



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 **progressé** 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

Jérémy Vallée, agr., IRDA

Alexandra Villeneuve, agr., IRDA

Partenaires de réalisation

Émilie Beaudoin, MAPAQ

François Durand, GMA

Guillaume Sauvageau, MAPAQ

Jérémy 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.



SPGBQ
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 culturaux 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 culturaux 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.....	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 ¾ 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.

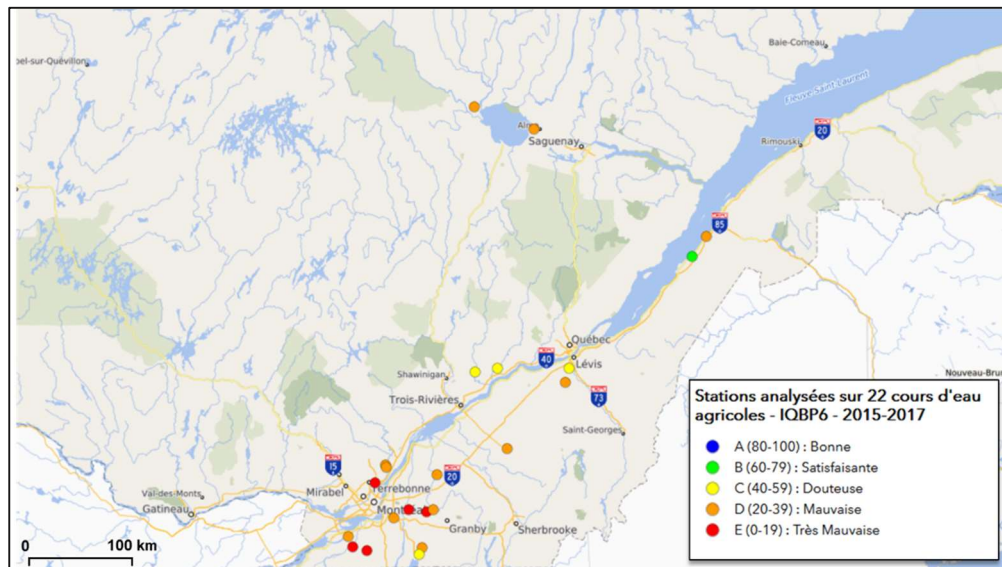


Figure 1. Emplacement des stations aux embouchures de 22 tributaires agricoles et qualité générale évaluée à l'aide de l'IQBP6 calculé pour la période de mai à octobre 2015-2017 (Adapté de Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2020)

