccme.ca/fr/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/index.html

Couture, I. 2010. Suivi des pesticides dans cinq étangs d'irrigation dans la zone de production maraîchère des MRC les Maskoutains, Rouville et Brome-Missisquoi-Montérégie-Est. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 48 p. <https://www.agrireseau.net/legumeschamp/documents/97025/suivi-des-pesticides-dans-cinq-etangs-d-irrigation-dans-la-zone-de-production-maraichere-des-mrc-les-maskoutains-rouville-et-brome-missisquoi-montereg>

Couture, I. 2007. Analyse d'eau pour fins d'irrigation. Conférence présentée dans le cadre des Journées Agri-Vision 2003-2004. <https://www.agrireseau.net/petitsfruits/documents/analyse%20eau.pdf>

MDDELCC, 2018a. Impact des pesticides sur la qualité de l'eau. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/pesticides.htm>

MDDELCC, 2018 b. Rapport sur l'état de l'eau et des écosystèmes aquatiques au Québec. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/rapportsurleau/>

Nadon, S., D. Bergeron, C. Boivin et J. Vallée. 2016. « Création et validation d'un feuillet technique sur la performance de systèmes d'irrigation par aspersion et par goutte-à-goutte en champ ». Rapport final. IRDA. 59 p.

TechnoRem inc. 2008. Étude sur la qualité de l'eau des étangs de fermes et des cours d'eau utilisée pour fins d'irrigation dans la zone de production maraîchère des MRC Les Maskoutains, Rouville et Brome-Missisquoi (Montérégie-Est). 48 p.

MODULE 6. INTÉGRER DES PRATIQUES AGRICOLES ET DES SYSTÈMES CULTURAUX FAVORABLES À LA CONSERVATION DE L'EAU

Auteurs : Marc-Olivier Gasser, agr., Ph.D., et Alexandra Villeneuve, agr., IRDA

6 Introduction

Une bonne gestion de l'eau autant en termes de disponibilité en eau aux cultures que de qualité de l'eau en milieu agricole repose sur trois lignes de défense dans le champ, soit la gestion des intrants à la source et les pratiques de conservation de sols, seront discutés dans ce module. Le dernier concept lié aux pratiques permettant de limiter l'érosion, est présenté au module 7.

6.1 Première ligne de défense pour la conservation de l'eau en milieu agricole : réduire à la source les apports de nutriments en excès et optimiser l'utilisation des intrants

6.1.1 Réduire à la source les intrants dans l'alimentation

En régie d'élevage conventionnelle, les apports en certains éléments (l'apport en P minéral, par exemple) ou facteur de croissance (Cu, Zn, par exemple) dans la ration alimentaire peuvent être modulés ou contrôlés en fonction des performances zootechniques ou des risques sanitaires, ou encore en améliorant les modes d'alimentation (Pigeon, 2010). D'autres part, les odeurs et les rejets en azote ammoniacal peuvent être contrôlés en ajustant le programme alimentaire au besoin des porcs (Roch, 2004). Il existerait donc des moyens de contrôler à la source, le déséquilibre entre les éléments nutritifs utiles à la plante ou la surcharge de certains éléments dans les effluents d'élevage qui se retrouvent au champ en excès des besoins des cultures. En régie d'élevage biologique, l'ajustement de ces intrants au niveau de l'alimentation des élevages est moins évident et cet exercice demeure la responsabilité du nutritionniste.

6.1.2 Réduire les émissions d'ammoniac aux bâtiments

Il existe des opportunités autant en régie biologique que conventionnelle pour minimiser les émissions d'ammoniac aux bâtiments et à l'entreposage des fumiers pour conserver l'azote et augmenter le rapport N/P (azote/phosphore) des effluents pour mieux convenir aux besoins de plante. La séparation fèces-urines sous caillebotis en production porcine et l'acidification des lisiers sont des options en développement qui pourraient réduire les émissions d'ammoniac au bâtiment (Godbout et al., 2006).

6.1.3 Traiter ou séparer les phases du lisier sur les sites d'élevage excédentaires en phosphore

Dans les situations où la saturation des sols en phosphore de l'entreprise a atteint les limites prescrites, le traitement ou la séparation de phases du lisier peuvent devenir une option (Martin et Léveillé, 2008; Pelletier et al. 2001)). Dans les années 2000 à 2010, plusieurs technologies de traitements de lisiers de porc ont été étudiées, essayées et présentées en vitrine de démonstration chez les producteurs (Pigeon et al, 2010; Côté et al. 2007, Buon et Trahan, 2007). La rentabilité des systèmes est souvent fonction des volumes traités, des contraintes environnementales et des sous-produits qui pourraient être commercialisés, mais demeure une avenue importante à considérer pour exporter les nutriments en excès dans certaines régions vers des régions dont les sols sont moins fertiles.

6.1.4 Incorporer les déjections animales au sol

Les apports répétés d'engrais organiques peuvent causer une accumulation d'éléments fertilisant à la surface du sol s'ils ne sont pas incorporés. Cette situation d'accumulation en surface est moins problématique en régie biologique avec le labour plus fréquent. L'adoption de pratiques de conservation comme le travail réduit du sol et la culture d'engrais verts permet de réduire le ruissellement les risques d'érosion du sol, mais doit tout de même prendre en compte la gestion des engrais

organiques à la surface du sol. Ainsi, il est important d'incorporer rapidement les effluents d'élevage au moins avec un travail superficiel pour réduire les émissions d'ammoniac et les pertes d'azote et de phosphore hors du champ en plus d'augmenter le prélèvement de ces mêmes nutriments par la plante (Gasser et al. 2017).

6.1.5 Viser des périodes d'épandages où les nutriments seront valorisés

La meilleure période pour valoriser l'azote des engrais de ferme viserait à synchroniser la mise en disponibilité de cet azote avec le moment où les prélèvements de la plante sont les plus importants soit en pleine saison de croissance. À l'inverse, lorsque les applications d'engrais ne sont pas synchronisées avec les besoins des plantes, elles peuvent conduire à des pertes importantes d'éléments fertilisants et autres contaminants dans l'environnement. Les applications d'engrais en post levée dans le maïs par exemple sont souhaitées pour augmenter les prélèvements en azote par la plante et réduire les risques de ruissellement et de lessivage de l'azote, du phosphore et autres contaminants.

Tôt au printemps, l'impact de la circulation des épandeurs sur la compaction des sols est plus à risque, étant donné l'état généralement saturé des sols en eau à la sortie de l'hiver. Les épandages de printemps pourraient ainsi conduire à des baisses de productivité des sols et réduire l'efficacité des engrais. À l'automne, les sols peuvent être plus portants, favorisant les épandages en post récolte. De fait, une ligne directrice publiée à l'Ordre des agronomes du Québec (OAQ) favorise, pour le cas des lisiers et autres fumiers à teneur élevée en azote ammoniacal, un épandage le plus tard possible à l'automne tout en respectant certains critères de conditions d'enneigement et de portance du sol (OAQ, 2011). Cette pratique permettrait de profiter des baisses de températures ralentissant l'activité microbienne responsable de la minéralisation et de la nitrification de l'azote entre autres et diminuant potentiellement les pertes d'azote par lessivage ainsi que les émissions gazeuses. Toutefois, les engrais de ferme épandus à la surface du sol à l'automne seront exposés aux épisodes de ruissellement et d'érosion aux moments des redoux hivernaux et à la fonte de neiges au printemps, s'ils ne sont pas incorporés. En revanche, un sol travaillé à l'automne est plus sensible à l'érosion qu'un sol couvert par des résidus ou une culture de couverture. Pour ces raisons, la meilleure période pour valoriser les engrais de ferme et limiter leur impact sur la qualité de l'eau demeure celle en pleine période de croissance lorsque c'est possible.

6.2 Deuxième ligne de défense pour la conservation de l'eau en milieu agricole : protéger les sols et améliorer la capacité de rétention en eau et la fertilité des sols

La conservation de l'eau en milieu agricole est fortement tributaire de la protection des sols et de leur capacité à retenir l'eau et les nutriments dans leur profil. Les résultats présentés dans le rapport 2 de l'EESSAQ démontrent que la santé des sols et la conservation de ces propriétés sont fortement influencées par l'usage des sols et les pratiques agricoles (Gasser et al., 2023b). L'effet bénéfique des pratiques de conservation telles que le travail réduit (ou semis direct), la couverture de sols, la présence de cultures pérennes et la réduction des risques de compaction est bien mis en évidence dans les conditions réelles des exploitations agricoles à l'échelle du Québec. Il apparaît aussi évident que la teneur en M.O. de l'horizon de surface est un facteur clé du maintien de la santé des sols, ce facteur étant fortement lié à la plupart des autres indicateurs de la santé des sols. Toute pratique qui favorisera une augmentation de la teneur en M.O. et améliorera la structure du sol et son aération favorisera la conservation de l'eau en milieu agricole. Le rapport 3 de l'EESSAQ propose sept domaines d'intervention dans lesquels il est possible de mettre en place des pratiques bénéfiques reconnues (travail réduit, apports de matière organique, couverture du sol, diversification des cultures, réduction de la compaction, fertilisation raisonnée, etc.) que nous avons regroupé ici en quatre recommandations (Gasser et Angers, 2023).

6.2.1 Intégrer des cultures pérennes et des cultures de couverture en automne

L'EESSAQ a permis de comparer divers systèmes de cultures intégrant ou non des cultures pérennes, annuelles et maraîchères (Gasser et al., 2023b). L'effet bénéfique de la présence de cultures pérennes dans la rotation sur les indicateurs de santé de sols a clairement été démontré, par rapport aux rotations incluant seulement des cultures annuelles ou maraîchères. La réintroduction des cultures pérennes en rotation avec les cultures annuelles demeure un défi. Certaines pistes de solution ont été proposées, mais peu nombreuses sont celles qui ont atteint la maturité nécessaire ou ne posent pas de réels défis à l'adoption par les producteurs (Gasser et Angers, 2023). Avec les changements climatiques et le

réchauffement, il importe aussi de mettre en place des mécanismes pour maintenir les superficies sous cultures pérennes dans les régions plus froides pour ralentir la minéralisation de la matière organique et la dégradation des propriétés des sols sous l'expansion de cultures annuelles comme le soya (Gasser et al., 2022).

L'importance d'une couverture du sol, sous forme de culture de couverture ou de résidus de culture, pour le maintien de la santé des sols dans l'horizon de surface est généralement reconnue. (Wood and Bowman, 2021; Turmel et al., 2015). Le maintien d'une couverture végétale permanente ou d'un paillis apporte une source de matière organique fraîche constante, favorise l'activité biologique, ainsi que le maintien de la structure du sol et de ses propriétés hydrauliques. Elle réduit également la formation de croûte de battance, favorise l'infiltration de l'eau, réduit le ruissellement et les risques d'érosion, et finalement augmente la réserve en eau dans le sol. L'effet des cultures de couvertures sur la productivité des cultures est aussi bien démontré (Bourgeois et al., 2021). L'indice de sol à nu utilisé comme indicateur de pression des pratiques agricoles dans le rapport 2 de l'EESSAQ (Gasser et al., 2023b), montre un lien fort entre cet indicateur et la santé des sols, en particulier la teneur en M.O. et les propriétés qui y sont liées (DMP, C et N potentiellement minéralisables). Plus les sols sont travaillés et laissés dénudés, plus les teneurs en M.O. sont faibles dans les horizons Ap1 et Ap2 et à l'inverse la masse volumique apparente (MVA) et les teneurs en P sont plus élevées. Ces effets sont même apparents dans l'horizon B.