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

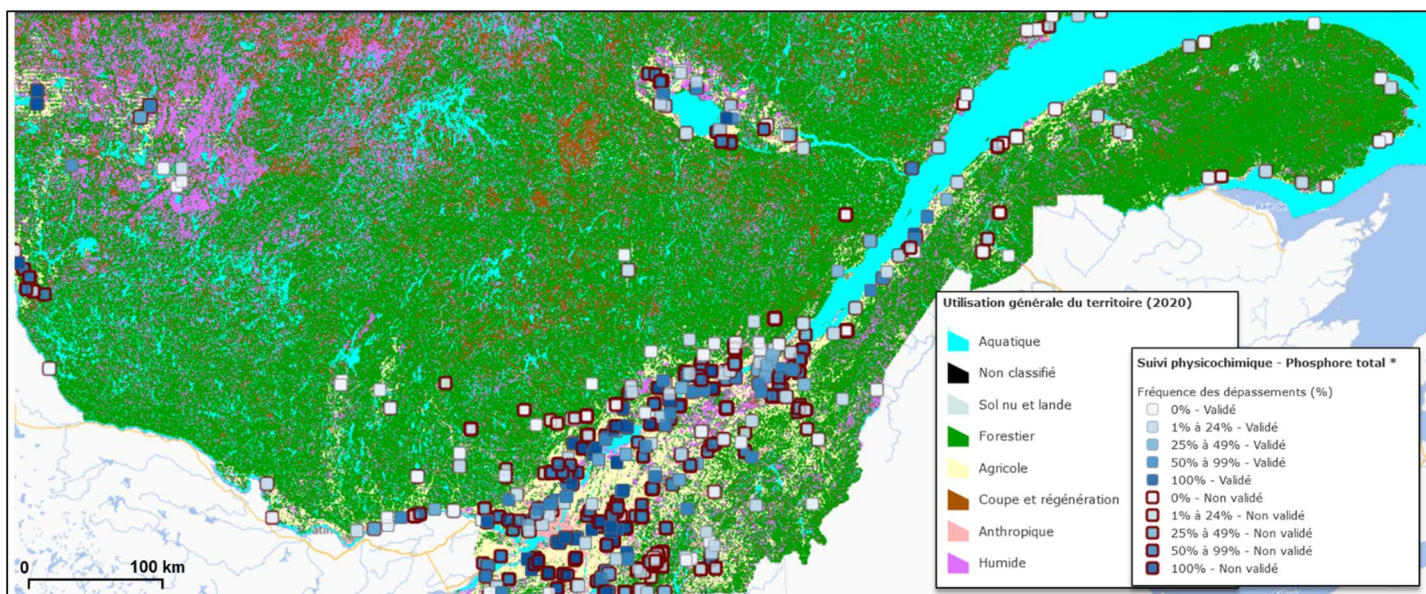


Figure 2. Suivi du phosphore total dans les cours d'eau du Québec évalué à l'aide de la fréquence de dépassement du critère pour la protection de la vie aquatique de 0,03 mg/L pour la période de 2000 à 2022. Sur fond de carte de l'utilisation générale du territoire en 2020.

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 soya) 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.

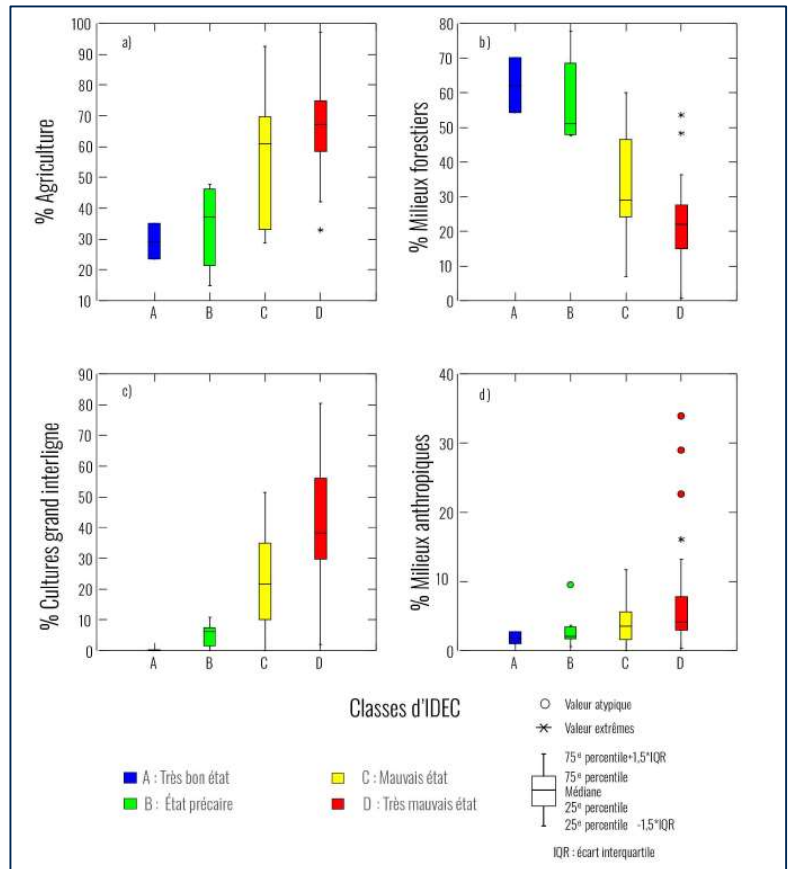


Figure 3. Classe de l'indice diatomées de l'Est du Canada (IDEC) en fonction de l'occupation du territoire (Adapté de Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2020).

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-mddelcc.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 régulation 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

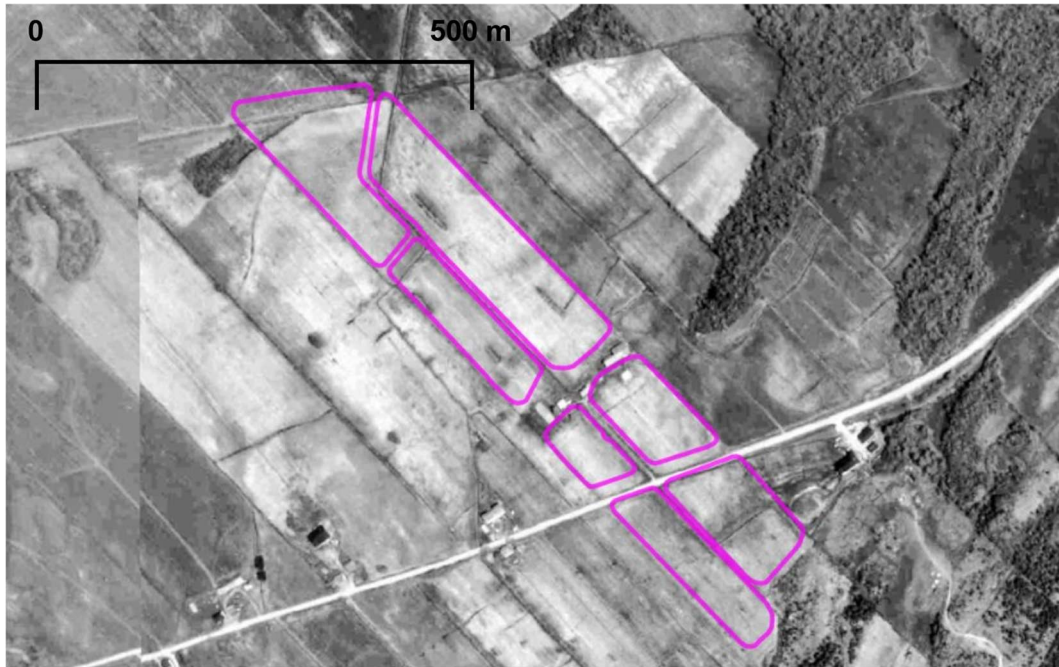


Figure 4. Un champ exemple (contours rose) avec la donnée « Photos aériennes 1979 » en fond de carte.

- Cours d'eau aménagés par le MAPAQ

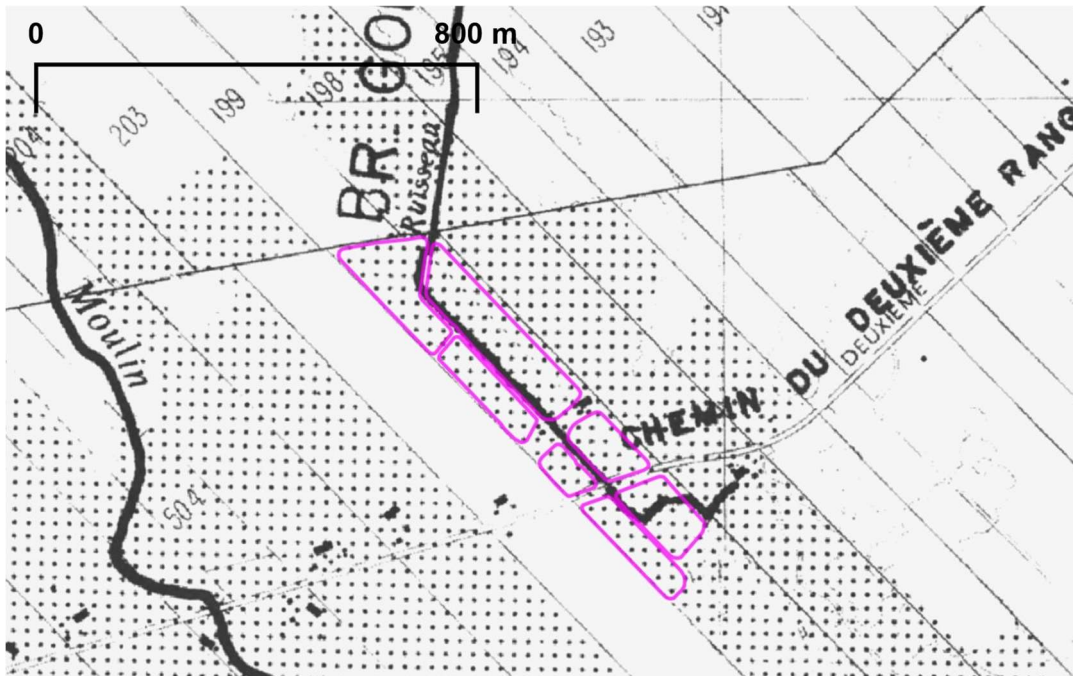


Figure 5. Un champ exemple (contours rose) avec la donnée « Carte hydrographique en fond de carte ».