Que ce soit pour le contrôle de l'érosion ou le maintien de l'activité biologique dans les sols sur une plus longue période de l'année, il est recommandé de maintenir au minimum 30 % de couverture à la surface du sol soit après les semis ou au moins jusqu'après la fonte des neiges au moment où les épisodes de ruissellement sont les plus intenses (Massicotte et al., 2000). Cette couverture peut prendre la forme de cultures de couverture ou de résidus de culture. La récolte des résidus de cultures (pailles, tiges, etc.) doit être évitée pour maintenir un bon niveau de résidus à la surface du sol des et des pratiques de non-travail ou de travail réduit du sol doivent être adoptées pour conserver ces résidus à la surface.

6.2.2 Diversifier les espèces en grandes cultures

La diversification des cultures est un des piliers de l'ACS (agriculture de conservation des sols). Au niveau agronomique, il existe de nombreux bénéfices liés à la diversification des cultures, en particulier pour le contrôle des ravageurs. Cependant, son impact sur la santé des sols est moins clair, en particulier dans le cas des systèmes de grandes cultures strictement annuelles. Veum et al. (2022) ont montré que la diversification des cultures annuelles favorisait la santé des sols, mais seulement dans les cas où plus de deux cultures étaient présentes dans la rotation. La fréquence de certaines cultures dans la rotation, plus particulièrement la monoculture peut exercer certaines pressions sur les sols et contribuer à leur dégradation (Tabi et al., 1990). Une étude réalisée en parcelles expérimentales de longue durée en Ontario a démontré par exemple que la fréquence de la culture de soya dans la rotation avait un effet négatif non seulement sur les indicateurs de santé des sols reliés à la matière organique, mais aussi sur le rendement du soya lui-même (Agomoh et al., 2021).

6.2.3 Accroître l'utilisation des techniques de travail de sol réduit ou du semis direct

Il est bien reconnu que le travail intensif et répété du sol conduit à long terme à la dégradation des propriétés du sol. Un travail occasionnel du sol l'aère, favorise l'activité microbienne, la décomposition de la matière organique et la minéralisation de nutriments utiles à la plante. Toutefois, le travail répété et intensif dégrade la structure et réduit la teneur en matière organique, l'activité biologique et la capacité du sol à retenir et fournir des nutriments. Au contraire, l'adoption de pratiques de conservation comme le semis-direct ou le travail réduit du sol permet d'atténuer ces effets. Plusieurs études réalisées au

Québec et à l'international ont mis en évidence l'effet bénéfique du travail réduit et du semis-direct sur la quantité et la qualité de la matière organique, l'activité biologique et la stabilité structurale des sols, en particulier dans l'horizon de surface. L'impact de ces pratiques de travail simplifié sur la masse volumique apparente (MVA) est moins clair. Les sols sous semis-direct sont souvent plus denses pendant les premières années mais récupèrent au fil des années.

Les résultats de l'analyse présentée dans le rapport 2 de l'EESSAQ montrent bien l'effet positif du travail réduit et du semis-direct sur la santé des sols, en particulier sur la teneur en M.O. et ses composantes (C et N potentiellement minéralisables et le diamètre moyen pondéré des agrégats (DMP)). La MVA a tendance à être plus faible sous semis direct, mais les effets ne sont pas significatifs. Dans bien des situations, le travail de sol est inévitable. Par exemple, plusieurs cultures maraichères

semées en plantules et la pomme de terre nécessitent une préparation de lit de semence avec une perturbation mécanique du sol. Le sarclage mécanique comme régie de contrôle des adventices est particulièrement agressif sur le sol et pratiquement inévitable en régie biologique pour éviter l'usage d'herbicide.

Notons toutefois que plusieurs techniques sont proposées pour contrôler les adventices et réduire cette intensité du travail de sol avec le recours à des cultures de couvertures et du travail réduit. L'épandage des effluents d'élevage au champ nécessite une incorporation rapide sinon instantanée des effluents pour réduire les émissions d'ammoniac et augmenter leurs valeurs fertilisantes en azote. De même, l'incorporation des effluents au sol augmente les surfaces de contact avec le sol, la sorption des éléments fertilisants comme le phosphore et réduit les risques de ruissellement de ces éléments.

En régie biologique, les pratiques de travail réduit sont parfois moins évidentes, mais des travaux et des expériences de producteur ont réussi à démontrer certaines alternatives viables. Le projet Adoption de pratiques innovantes visant à assurer une couverture hivernale des sols chez les producteurs et productrices de grains biologiques mené par le CETAB+ avec la FPGQB visait justement à promouvoir certaines techniques pour réduire le travail de sol et assurer une couverture hivernale des sols. En voici quelques-unes étudiées :

- Maïs-grain non labouré et scalpage au sarclage lourd pour le semis du soya
- Soya sur seigle roulé
- Inclusion des cultures de couverture et techniques de travail réduit (Orbis et strip-till)
- Destruction du trèfle rouge à l'automne sans labour
- Travail réduit dans le maïs-grain
- Techniques de semis-direct en GCB
- Gestion du trèfle par scalpage à l'automne
- Gestion de la rotation sans utilisation du labour
- Semis avoine-pois sans travail de sol à l'automne
- Blé automne dans du chanvre. Essai de canola d'automne

Plusieurs initiatives et stratégies de conservation des sols pour garder les sols couverts durant l'hiver misent sur le recours aux cultures de couvertures et aux engrais verts pour réduire la pression des adventices.

6.2.4 Améliorer la gestion des machineries agricoles afin d'éviter la compaction et la dégradation des sols

Le maintien d'une bonne santé physique des sols est absolument essentiel pour assurer une bonne gestion de l'eau au champ. Or, de grandes superficies de sols agricoles au Québec ont une structure dégradée et sont dans un état de compaction assez avancé. La dégradation de la structure, indiqué par une baisse de macroporosité (l'équivalent de l'espace occupé par l'air alors que la teneur en eau du sol est à la capacité au champ), avait été identifiée comme le principal problème affectant les sols au Québec dans le dernier inventaire exhaustif réalisé en 1990. La compaction des sols, indiqué par une hausse de la masse volumique apparente (MVA) avait également été signalé comme étant un problème majeur, concernant plus de 100 000 ha de terres (Tabi et al., 1990).

Il s'agit d'un enjeu majeur dans un contexte d'amélioration de la gestion de l'eau, puisqu'un sol compact a moins d'espaces poreux et moins de connectivité entre ces pores, réduisant du même coup la circulation de l'eau et de l'air. En résulte des problèmes d'infiltration lors d'événements pluvieux et des problèmes de rétention lors d'épisodes de sécheresse. Un seuil de macroporosité de 10 %, ou $0,10 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ est généralement accepté pour signaler une limitation d'aération – et donc de circulation d'eau – dans le sol. Cependant, dans la plupart des sols argileux et loameux cultivés du sud du Québec, la macroporosité se trouve sous ce seuil (Gasser et al., 2023). Cette situation est d'autant plus préoccupante lorsqu'elle survient en profondeur, puisque la décompaction d'un sol profond est difficile, voire impossible à réaliser à court terme. Même les sols sableux et légers sont à risque de compaction en profondeur, les sols sableux cultivés étant pour la plupart plus compacts que les sols témoins.

Dans le cadre des travaux de l'EESSAQ, un indice du risque de compaction a été développé afin de mesurer quantitativement l'impact réel que peut avoir le parc de machinerie agricole sur l'état de santé physique des sols. Cet indice a été calculé pour chaque opération culturale, et puis cumulé pour une année et une rotation complète de cinq ans. Une valeur de base a été

attribuée à chaque opération, une faible valeur étant attribuée à une opération ayant peu d'effet sur la compaction du sol (i.e. passage d'une déchaumeuse) et une valeur élevée à une opération ayant plus d'effet (i.e. passage d'une citerne à lisier). Cette valeur a ensuite été pondérée selon un ensemble de facteurs : la période de chaque opération, le poids de la machinerie utilisée et le nombre de passages. L'indice a été revu à la baisse pour les facteurs limitant le risque de compaction, tel que l'utilisation de pneus radiaux, d'un système de GPS RTK et la présence de voies réservées au champ.

Cet indice a permis de mettre en évidence la corrélation entre le recours à une machinerie lourde et perturbatrice pour le sol et l'état de dégradation de la structure et le niveau de compaction. En effet, lorsque l'indice indique un risque de compaction élevé, la MVA est significativement plus élevée, à la fois en surface et en profondeur jusque dans l'horizon B, soit environ 40 cm. La macroporosité est également affectée, dans une moindre mesure. Le diamètre pondéré des agrégats (DMP), indicateur qui permet de quantifier le niveau d'agrégation du sol et ainsi sa stabilité structurale, est significativement plus faible plus le risque de compaction est élevé. Ce constat est particulièrement important dans la mesure où les agrégats jouent un rôle crucial dans la rétention en eau et le bon mouvement de l'eau dans le sol. La conductivité hydraulique est également affectée par le risque de compaction, et ce particulièrement dans l'horizon B des sols argileux, où, avec un risque de compaction élevée, la conductivité baisse bien en deçà de 10 cm/jour, seuil utilisé dans certains pays d'Europe pour indiquer un seuil limitant la capacité de circulation de l'eau (van Beek et Toth, 2012).

Le meilleur moyen d'éviter la détérioration de la santé physique des sols reste de limiter, à la source, le nombre de passages de machineries lourdes au champ. Bien évidemment, en pratique, il est souvent difficile d'y arriver. Certaines solutions mises de l'avant, tel que le remplacement des citernes à lisiers par des systèmes d'irrigation, peuvent s'avérer coûteuses et laborieuses, et donc leur implantation est peu réaliste à grande échelle. Cependant, de petits ajustements, tel que d'optimiser les passages de machinerie dans des périodes où les sols sont moins susceptibles à la compaction, peuvent également avoir une grande incidence. Dans ce contexte, l'implantation de cultures avec des saisons de croissances plus courtes, qui permettent de faire moins d'interventions dans les périodes généralement humides du début du printemps et de la fin de l'automne, sont à privilégier. Les céréales d'automne sont un excellent exemple de meilleure répartition des ouvrages au champ, puisqu'il y a peu d'interventions à effectuer en période critique.