- Tracé d'écoulement

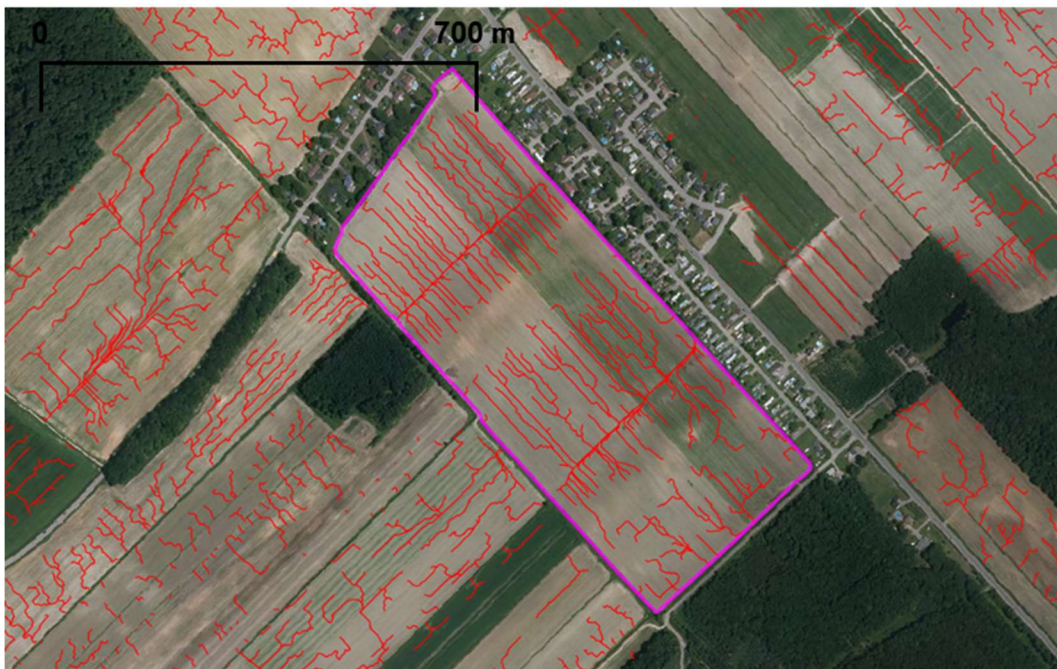


Figure 6. Un champ exemple (contours rose) avec la donnée « Tracé d'écoulement » en avant-plan. Mosaïque de photos aériennes du MERN en fond de carte.

- 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

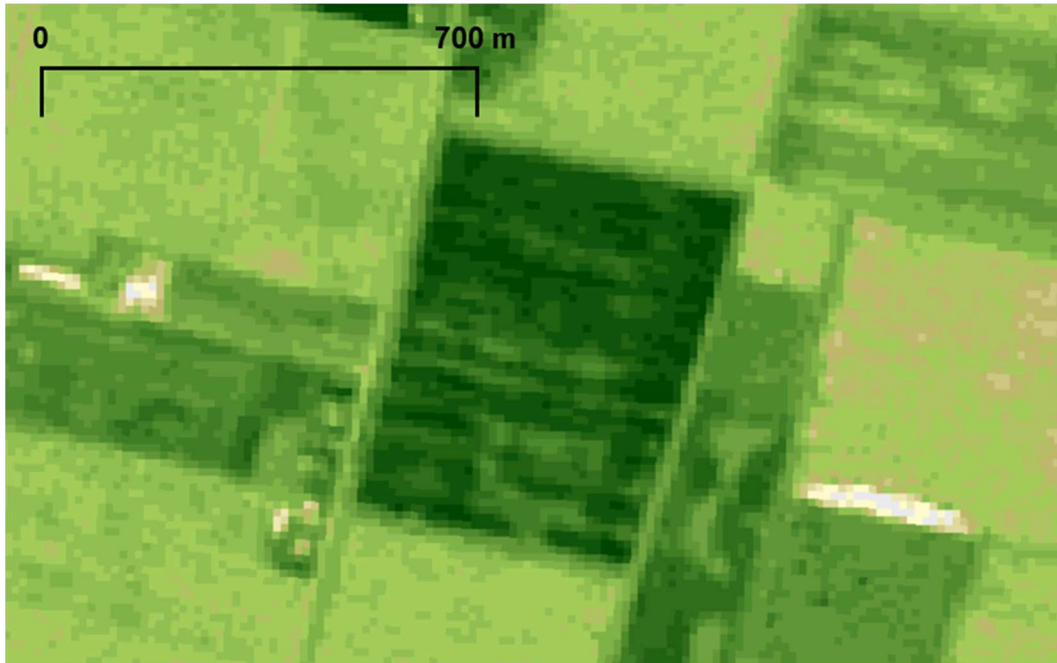


Figure 7. Image satellitaire Sentinel-2 acquise le 5 avril 2021 et traitée avec un indice de végétation par différence normalisée (NDVI). La forme rectangulaire verte foncée au centre est un champ en blé d'automne.

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.

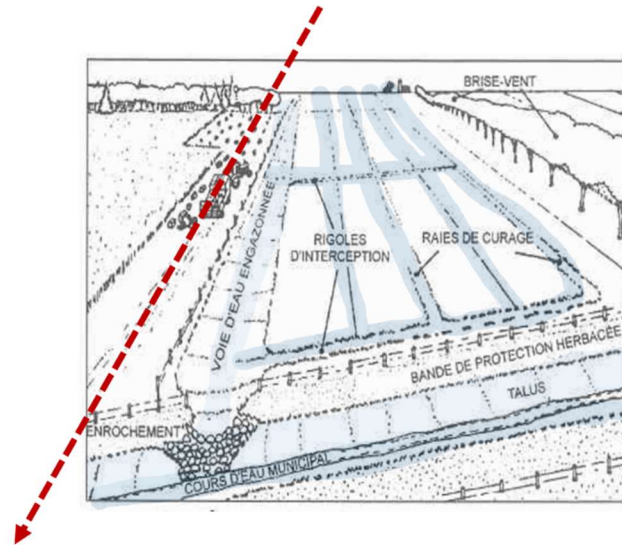


Figure 8. Illustration du réseau hydraulique permettant l'évacuation de l'eau du champ

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*)

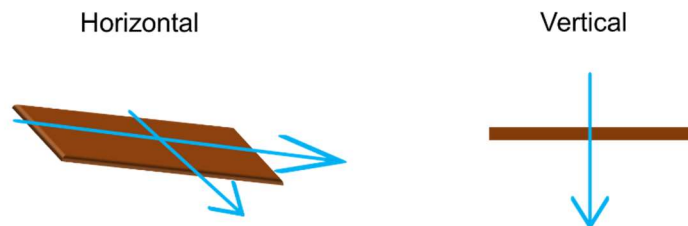


Figure 9. Illustration du drainage de surface horizontal ou vertical

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.

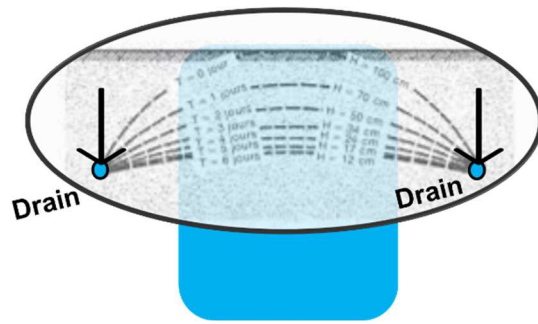


Figure 10. Illustration du drainage souterrain

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?)