Outre l'utilisation de pneus radiaux, fortement recommandée, la pression des pneus de l'équipement agricole est également un élément majeur pour éviter la compaction. Pour éviter que le sol ne se déforme jusqu'en profondeur, la pression du pneu ne devrait pas dépasser 0.5 bar (~15 PSI), et le poids à la roue ne devrait pas dépasser 3500 kg pour des roues simples, 3000 kg pour des roues jumelées et 2700 kg pour des roues triples (Schjønning et al., 2012). Le réaménagement de chemins de ferme, ou le contrôle du trafic au champ par l'utilisation de GPS RTK afin d'éviter de rouler sur des lieux sensibles ou déborder des chemins attribués sont également des éléments importants, surtout lorsque les équipements (citerne, batteuses) sont pleins et lourds.

6.3 Conclusion

L'adoption de certaines pratiques de conservation crée des effets antagonistes, par exemple :

- La gestion des effluents d'élevage complique la réduction du travail de sol et la présence d'une couverture végétale, s'il faut incorporer les fumiers pour éviter le ruissellement des contaminants.
- Il est difficile de réduire le travail du sol tout en gardant le contrôle des adventices, surtout sans recours aux herbicides et produits de synthèse.
- La gestion des cultures de couverture implique parfois une augmentation du trafic de la machinerie et des besoins en intrants de synthèse.

D'un autre côté, plusieurs pratiques de conservation peuvent se combiner avantageusement, par exemple :

- La présence d'une culture de couverture peut :
 - limiter la croissance des adventices et, par ricochet, réduire les besoins de travailler le sol (désherbage);
 - couvrir le sol pendant l'hiver pour le protéger contre la battance et l'érosion;
 - favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol et réduire les risques d'érosion et de ruissellement;

- réduire les risques de compaction avec une surface plus portante en présence de végétation.
- Le travail de sol en bande ou sur billons peut limiter et alterner la zone de travail du sol.

Bref, il faut tenter d'intégrer les meilleures pratiques sans créer d'antagonisme et en sachant faire des compromis.

6.4 Bibliographie

Buon, E., et Trahan, M. 2007. Bilan des traitements des lisiers au Québec. Revue Porc Québec. pp 35-38.

Côté, C., N. Aktouche, S. Godbout, D.I. Massé, Y. Bernard, R. Chabot, A.M. Pourcher et J. Martinez. 2007. Impact des systèmes de traitement des lisiers sur la qualité microbiologique du sous-produit liquide. IRDA. Rapport final. Projet 604016. 80 p. + Annexes. https://irda.blob.core.windows.net/media/2060/cote-et-al-2007_rapport_effluents_syst_traitement_lisiers.pdf

Martin, D.-Y. et Léveillé, F. 2008, juillet. Avantages d'un séparateur décanteur-centrifuge pour séparer les lisiers de porc. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. <https://www.irda.qc.ca/fr/telechargement/?s=3599>

Gasser, M.-O., Bossé C., Clément, C.C., Bernard, C., Grenon., L., Mathieu, J.-B., Tremblay, M.-E. 2023a. Rapport 1 de l'Étude sur l'état de santé des sols agricoles du Québec : État de santé des principales séries de sols cultivées. Rapport final présenté au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ). IRDA. 190 pages. <https://irda.blob.core.windows.net/media/8122/eessaq-rapport-1-final-juin2023.pdf>

Gasser, M.-O., Clément, C.C., Mathieu, J.-B., Chavez, E., Bossé C., Bernard, C., Tremblay, M.-E. 2023b. Rapport 2 de l'Étude sur l'état de santé des sols agricoles du Québec : Effets des pratiques agricoles et des conditions biophysiques sur la santé des sols et la productivité des cultures. Rapport final présenté au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ). IRDA. 54 pages. https://irda.blob.core.windows.net/media/8118/irda_eessaq_rapport2_mai2023.pdf

Gasser, M.-O. et D. Angers. 2023c. Rapport 3 de l'Étude sur l'état de santé des sols agricoles du Québec : Stratégies et interventions pour améliorer la santé des sols. Rapport final présenté au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. IRDA. 15 pages. https://irda.blob.core.windows.net/media/8898/irda_eessaq_rapport3_novembre2023.pdf

Gasser, M.-O., Biswas, A., Bernard, C., A., Martinelli, G., Easher, T.H. et Ondo Z.A. 2022. Projection de l'évolution de la matière organique et de la santé des sols sous climat futur à l'échelle du Québec et de l'Ontario. Rapport final. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Québec. 65 p. + annexes.

Gasser, M.-O., M.-E Tremblay, M. Girard, S. Martel et A. Levesque. 2016. Efficacité agronomique et environnementale de l'incorporation immédiate des lisiers sous cultures annuelles en semis direct et en travail conventionnel du sol. Rapport final. IRDA. 52 pages + annexes. <https://www.irda.qc.ca/fr/telechargement/?s=3976&r=/fr/publications/>

Godbout, S., Turgeon, M.-J., Belzile, M., Pouliot, F., Dufour, V., Lemay, S.P. 2006. Séparation des lisiers de porcs au bâtiment - Trois technologies à l'épreuve. Porc Québec. https://www.agrireseau.net/porc/documents/Recherche_separation-lisier.pdf

Pigeon., S. 2010. Guide des technologies de traitement de lisier de porcs. BPR. Inc. 81 p.

Roch, G. 2004. La régie alimentaire - Peut-on réduire les odeurs dans les élevages porcins en intervenant sur l'alimentation? Journée d'information provinciale Les odeurs et la production porcine : les solutions accessibles Drummondville, CRAAQ, 27 janvier 2004. https://www.accesporcqc.ca/nsphp/portail/publications/pub_dl.php?dir=469&download=journaedinformationprovinciale-lesodeursetlaproductionporcine-lessolutionsac.pdf

Tabi M., Tardif, L., Carrier, P., Laflamme, G. et Rompré, M. 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Rapport Synthèse. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Publication no 90-130156. 65 p.

Wood, S.A., Bowman, M. (2021). Large-scale farmer-led experiment demonstrates positive impact of cover crops on multiple soil health indicators. Nat Food 2, 97–103. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00222-y>

Schjønning, P. Lamandé, M., Keller, T. Perdesen J. et Stettler, M. 2012. Rules of thumb for minimizing subsoil compaction. *Soil Use and Management*, 28. DOI :10.1111/j.1475-2743.2012.00411.x.

van Beek, C. et Tóth, G. (Eds.) 2012. *Risk Assessment Methodologies of Soil Threats in Europe*. Publications Office of the European Union. EUR – Scientific and Technical Research series. 84 p. doi: 10.2788/47096

Veum, K. S., Zuber, S. M., Ransom, C., Myers, R. L., Kitchen, N. R., et Anderson, S. H. 2022. Reduced tillage and rotational diversity improve soil health in Missouri. *Agronomy Journal*, 114, 3027–3039. <https://doi.org/10.1002/agj2.21156>

MODULE 7. METTRE EN PLACE DES AMÉNAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES

Auteure : Alexandra Villeneuve, agr., IRDA.

7 Introduction

7.1 Troisième ligne de défense pour la conservation de l'eau en milieu agricole : limiter l'érosion

7.1.1 Aménagement du réseau hydraulique

L'objectif principal du réseau hydraulique est d'évacuer les surplus d'eau provenant de l'intérieur du champ vers l'extérieur de celui-ci.

7.1.1.1 Nivellement

Le nivellement peut être tout indiqué pour les parcelles ayant des excès d'eau causés par un mauvais drainage de surface latéral, chose pouvant aussi devenir un enjeu d'infiltration en conséquence d'une compaction créée par l'humidité systématiquement excessive. Son principe est d'adoucir le relief d'un champ dans l'objectif de combler les micro-dépressions où s'accumulaient jadis de l'eau et de rediriger le ruissellement d'une manière plus efficace vers les exutoires. Lorsque des dépressions importantes existent (ex. : vallons, coteau ou cuvette excédant une superficie de 50 m), il est presque toujours préférable de planifier l'aménagement de structures de captage pour recevoir l'eau qui s'y accumule que de chercher à aplanir²⁰ ou remplir ces zones. Il demeure que les interventions de nivelage et la mise en place de telles structures sont souvent complémentaires et méritent d'être réfléchies dans un même souffle. Dans tous les cas, le résultat doit permettre de limiter l'érosion, de prime abord en minimisant les quantités de sol arable déblayé, et d'éviter au possible la création de pentes très longues ou inférieures à 0,1 %.

Selon la perméabilité du sol et la pente générale du champ, il peut être favorable d'aménager des planches rondes, en faîtes ou encore d'aplanir l'ensemble du terrain. Pour les parcelles reposant sur un horizon imperméable près de la surface ou étant globalement d'une faible perméabilité (infiltration de < 1 m/jour), il s'agit souvent d'excellents candidats au nivellement, particulièrement celui en planches. Leur taux élevé de ruissellement peut justifier rapidement une amélioration de la surface du terrain.

À noter qu'il est normal d'observer un refoulement des zones remblayées et qu'il peut être nécessaire d'effectuer un second nivellement pour obtenir les résultats désirés, en particulier dans les sols argileux et limoneux.

Différents outils peuvent être utilisés pour réaliser le nivellement en fonction des attentes de résultat. Dans les situations nécessitant un gros déplacement de sol, l'utilisation en premier lieu d'une sole ou d'un bulldozer sans laser ou GPS permettant un travail à charge intense peut être préférable. Une fois le refoulement effectué, ou bien dans le but de modeler des planches à très faible pente (< 1 %), il est plus approprié d'utiliser une lame munie d'un laser ou GPS.

Pour plus de détails au sujet du nivellement, les documents suivants sont pertinents :

- Comment évacuer l'eau des champs; Guillou (2009).
- Formation drainage de surface par Savoie (2009).

7.1.1.2 Voie d'eau aménagée

L'aménagement de voie d'eau est d'intérêt pour des parcelles ayant un mauvais drainage de surface latéral et dont les interventions en nivellement ne suffisent pas ou ne sont pas appropriés (ex. : risque d'érosion élevé, relief trop irrégulier) pour rediriger l'ensemble des accumulations d'eau vers les exutoires. Le principe est alors de créer une voie dans laquelle

²⁰ Lors de travaux de nivellement, il n'est pas recommandé de déblayer plus de 15 cm de sol ni l'équivalent de l'ensemble de l'horizon A.

l'eau aura préférentiellement tendance à circuler pour s'évacuer, parfois directement vers un exutoire, mais parfois aussi vers une structure de captage ou de sédimentation. Une telle voie d'eau peut prendre différentes formes : raie de curage, rigole d'interception ou fossé.

Engazonnement d'une voie d'eau

La raie de curage comme la rigole d'interception peuvent être engazonnées, ceci est même généralement recommandé afin de ralentir la vitesse de circulation de l'eau et d'augmenter la résistance de la surface à l'érosion.

Raie de curage

Il s'agit de la voie d'eau qui est *de facto* aménagée entre les planches. Elle est parallèle à la pente générale du champ. Elle peut être traversée par la machinerie.