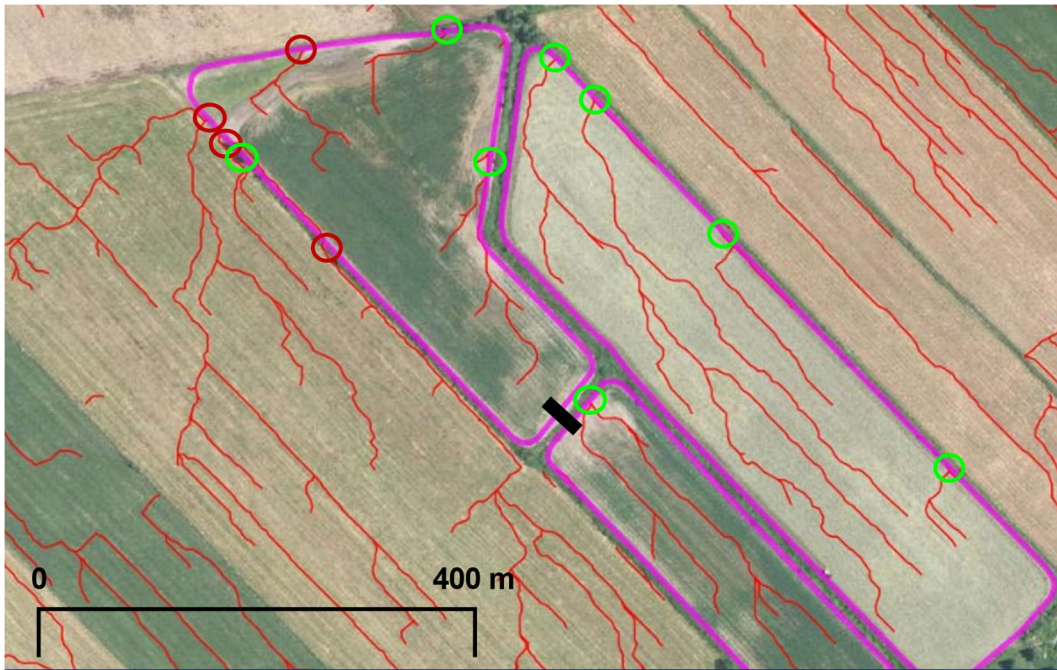


Figure 11 . Localisation d'un ponceau (rectangle noir), des exutoires (cercle vert) et des entrées (cercle rouge) de l'écoulement à l'aide de la donnée « Tracé d'écoulement » (ligne rouge) pour un champ (contour rose) non-drainé souterrainement.

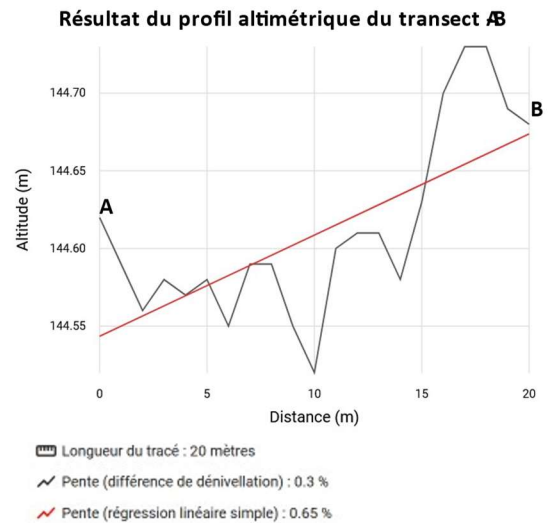
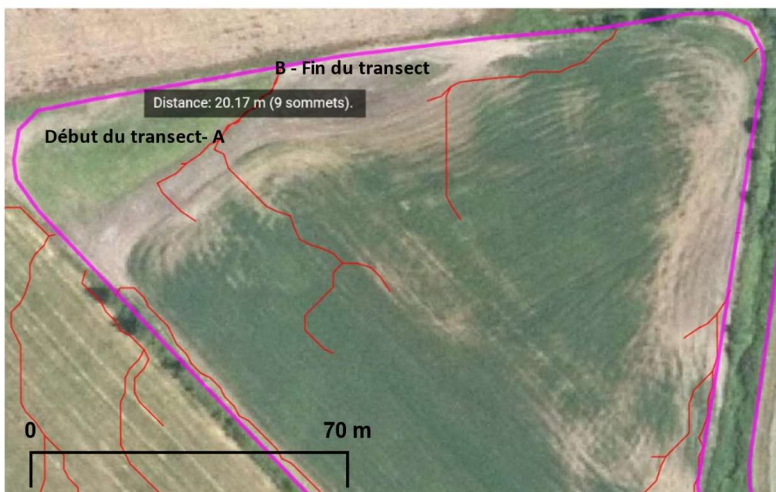


Figure 12. Profil altimétrique sur une section d'un tracé d'écoulement d'un champ (transect A-B).

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.