Rigole d'interception

Perpendiculaire à la pente générale du champ, c'est la voie d'eau qui entre-coupe les raies de curage, autrement dit, celle qui « intercepte » l'eau provenant de l'amont. Elle peut aussi être traversée par la machinerie.

Fossé

Le fossé est la seule voie d'eau ne permettant pas le passage de la machinerie. Il recueille et évacue l'eau provenant de la surface du champ (drainage de surface latéral). Très souvent, il sert également à recueillir l'eau captée par les drains souterrains. Dans des champs non-drainés souterrainement, ils peuvent parfois avoir comme objectif d'abaisser la nappe phréatique.

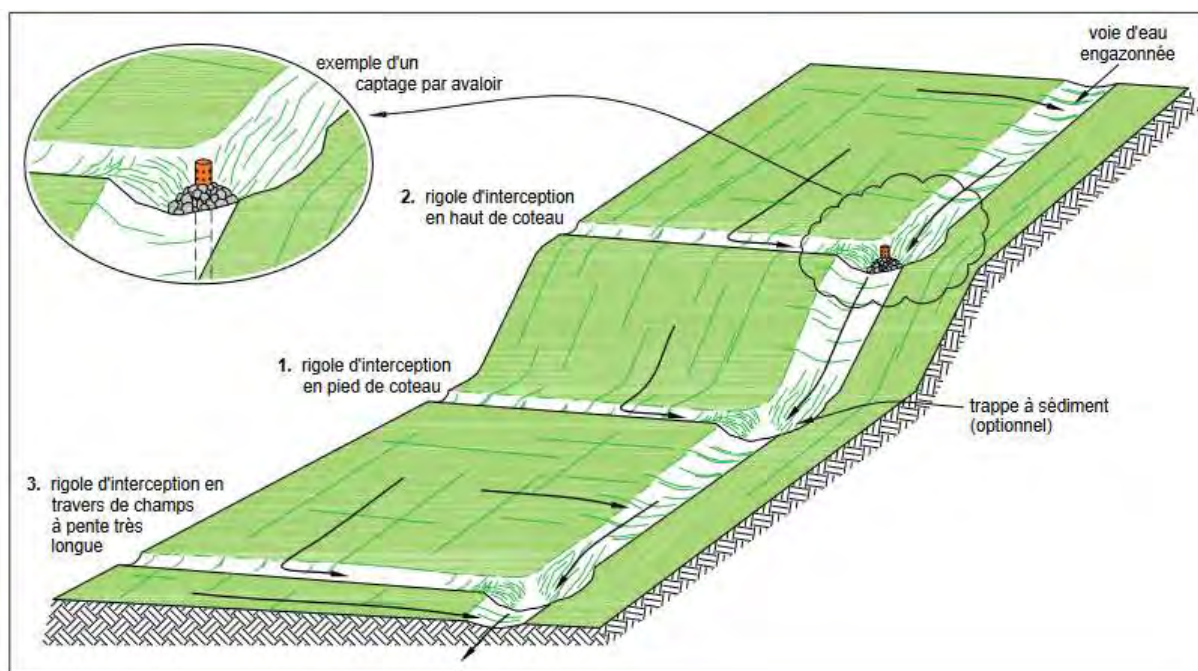


Figure 24. Schéma présentant des exemples d'aménagement de captage d'eau- Adapté de MAPAQ (2008)

Pour plus de détails au sujet de l'aménagement de voies d'eau, les documents suivants sont pertinents :

- Fiche technique « Dimensionnement des voies d'eau engazonnées », MAPAQ (2008)
- Fiche technique « Voies d'eau et rigoles d'interception engazonnées », MAPAQ (2008)

7.1.2 Mise en place de structures de captage et de sédimentation

Ce type d'aménagement a comme objectif de capter les surplus d'eau avant de les réacheminer vers le réseau hydraulique

7.1.2.1 Avaloir

L'avaloir coupe la route et capte les excédents d'eau en surface provenant du ruissellement. Il réachemine cette eau vers une sortie.

7.1.2.2 Bassin de sédimentation

L'objectif principal du bassin de sédimentation est de limiter la perte de sol hors du champ. Le principe est de concentrer le ruissellement de surface en un endroit choisi et qui constitue le bassin de rétention en soi. Sa superficie peut être très variable selon les caractéristiques du champ et les objectifs plus précis qu'on veut rencontrer. Entre autres, le temps de dépôt des particules de sol dans le fond du bassin prend plus ou moins de temps selon la grosseur de ces dernières : le sable sédimente plus rapidement que le limon et l'argile.

7.1.2.3 Tranchée filtrante

Cet aménagement est souvent tout indiqué dans les contre-pentes d'un champ où le ruissellement tend à s'accumuler et stagner, et ce tout en permettant le passage de la machinerie. L'idée est de creuser une tranchée d'une profondeur et d'une largeur suffisante pour y déposer un drain dans le fond et le recouvrir d'un matériel filtrant qui facilite l'infiltration de l'eau.

7.1.3 Protection des confluences

Il s'agit ici de protéger l'ultime sortie des surplus d'eau provenant du réseau hydraulique. On fait donc référence à l'ouvrage se déversant directement dans un cours d'eau, mais aussi aux bandes riveraines. L'objectif est de protéger la zone de confluence entre le réseau hydraulique agricole et le milieu hydrique dit extérieur ou naturel. Cette zone subit une forte pression érosive : elle doit être stabilisée.

7.2 Bibliographie

Beaulieu, R., Breune, I. et Guillou, M. (2007, avril). *Tranchées filtrantes*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/TrancheesFiltrantes_FR_web.pdf

Chabot, R. et coll. (2022). *Diagnostic et drainage souterrain des terres agricoles – Guide technique*. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-diagnostic-et-drainage-souterrain-des-terres-agricoles/p/PING0102-C02>

Conseil des productions végétales du Québec. (1994). *Fossés de ferme*. <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/02-9405.pdf>

Guillou, M. (2009). Comment évacuer l'eau des champs. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec [Comment évacuer l'eau des champs ? | Légumes de champ- Agri-Réseau | Documents](#)

Guillou, M. (2008, septembre). *Voies d'eau et rigoles d'interception engazonnées*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/VoiedEauEngazonnees_FR_web.pdf

Guillou, M. (2013, mai). *Bassin de stockage d'eau et de sédimentation : Concept et dimensionnement*. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

<https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Fiche%20bassin%20s%C3%A9dimentationVF20130729.pdf>

Savoie, V. 2009. Le drainage de surface. Formation pour l'OAQ.

<https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/drainageformation2009-2010.pdf>



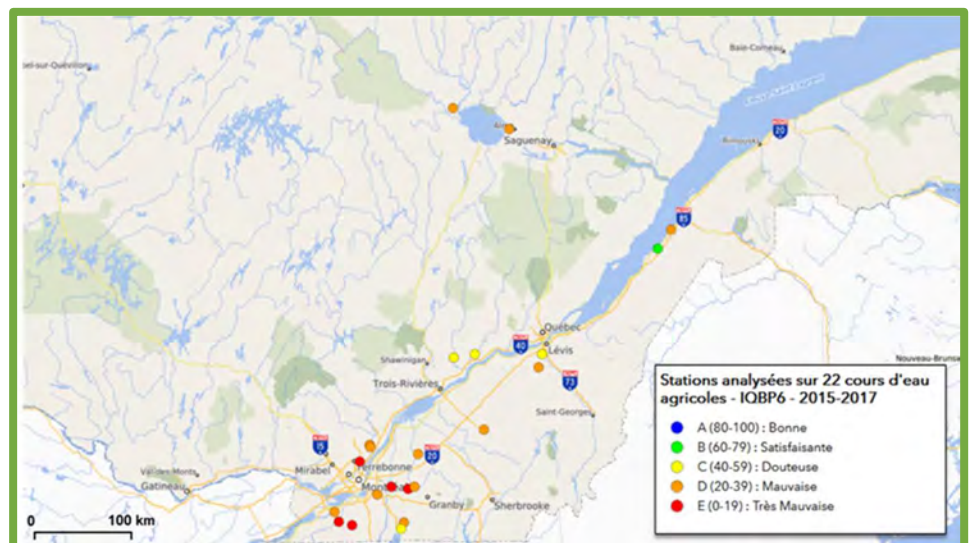
Protection des cours d'eau au Québec

i Quelques constats

- Le Québec agricole jouit d'un **climat continental humide**. Les précipitations totalisent annuellement en moyenne 1000 millimètres (75 % sous forme de pluie)
- Environ **75 % des pertes annuelles** en sédiments par érosion ont lieu **à la fonte des neiges**, majoritairement par des volumes d'eau évacués hors de la saison culturale par ruissellement ou via les drains souterrains
- Dans les champs drainés souterrainement, **83 à 98 % des pertes de nitrates sont évacuées via les drains**. Plus de la moitié de ces pertes ont lieu en période hivernale
- Pour le phosphore, on parle de **pertes** par les drains variant **entre 30 et 40 %**
- **Les prairies rejettent deux fois moins de phosphore** via les drains souterrains que les champs en cultures annuelles (maïs et soya)

Santé des cours d'eau

L'agriculture a des impacts sur les milieux aquatiques. Le gouvernement du Québec surveille la qualité de 22 cours d'eau en milieu agricole au moyen de critères tels l'azote, le phosphore, les coliformes fécaux ou les matières en suspension. On observe aussi l'état de différentes communautés d'organismes tels que les diatomées, des algues microscopiques qui tapissent le fond des cours d'eau.



Mesurer la diversité et l'abondance relative de ces espèces indicatrices renseigne sur le niveau d'intégrité biologique d'un cours d'eau.

3 stratégies pour prévenir et réduire la pollution agricole diffuse

1. Réduire la pollution à la source
2. Améliorer la capacité de rétention des sols et limiter l'érosion en maintenant une couverture de sol
3. Protéger les abords des cours d'eau par des aménagements et la création de zones tampon



10 questions à se poser :

1. Taux de saturation en phosphore : les sols présentent-ils un taux de saturation dépassant ou s'approchant des seuils environnementaux critiques?
2. Ouvrages de stockage des déjections animales : les fosses sont-elles étanches et d'une capacité suffisante?
3. Moment des épandages d'engrais organiques : se font-ils à moindre risque, quand la période d'épandage minimise les pertes par volatilisation et lessivage?
4. Méthode d'épandage des engrais organiques : les fumiers ou lisiers sont-ils incorporés immédiatement?
5. Matière organique et qualité physique du sol : la matière organique est-elle faible et la structure du sol dégradée, par exemple par de la compaction?
6. Rotation : inclut-elle au moins trois espèces de différentes familles botaniques?
7. Couverts végétaux : les champs sont-ils couverts pendant l'hiver, au minimum de résidus, pour limiter l'érosion?
8. Érosions : des signes d'érosion comme un décrochement, un fossé rempli de terre, de la battance ou une ravine sont-ils visibles?
9. Relief et nature du sol : ces caractéristiques rendent-elles le champ propice à l'érosion?
10. Bandes riveraines : sont-elles de qualité, de largeur conforme voire au-delà, avec un talus solide?

Partenaires financiers et de réalisation

Le projet intitulé « Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques : objectif terrain » a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert. L'équipe tient également à souligner la contribution du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec.



Une réalisation de

Carl Boivin, agr., M.Sc.
Catherine Bossé, agr.
Caroline Côté, agr., Ph.D.
Marc-Olivier Gasser, agr., Ph.D.

Des questions?

450-643-7368 p. 310
caroline.cote@irda.qc.ca



Déterminer les besoins en eau des cultures grâce à l'outil EstimEAU

Pour les agriculteurs qui souhaitent estimer leurs besoins en eau et les quantités disponibles à proximité de leur exploitation, un outil informatique est maintenant disponible gratuitement (<https://estimeau.ca>). Connu sous l'appellation « **EstimEau** », **cet outil d'aide à la prise de décisions en matière de gestion de l'eau** a été développé à l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA).

Cet outil offre une gamme de fonctionnalités qui permettent d'estimer les besoins en eau pour diverses activités agricoles comme l'irrigation pour protéger les cultures du manque d'eau et du gel, l'abreuvement des animaux, le lavage intérieur des bâtiments, le lavage des légumes, l'utilisation par la main-d'œuvre hébergée sur le site de la ferme et pour la préparation des traitements phytosanitaires.



L'outil s'appuie entre autres sur **des données météorologiques historiques couvrant la quasi-totalité du Québec agricole** afin de calculer différents scénarios élaborés par l'utilisateur en fonction d'une année en particulier ou d'années plus ou moins pluvieuses. L'intensité du risque que la culture subisse un gel peut également être ajustée afin de déterminer si les quantités d'eau disponibles à la ferme permettront ou non de combler les besoins pour la protection de la culture.

EstimEau utilise la géolocalisation de l'exploitation pour estimer la disponibilité potentielle de l'eau de surface et souterraine, tout en prenant en compte les caractéristiques des différentes sources d'approvisionnement saisies par l'utilisateur (réservoirs, toitures, puits, etc.). Ce dernier obtient alors une estimation globale des ressources en eau disponibles. **L'application offre la possibilité de choisir parmi 81 systèmes cultureux et 8 types d'élevages** pour améliorer la précision des calculs.

Les avantages potentiels pour les producteurs sont importants. Par exemple, **EstimEau** leur permet de mieux connaître la vulnérabilité de leur entreprise face au stress hydrique, de réévaluer leur gestion actuelle de l'eau dans une perspective d'optimisation, de promouvoir une gestion raisonnée de cette ressource, ainsi que d'explorer divers scénarios liés à la gestion de leur exploitation.



L'équipe de réalisation d'**EstimEau** était composée de membres de l'IRDA spécialisés en régie de l'eau, d'hydrologie agricole, d'ingénierie et de pédologie, à laquelle s'est ajoutée des collaborateurs du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS). Le projet a également bénéficié de la participation du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), d'Ouranos et de la Financière agricole du Québec (FADQ). Le développement de l'application a été financé par le programme Prime-Vert du MAPAQ.

Utiliser l'outil EstimEAU 

Partenaires financiers et de réalisation

Le projet intitulé « Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques : objectif terrain » a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert. L'équipe tient également à souligner la contribution du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec.



Une réalisation de
Carl Boivin, agr., M.Sc.
chercheur

Des questions?

418 643-2380 p. 430
carl.boivin@irda.qc.ca



Comprendre les excès d'eau



Localisation du problème d'excès d'eau

Sur un plan de la parcelle, la première étape est d'identifier les **zones donnant les meilleurs et les pires rendements**, ainsi que les **zones plus humides et plus sèches**.

Il faut ensuite **identifier les aménagements hydroagricoles** tels que les éléments du réseau hydraulique, les structures de captage et de sédimentation et les ouvrages de protection des confluences.

Les zones hétérogènes dans la parcelle sont souvent homologues aux changements de séries de sol. Les différences entre les séries de sol ne sont pas toujours visibles à la surface, c'est pourquoi il est très utile de s'informer sur les caractéristiques verticales du sol (horizons) à l'aide de données gratuites et accessibles en ligne. La nature des sols amène différentes limites aux interventions possibles.

Pour localiser des changements de séries de sol, l'outil Info-Sols s'avère très utile, particulièrement en ce qui a trait à la pédologie (limites) et la classification des sols. Pour s'informer sur la nature du sol, il est recommandé de se référer aux [cartes pédologiques](#) disponibles sur le site de l'IRDA.

En combinant les différentes zones hétérogènes identifiées au niveau du rendement, de l'eau et de la pédologie, des liens pourront être faits dans la compréhension du problème d'excès d'eau.



Causes de l'excès d'eau

Les problèmes liés à l'excès d'eau dans les champs peuvent avoir diverses origines, dont notamment le réseau hydraulique, le drainage de surface et le drainage souterrain.

Réseau hydraulique

Il faut d'abord s'assurer que le réseau hydraulique est fonctionnel. Pour ce faire, il faut localiser les composantes et leur exutoire, noter la conformation des planches et porter attention aux pentes et aux profondeurs des composantes.



Pour vous aider

Il est recommandé de s'aider de sources d'imagerie gratuites et accessibles en ligne telles que :

- [Info-Sols](#)
- [EO Browser](#)

Les données suivantes sont particulièrement utiles

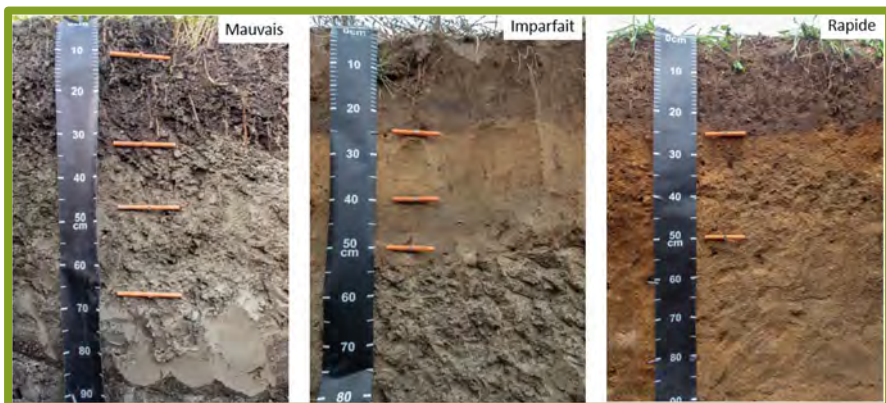
- Info-Sols
 - Images prises par avion
 - Hydrographie (ligne et polygone)
 - Tracé d'écoulement
 - Courbes de niveau
 - Modèle numérique de terrain
 - Ombrage du relief
 - Outil Profil d'élévation
- EO Browser
 - Images prises par la constellation de satellites Sentinel-2
 - couleurs vraies
 - indice NDVI
 - indice NDMI
 - indice Sols nus

Drainage de surface

Afin de confirmer que le drainage de surface est optimal, il faut Réaliser un profil de sol et porter une attention particulière à ces éléments :

- Les changements de résistance lors du creusage;
- Les changements de couleur, de texture et de structure;
- La présence ou l'absence de marbrures;
- Les changements d'humidité.

En effectuant un autre profil de sol dans une zone non-perturbée de la parcelle ou un autre témoin jugé pertinent de la même série de sol, il sera possible de vérifier que les caractéristiques observées dans la zone problématique sont dues exclusivement à la nature du sol.



La couleur selon différentes classes de drainage naturel du sol

Rappel

Trois composantes du drainage agricole

Réseau hydraulique

Objectif : évacuer les surplus d'eau vers l'extérieur du champ.

Drainage de surface

Objectif : éliminer l'eau s'étant accumulée à la surface dans un délai raisonnable.

Drainage souterrain

Objectif : abaisser la nappe phréatique.

Drainage souterrain

Un problème de drainage souterrain est aujourd'hui beaucoup moins fréquent. En s'intéressant d'abord à la répartition du système de drainage souterrain, on peut vérifier si la parcelle est drainée sur toute sa superficie ou seulement dans certaines zones. Si ce n'est pas déjà fait, on peut effectuer au moins un profil de sol pour chaque zone hétérogène identifiée précédemment, ainsi qu'au moins un profil respectif pour une zone drainée et non-drainée.

Lors de l'observation des profils de sol, il est recommandé de noter les éléments suivants :

- Hauteur de la nappe et des marbrures;
- Signes de colmatage ou de bris du système;
 - Sorties de drain
 - Nature des résidus s'accumulant dans les drains
 - Ocre de fer
 - Présence et type de filtre enveloppant les drains
- Conformation du système de drains souterrains (s'aider d'une tige à drain) :
 - Écartement;
 - Profondeur;
 - Pente.

Partenaires financiers et de réalisation

Le projet « Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques : objectif terrain » a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert. L'équipe tient également à souligner la contribution du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec.



Une réalisation de

Catherine Bossé, agr.
chargée de projets

Des questions?

418 643-2380 p. 406
catherine.bosse@irda.qc.ca



Faire un profil de sol

En agriculture, la réalisation de profils de sols agropédologiques est essentielle afin de poser un diagnostic rapide de l'état de santé du sol. Plusieurs indices, menant vers le diagnostic, sont dissimulés sous nos pieds.

Qu'est-ce qu'un profil de sols agropédologique ?

Les profils de sols agropédologiques utilisent à la fois des **observations liées à des notions de pédologie** (horizons, couleur, granulométrie, etc.) et des **observations de nature agronomique** comme l'examen des racines et de la structure du sol. La combinaison de ces informations permet de bien comprendre la nature du sol étudié (forces et faiblesses) et son état de santé pour ainsi dégager des constats qui dirigeront vers une recommandation adaptée. Il s'agit de simples observations permettant d'en savoir plus long sur l'état du sol et de la parcelle !

La structure du sol, la consistance et la porosité sont des propriétés dynamiques qui sont influencées par les pratiques culturales. Il ne faut pas hésiter à creuser jusqu'à deux pieds de profondeur pour augmenter la qualité des observations.



Rappel

Il est pertinent de consulter les cartes et les rapports pédologiques pour identifier les différents types de sols (séries de sols) présents sur le site avant d'aller au champ. Des [fiches synthèses](#) sont disponibles pour plusieurs séries de sols cultivés au Québec.

Les éléments à identifier lors de l'observation d'un profil de sol

1) Les horizons de sols (couleur)

La couche de surface (Ap) est importante, mais l'horizon sous-jacent l'est tout autant. La couleur du sol et la présence de marbrures sont des indicateurs nous renseignant sur le cheminement des racines et de l'eau dans le sol.

2) Les matériaux (granulométrie/classe de réaction)

La granulométrie réfère à la distribution des particules dans le profil, y compris la fraction grossière (>2 mm : graviers, cailloux, pierres).