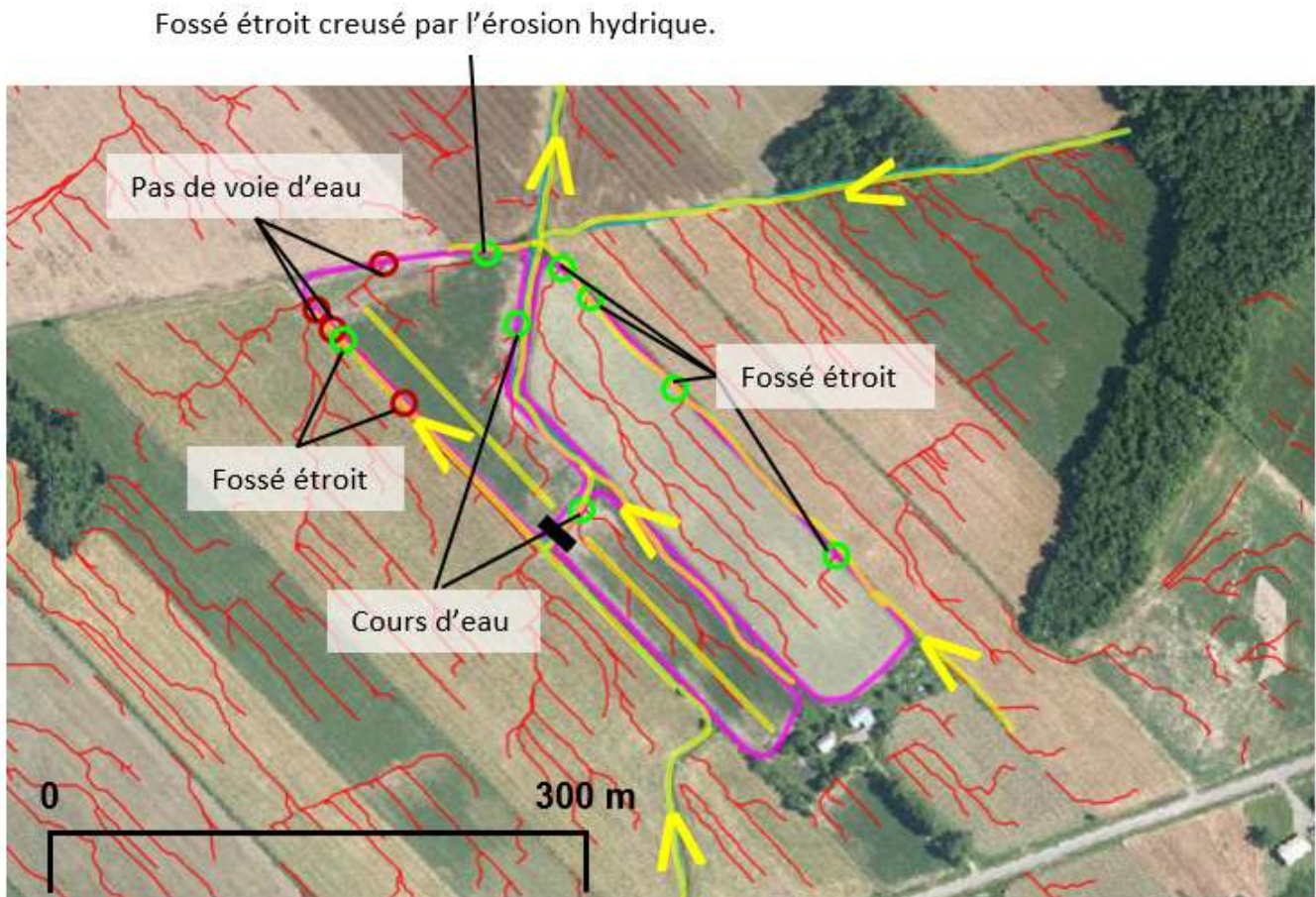


Figure 13. Schéma d'un champ exemple présentant plusieurs composantes liées au drainage.

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'infiltré 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

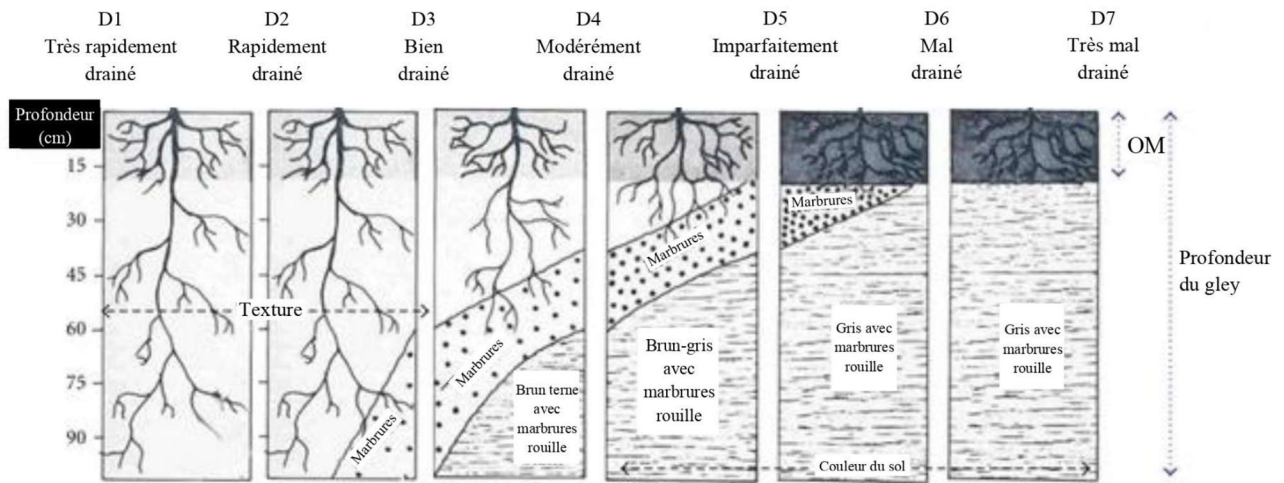


Figure 16. Variation des classes de drainage naturel du sol en fonction des traits d'oxydo-réduction (source : Guide de stratigraphie des sols).