Puisqu'une image vaut 1000 mots, l'équipe pédologique de l'IRDA a lancé la mini-série web [L'appel de la pelle](#). On y retrouve une mine d'or d'informations gratuites sur la réalisation de profils de sol, ainsi que plusieurs études de cas présentant et exécutant les étapes de réalisation d'un profil de sol.

Pourquoi réaliser un profil de sol?

- Permet d'avoir une évaluation de la nature du sol et de son état structural *in situ*
- Permet une comparaison
- Permet de comprendre l'impact de la pratique sur le sol en fonction de sa nature
- Recommandation adaptée au producteur



Les principales étapes

Se préparer

Planification
Questionner le producteur

Bien s'outiller

Creuser de la bonne
façon, au bon endroit

Identifier les horizons

Horizon B
Couleurs/marbrures?
Nappe permanente?

Identifier les matériaux

Texture
Fragments

État de la structure du sol

Infiltration de l'eau
Distribution racinaire

Pour visionner
toutes les étapes

<https://youtu.be/h8fh47sHzd4>



Une application mobile pour qualifier la structure de sols minéraux du Québec et qui permet de :

- Géoréférencer les sites où sont réalisés les profils de sol, comparer les résultats et repérer les endroits affectés par une dégradation importante de la structure du sol;
- Faciliter l'identification des causes de problèmes de dégradation relevés lors du diagnostic et mieux cibler les interventions requises pour remédier à ces problèmes;
- Suivre l'évolution de la structure des sols minéraux avec des mesures quantifiées après la mise en place de meilleures pratiques;
- Offrir une meilleure compréhension du rôle que joue la structure du sol dans la dynamique de l'eau et des échanges gazeux;
- Faciliter la prise de décisions touchant l'aménagement et la gestion des sols minéraux.



**Téléchargez
ProfilSol**

info@profilisol.com

Partenaires financiers et de réalisation

Le projet « Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques : objectif terrain » a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert. L'équipe tient également à souligner la contribution du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec.



SPGBQ
SYNDICAT DES PRODUCTEURS
DE GRAINS BIOLOGIQUES DU QUÉBEC

Une réalisation de

Catherine Bossé, agr.
chargée de projets

Des questions?

450 643-2380 p. 406
catherine.bosse@irda.qc.ca



Prédire l'évolution de la matière organique et de la compaction des sols

La matière organique des sols

La matière organique accumulée dans les sols provient essentiellement de l'activité biologique des êtres vivants qui peut avoir eu lieu très récemment (< 1 an) ou il y a très longtemps (>10 000 ans). La **matière organique** a un grand rôle à jouer dans l'agrégation des particules de sols qui, en soit, contribue à leur bonne structure et, directement, à leur capacité de rétention en eau.

Depuis 10 ans, une nouvelle conception de la constitution de la matière organique basée sur la dimension des particules suggère que la matière organique du sol n'est pas un stock d'humus qui se forme à la suite de l'accumulation de résidus ligneux. C'est un complexe entre les microorganismes et les particules fines du sol (argile principalement). Ainsi, il est possible de séquestrer du carbone même avec des résidus carbonés très décomposables (ex. : résidus verts, feuilles, etc.).

Rappel

POM – matière organique particulaire

- > 53 microns
- Durée de vie entre 1 et 50 ans

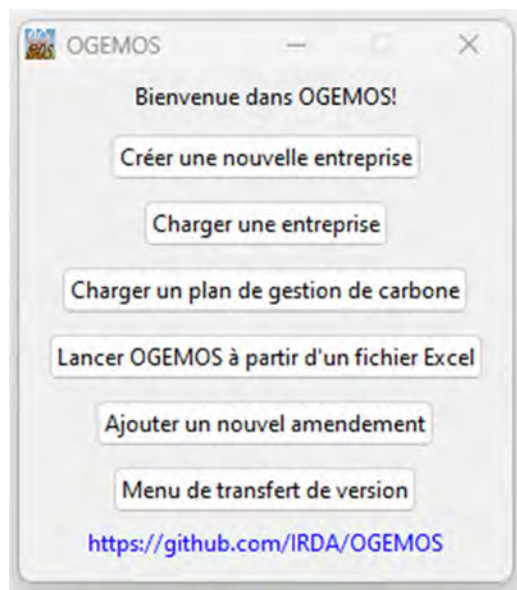
MOAM – matière organique associée aux particules minérales fines

- < 53 microns
- Durée de vie entre 10 à 1000 ans

Forme labile- en solution dans le sol

- Négligeable en quantité

Outil OGeMOS



OGeMOS est un logiciel servant à estimer l'évolution de la matière organique sur le long terme. Il est basé sur le modèle ICBM développé en Suède et a été choisi en raison des conditions climatiques apparentées avec celle du Québec. Il permet de comparer les effets de différents scénarios de régimes culturaux en incluant le choix des cultures, des engrais verts, le retrait des résidus de cultures et l'apport d'amendements organiques.

OGeMOS est disponible gratuitement et en libre-accès sur la plateforme GitHub : <https://github.com/IRDA/OGEMOS>. Tous les détails et mises à jour au sujet d'OGeMOS s'y trouvent.

Une vidéo de présentation d'OGeMOS est aussi en ligne : <https://www.youtube.com/watch?v=3mYgiMZPEPI>.

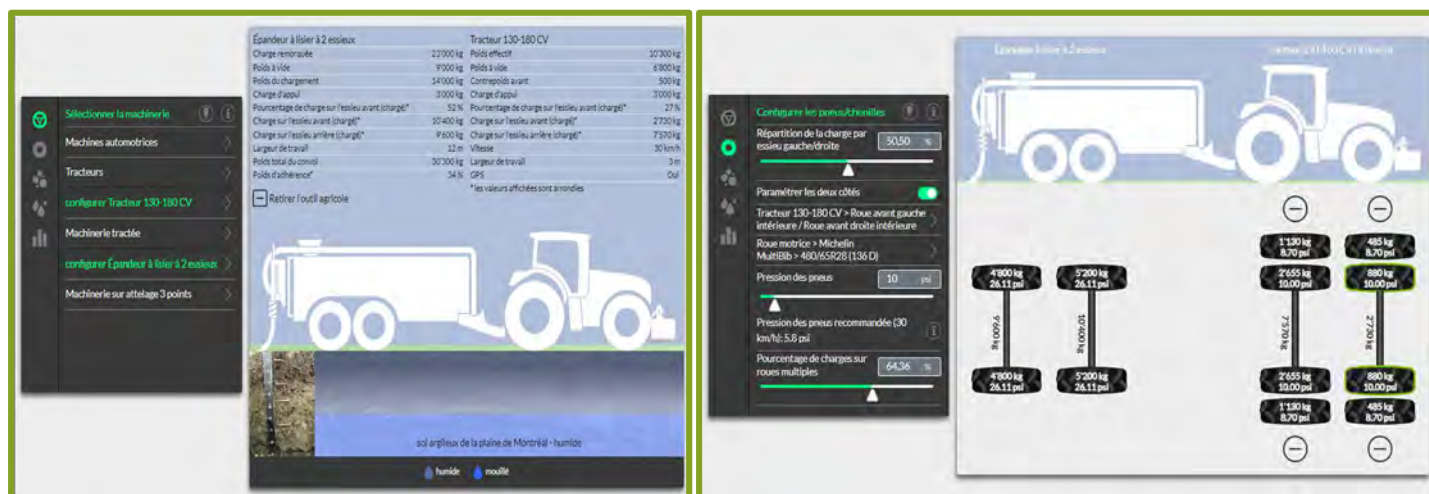
La compaction des sols

Qu'elle apparaisse **en surface ou en profondeur dans le sol**, la compaction ne présente pas les mêmes symptômes et ne doit pas être gérée de la même façon. La compaction de surface peut restreindre l'infiltration de l'eau en surface du sol, la disponibilité de l'air aux racines ou la capacité de travail des outils, mais en général elle est plus facile à remédier que la compaction profonde. Cette couche compacte peut se décompacter avec des outils de travail de sol, comme une sous-soleuse. Celle-ci peut survenir jusqu'à 50 cm de profondeur, parfois plus dépendant de la charge à la roue et de la condition du sol. Elle est le résultat d'un excédent de poids porté par les roues (ou tout autre outil) qui circule sur le sol. **Même si la charge est bien répartie** et qu'elle n'engendre pas de compaction importante en surface, **elle peut néanmoins compacter les horizons plus profonds du sol**. En revanche, les couches compactes formées de 35 à 50 cm de profondeur et parfois jusqu'à 70 cm sont plus difficiles à corriger avec des opérations mécaniques et prennent du temps à se restructurer.

Outil Terranimo®

Le logiciel **Terranimo®** permet aux producteurs et conseillers d'évaluer l'effet du passage de la machinerie, de la charge à la roue, de la pression des pneus et des conditions de sol sur la compaction du sol. Le logiciel est utile pour comparer des équipements et leurs conformations, ainsi que **pour faire des choix appropriés pour réduire les risques de compaction en fonction des conditions de sol**.

La version du logiciel adaptée pour les conditions du Québec est **disponible à l'adresse suivante** : <https://quebec.terranimo.world/>



Exemple de la surface interactive du logiciel **Terranimo®**

Partenaires financiers et de réalisation

Le projet « Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques : objectif terrain » a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert. L'équipe tient également à souligner la contribution du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec.



SPGBQ
SYNDICAT DES PRODUCTEURS
DE GRAINS BIOLOGIQUES DU QUÉBEC

Une réalisation de

Marc-Olivier Gasser, agr., Ph.D
chercheur

Des questions?

418 643-2380 p. 650
marc-o.gasser@irda.qc.ca



Optimisation de l'usage de l'eau

Des pluies diluviennes. Des sécheresses météorologiques qui s'éternisent. Des températures plus chaudes qui causent des canicules et de grands besoins en eau. Les changements climatiques offrent des défis supplémentaires dans la gestion de l'eau. **Connaître la vulnérabilité des cultures au stress hydrique peut diminuer l'incertitude que fait planer les conditions climatiques.**

Vulnérabilité au stress hydrique

En grandes cultures, on irrigue peu ou pas. Il peut néanmoins être profitable de connaître la vulnérabilité de l'entreprise au déficit hydrique, constater quelle est la « zone de confort hydrique » dans laquelle les cultures – maïs, soya, céréales, etc. – ne sont pas négativement affectées. Il existe pour cela différents outils de mesure et d'aide à la décision :

- ❑ **Pluviomètre** : cet outil permet de mesurer localement les quantités d'eau journalières reçues sous forme de pluie (millimètres ou pouces).

- ❑ **Tensiomètre** : qu'il soit manuel ou connecté à un téléphone pour un suivi en temps réel à distance, cet appareil offre une mesure directe du potentiel matriciel du sol (kilopascals).
- ❑ **Sonde de teneur en eau** : ce type d'appareil est composé d'une sonde et d'un lecteur électronique qui mesure la teneur en eau volumique du sol, soit le volume d'eau contenu dans un volume donné de sol.

Il existe une autre catégorie d'outils qui n'est pas un appareil de mesure, mais plutôt une méthode « comptable » de suivi de l'eau qui entre dans le système agricole (apports par précipitations valorisables et irrigations) et de l'eau qui en sort (pertes par évaporation et transpiration). **Cette approche a un nom : le bilan hydrique.**

EstimEAU, un outil d'aide à la décision de type « planification », s'appuie sur le bilan hydrique pour évaluer le besoin en eau d'irrigation. Cet outil est **disponible gratuitement depuis 2024** et permet d'estimer les besoins en eau d'une ferme (irrigation, lavage, abreuvement troupeau, etc.). Il permet aussi d'évaluer la disponibilité de l'eau de surface et souterraine à proximité de la ferme.



Mais au-delà de l'irrigation, ce genre d'outil peut aussi permettre de constater la vulnérabilité des grandes cultures aux stress hydriques et ainsi planifier les semis selon les propriétés des cultures et du sol (ex. capacité de rétention en eau).

Partenaires financiers et de réalisation

Le projet intitulé « Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques : objectif terrain » a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert. L'équipe tient également à souligner la contribution du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec.



Québec

Une réalisation de

Carl Boivin, agr., M.Sc.
Catherine Bossé, agr.
Caroline Côté, agr., Ph.D.
Marc-Olivier Gasser, agr., Ph.D.

Des questions?

450-653-7368 p. 310
caroline.cote@irda.qc.ca



Intégrer des pratiques agricoles et des systèmes cultureux favorables à la conservation de l'eau

Conserver des sols en santé, c'est conserver de l'eau de qualité. De nombreux constats émanent d'un effort de recherche mobilisateur (400 producteurs, 25 clubs-conseils en agroenvironnement) : l'Étude sur l'état de santé des sols agricoles du Québec, qui a évalué les propriétés pédologiques, biologiques et physico-chimiques des sols. La dernière enquête du genre remontait à 1990 quand était paru l'Inventaire des problèmes de dégradation des sols.

Pour changer les pratiques et rétablir la qualité des cours d'eau, deux principes guident l'action : **réduire les pertes à la source et améliorer la capacité de rétention et la fertilité des sols.**

Quelques stratégies s'offrent aux producteurs :

Stratégie no. 1 : Incorporer les déjections animales

L'incorporation immédiate par un travail de sol léger réduit les pertes d'azote et de phosphore hors du champ et augmente le prélèvement de ces nutriments par les plantes.

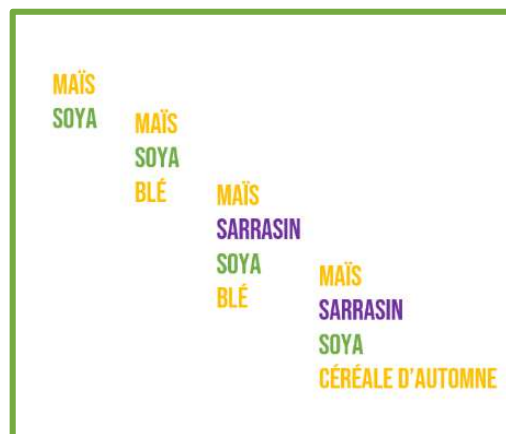


Stratégie no. 2 : Diversifier les rotations

Introduire une troisième, voire une quatrième culture à la rotation comporte des bénéfices documentés. Une rotation diversifiée favorise plusieurs paramètres de la santé des sols par rapport à une rotation qui n'intègre qu'une alternance typique maïs-soya, qui a tendance à appauvrir les sols en matière organique.

Stratégie no. 3 : Choisir plusieurs espèces

La diversification des cultures, de familles botaniques différentes, favorise généralement un meilleur contrôle des ravageurs. Intégrer des cultures qui survivent à l'hiver (cultures pérennes) est aussi avantageux, notamment pour réduire l'érosion et favoriser les prélèvements de nutriments. Pour intégrer de multiples espèces, il faut jouer avec l'espace-temps : coloniser l'entre rang (cultures intercalaires) et semer des céréales d'automne, par exemple. Les cultures à cycle court permettent moins d'interventions dans les périodes humides.



Stratégie no. 4 : Maintenir une couverture végétale

Pour contrer l'érosion, on couvre les sols de résidus ou d'une culture de couverture vivante. En plus d'apporter de la matière organique, de maintenir l'activité biologique du sol et de participer à la stabilité structurale, les couverts permettent une meilleure portance pour l'épandage. Un sol qui n'est pas laissé à nu restreint aussi la formation de croûte de battance, favorise l'infiltration et la réserve en eau et réduit le ruissellement.



Stratégie no. 5 : Réduire le travail du sol

Travailler les sols affecte la stabilité structurale et favorise la minéralisation de la matière organique. Les avantages du travail réduit et du travail en bande sur la santé physique des sols sont nombreux.



Stratégie no. 6 : Gérer les passages de machinerie

Certains sols du Québec présentent des signes de compaction (structure dégradée dans les horizons A et B, faible porosité, déficit en oxygène). La compaction réduit la conductivité hydraulique (infiltration de l'eau) et augmente l'érosion. Parmi les facteurs à considérer pour réduire les risques de compaction, notons : fréquence de passage et poids de la machinerie, type et pression de pneus, etc. L'outil **Terranimo** permet d'estimer l'effet de ces choix sur les risques de compaction.

Partenaires financiers et de réalisation

Le projet intitulé « Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques : objectif terrain » a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert. L'équipe tient également à souligner la contribution du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec.

Une réalisation de

Carl Boivin, agr., M.Sc.
Catherine Bossé, agr.
Caroline Côté, agr., Ph.D.
Marc-Olivier Gasser, agr., Ph.D.

Des questions?

450-643-7368 p. 310
caroline.cote@irda.qc.ca





Faire des aménagements hydroagriques

Un réseau hydraulique évacue les surplus d'eau provenant du champ vers l'extérieur de celui-ci. L'évacuation s'effectue en ralentissant le débit d'eau qui, trop fort, peut créer des zones érosives qui affectent la qualité de l'eau.

Plusieurs aménagements permettent d'évacuer l'eau en minimisant les pertes de sol et de nutriments :

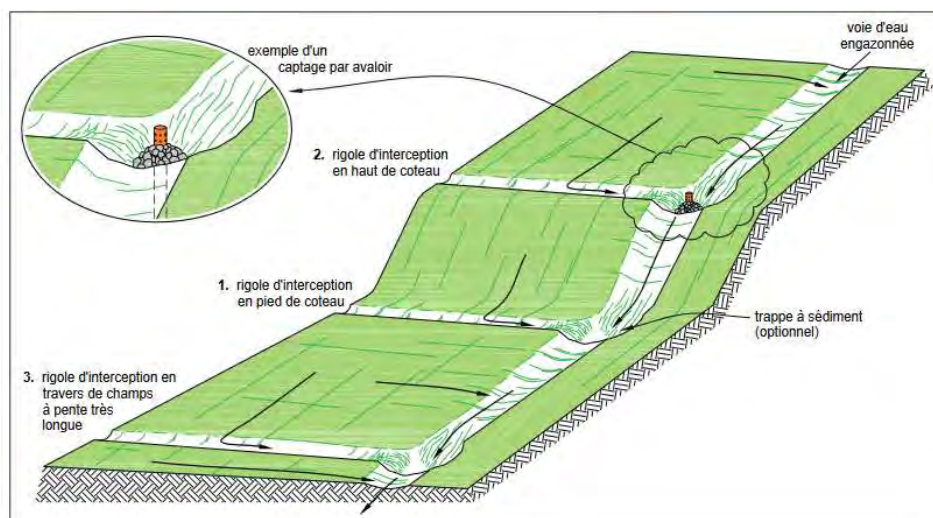
Nivellement

Il corrige des excès d'eau causés par un mauvais drainage de surface, conséquence possible d'une mauvaise infiltration créée par de la compaction. **Le principe est d'adoucir le relief, combler les micro-dépressions et rediriger le ruissellement vers les exutoires.** En présence de dépressions importantes, vallon ou cuvette, il est presque toujours préférable d'aménager des structures de captage pour recevoir l'eau plutôt que de chercher à aplanir ou remplir ces zones. Selon la perméabilité du sol et la pente du champ, il peut être mieux d'aménager des planches rondes, en faites ou encore d'aplanir l'ensemble du terrain. Les parcelles ayant un horizon imperméable près de la surface ou étant d'une faible perméabilité (infiltration inférieure à 1 m par jour), sont souvent d'excellentes candidates au nivellement.

Voie d'eau aménagée

Elle convient pour les parcelles ayant un mauvais drainage de surface et dont le nivellement ne suffit pas ou n'est pas approprié (risque d'érosion élevé, relief trop irrégulier). **C'est une voie par où l'eau circulera pour s'évacuer, parfois directement vers un exutoire, parfois vers une structure de captage ou de sédimentation.** Elle peut prendre différentes formes : raie de curage, rigole d'interception ou fossé.

- **Raie de curage** : voie d'eau aménagée entre les planches. Elle est parallèle à la pente du champ. Elle peut être traversée par la machinerie.
- **Rigole d'interception** : voie d'eau perpendiculaire à la pente du champ. C'est une voie d'eau qui entrecoupe les raies de curage. Elle peut être traversée par la machinerie. La raie de curage et la rigole d'interception peuvent être engazonnées pour deux raisons : ralentir la vitesse de l'eau et augmenter la résistance du sol à l'érosion.



Source : https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/VoiedEauEngazonnees_FR_web.pdf

- **Fossé** : voie d'eau ne permettant pas le passage de la machinerie. Le fossé évacue l'eau de la surface du champ. Très souvent, il sert à recueillir l'eau captée par les drains souterrains. Dans les champs non-drainés souterrainement, ils peuvent participer à abaisser la nappe phréatique. On compte deux types de fossés : de ligne et de chemin.

Avaloir

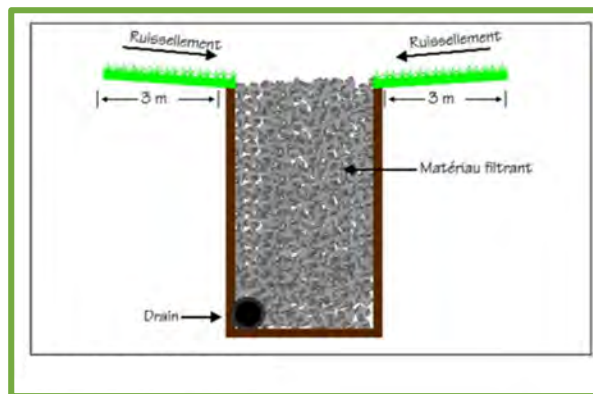
Il coupe la route et capte les excédents d'eau en surface provenant du ruissellement. Il réachemine cette eau vers une sortie.



Source : <https://solen.com/produits/avaloir/>

Tranchée filtrante

Elle est pratiquée dans les contrepenches d'un champ où le ruissellement tend à s'accumuler et stagner. La tranchée permet le passage de la machinerie. **L'idée est de creuser une tranchée d'une profondeur et d'une largeur suffisante pour y déposer un drain au fond et le recouvrir d'un matériel filtrant qui facilite l'infiltration de l'eau.**



Source :

https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/TrancheesFiltrantes_FR_web.pdf

Bassin de sédimentation

Il limite la perte de sol hors du champ. Le bassin concentre le ruissellement de surface en un endroit. Sa superficie varie selon les caractéristiques du champ. Le temps de dépôt des particules de sol dans le fond du bassin varie selon la grosseur de ces dernières : le sable sédimente plus rapidement que le limon et l'argile.



Source : Victor Saville (MAPAQ)

Protection des confluences

C'est un ouvrage (enrochement, bande riveraines végétalisées, etc.) qui protège l'ultime sortie de l'eau provenant du réseau hydraulique. **L'objectif est de protéger la zone de confluence entre le réseau hydraulique agricole et le milieu hydrique extérieur ou naturel.** Cette zone subit une forte pression érosive : elle doit être stabilisée.



Partenaires financiers et de réalisation

Le projet intitulé « Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques : objectif terrain » a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert. L'équipe tient également à souligner la contribution du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec.

Québec



SPGBQ
SYNDICAT DES PRODUCTEURS
DE GRAINS BIOLOGIQUES DU QUÉBEC

Une réalisation de

Carl Boivin, agr., M.Sc.
Catherine Bossé, agr.
Caroline Côté, agr., Ph.D.
Marc-Olivier Gasser, agr., Ph.D.

Des questions?

450-643-7368 p. 310
caroline.cote@irda.qc.ca



Gestion de l'eau en grandes cultures : des outils pour l'aide à la décision

La gestion de l'eau est un défi de taille en grandes cultures, où des excès d'eau sont souvent observés au printemps, alors que des déficits peuvent survenir en été. **Comment améliorer la résilience de nos systèmes cultureux face aux aléas climatiques, tout en préservant la qualité des cours d'eau ?** Des outils sont disponibles pour appuyer le diagnostic et cibler les bonnes interventions. En voici un bref répertoire.



Comprendre les excès d'eau

Le diagnostic débute par la localisation des zones d'excès d'eau et l'identification des causes possibles. Vous pourrez ainsi optimiser l'efficacité du réseau hydraulique (pour évacuer les surplus d'eau vers l'extérieur du champ), du drainage de surface (pour éliminer l'eau qui s'accumule à la surface) et du drainage souterrain (pour abaisser la nappe phréatique).

Pour y arriver, vous pouvez :

- Consulter les photos aériennes sur le site d'info-sols <https://www.info-sols.ca/>
- Consulter les cartes pédologiques : <https://www.irda.qc.ca/fr/services/protection-ressources/sante-sols/information-sols/etudes-pedologiques/>
- Faire un profil de sol : <https://youtu.be/h8fh>
- Vous renseigner sur la pédologie : <https://irda.qc.ca/fr/nouvelles-et-evenements/irda-lappel-de-la-pelle/>
- Utiliser l'application ProfilSol : info@profilsol.com



Utiliser
ProfilSol



Utiliser
EstimEAU



Déterminer les besoins en eau des cultures

Une meilleure connaissance de la vulnérabilité de l'entreprise face au stress hydrique facilite l'optimisation de la gestion de l'eau pour les cultures. Il est possible d'estimer l'adéquation entre les besoins des cultures et l'eau disponible dans le sol, en fonction des conditions pédoclimatiques de l'entreprise.

Pour y arriver, vous pouvez :

- Vous renseigner sur les outils d'aide à la décision : [irda_boivinc_cahiertechneuoada319183_400175.pdf](#)
- Estimer les besoins en eau de votre entreprise et les quantités disponibles à proximité : <https://estimeau.ca>



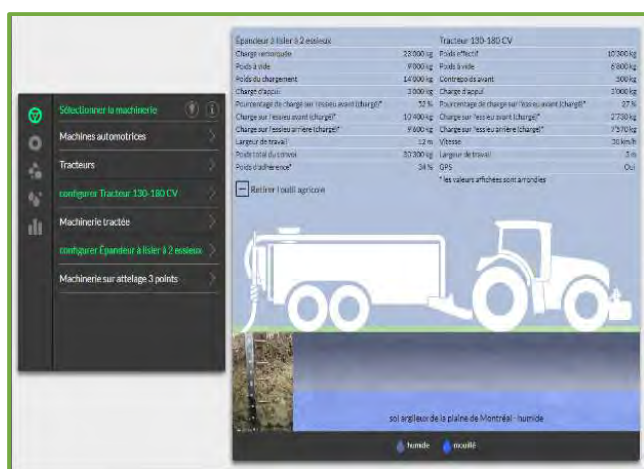
Intégrer des pratiques agricoles et des systèmes cultureux favorables à la conservation de l'eau

Le contenu en matière organique des sols ainsi que la compaction figurent parmi les facteurs les plus importants quant à la capacité de rétention en eau des sols, le mouvement de l'eau dans ce dernier, ainsi que la capacité des cultures à prélever l'eau. Il est donc important de comprendre l'impact de nos pratiques agricoles sur ces paramètres.

Pour y parvenir, vous pouvez :

- Évaluer l'effet du passage de la machinerie sur les risques de compaction du sol : <https://quebec.terranimoworld/>

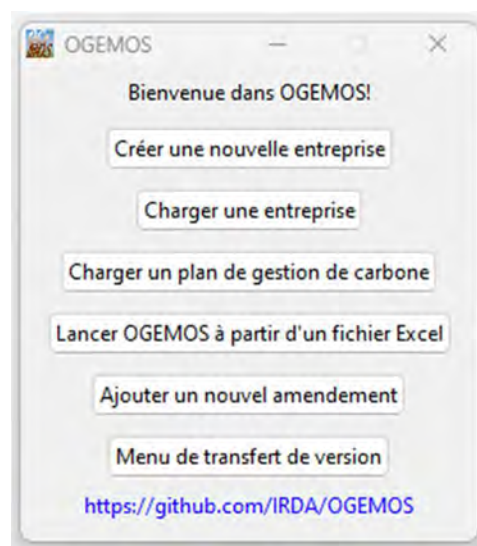
Utiliser Terranimo



Interface de la plateforme Terranimo®

- Estimer l'évolution de la matière organique dans votre entreprise :

<https://github.com/IRDA/OGEMOS>



Interface du logiciel OGEMOS

Les outils présentés dans cette fiche ont fait l'objet de plusieurs publications. À vous de juger, producteurs, conseillers et autres experts, jusqu'où aller pour optimiser la productivité de votre entreprise tout en protégeant les plans d'eau du Québec.

Partenaires financiers et de réalisation

Le projet intitulé « Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques : objectif terrain » a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme Prime-Vert. L'équipe tient également à souligner la contribution du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec.



Une réalisation de

Caroline Côté, agr., Ph.D.
chercheuse et coordonnatrice
partenariats/innovation

Des questions?

450-643-7368 p. 310
caroline.cote@irda.qc.ca

Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques
Plateforme d'innovation en agriculture biologique

335 rang des Vingt-cinq est

16 avril 2024

13h30 - 13h45	Accueil et mot d'ouverture <i>Déroulement et objectifs de l'activité</i>	Caroline
13h45 - 14h20	Atelier sur la qualité de l'eau (en salle) <i>Azote, phosphore, DBO5, E. coli, indice benthos vs production végétale, santé de l'homme et des animaux et environnement et écosystèmes</i>	Caroline
14h20 - 15h00	Besoins en eau (en salle) <i>Estim'eau – estimation des besoins en eau (loam sableux et argile) dans le blé d'automne</i>	Carl
15h00 - 15h15	Pause	
15h15 – 16h00	Discussion sur les céréales d'automne (au champ semé en blé d'automne près du bâtiment) <i>Projets de Marc-Olivier, Caroline (salubrité) et Sébastien (survie à l'hiver)</i>	Marc-Olivier, Caroline, Mylène et Sébastien
16h00 – 16h20	Présentation et discussion sur les résultats de l'ESSAQ (en salle)	Marc-Olivier
16h20 – 16h30	Mot de clôture <i>Remerciements, capsules et autres vitrines</i>	Caroline

Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques

Ferme Flobert

895 rang des ormes, Ste-Eulalie, J0Z 1E0

18 avril 2024

13h30 - 13h40	Accueil et mot d'ouverture <i>Déroulement et objectifs de l'activité</i>	Caroline
13h40 - 14h10	Présentation de l'entreprise et problématique reliée à l'eau	Hubert Soucy
14h10 – 14h45	Besoins en eau <i>Estim'eau</i>	Carl
14h45 – 15h00	Pause et déplacement	
15h00 – 15h45	Profil de sol et discussion	Catherine
15h45 – 16h15	Aménagements hydroagricoles, incluant le drainage souterrain, et discussion	Guillaume Sauvageau
16h15 – 16h30	Conclusion et mot de clôture <i>Remerciements, capsules et autres vitrines</i>	Caroline

Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques

Ferme Écopré

94 1^{er} rang est, St-Gervais,

23 avril 2024

13h30 - 13h40	Accueil et mot d'ouverture <i>Déroulement et objectifs de l'activité</i>	Caroline
13h40 - 14h10	Présentation de l'entreprise et problématique reliée à l'eau	Guy Tanguay
14h10 – 14h45	Besoins en eau <i>Estim'eau</i>	Carl
14h45 – 15h00	Pause et déplacement	
15h00 – 15h45	Profil de sol et discussion	Pierre-Luc Lemire
15h45 – 16h15	Aménagements hydroagricoles, incluant le drainage souterrain, et discussion	Émilie Beaudoin
16h15 – 16h30	Conclusion et mot de clôture <i>Remerciements, capsules et autres vitrines</i>	Caroline

Gestion de l'eau en grandes cultures biologiques

Ferme Omer et Jacynthe Bouchard et fils

1150 rang 6 nord, St-Bruno

25 avril 2024

13h30 - 13h40	Accueil et mot d'ouverture <i>Déroulement et objectifs de l'activité</i>	Caroline
13h40 - 14h00	Présentation de l'entreprise et problématique reliée à l'eau	Maxime Bouchard
14h00 – 14h30	Besoins en eau <i>Estim'eau</i>	Carl
14h30 – 14h50	Terranimo	Marc-Olivier
14h50 – 15h00	Pause et déplacement	
15h00 – 15h40	Profil de sol et discussion	Catherine Bossé
15h40 – 16h20	Aménagements hydroagricoles, incluant le drainage souterrain, et discussion	François Durand
16h20 – 16h30	Conclusion et mot de clôture <i>Remerciements, capsules</i>	Caroline