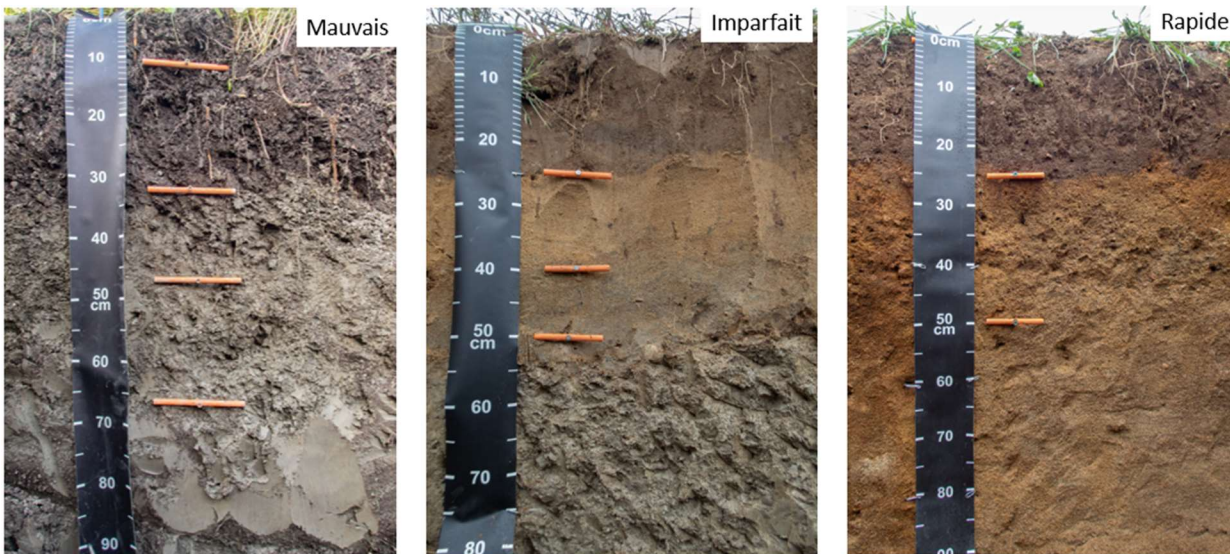


Figure 17. Variation de la couleur du sol selon le drainage naturel du sol.



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.

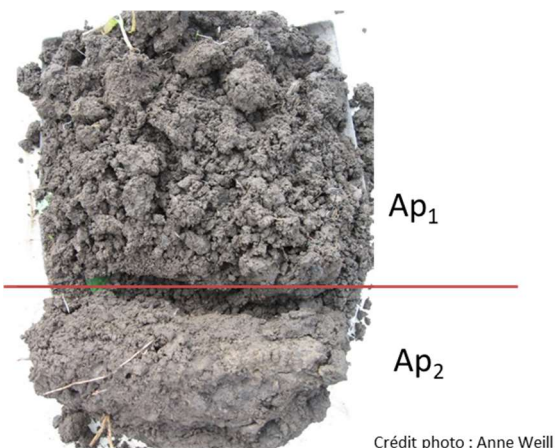


Figure 20. Couche engendrée par le travail de sol.

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 particulaire 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=BiqMfyxYIIA>

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.

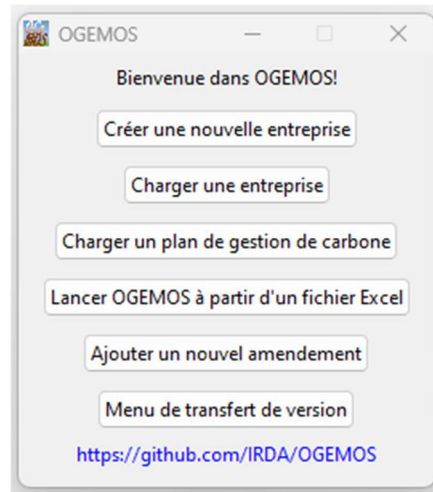
¹¹ Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) et MAPAQ. 2003. Détermination de la matière organique par incinération : méthode de perte de feu (PAF), MA. 1010 – PAF 1.0, Ministère de l'Environnement du Québec, 9 p.

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 régie culturale 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'épisode 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 agropédologique. 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.

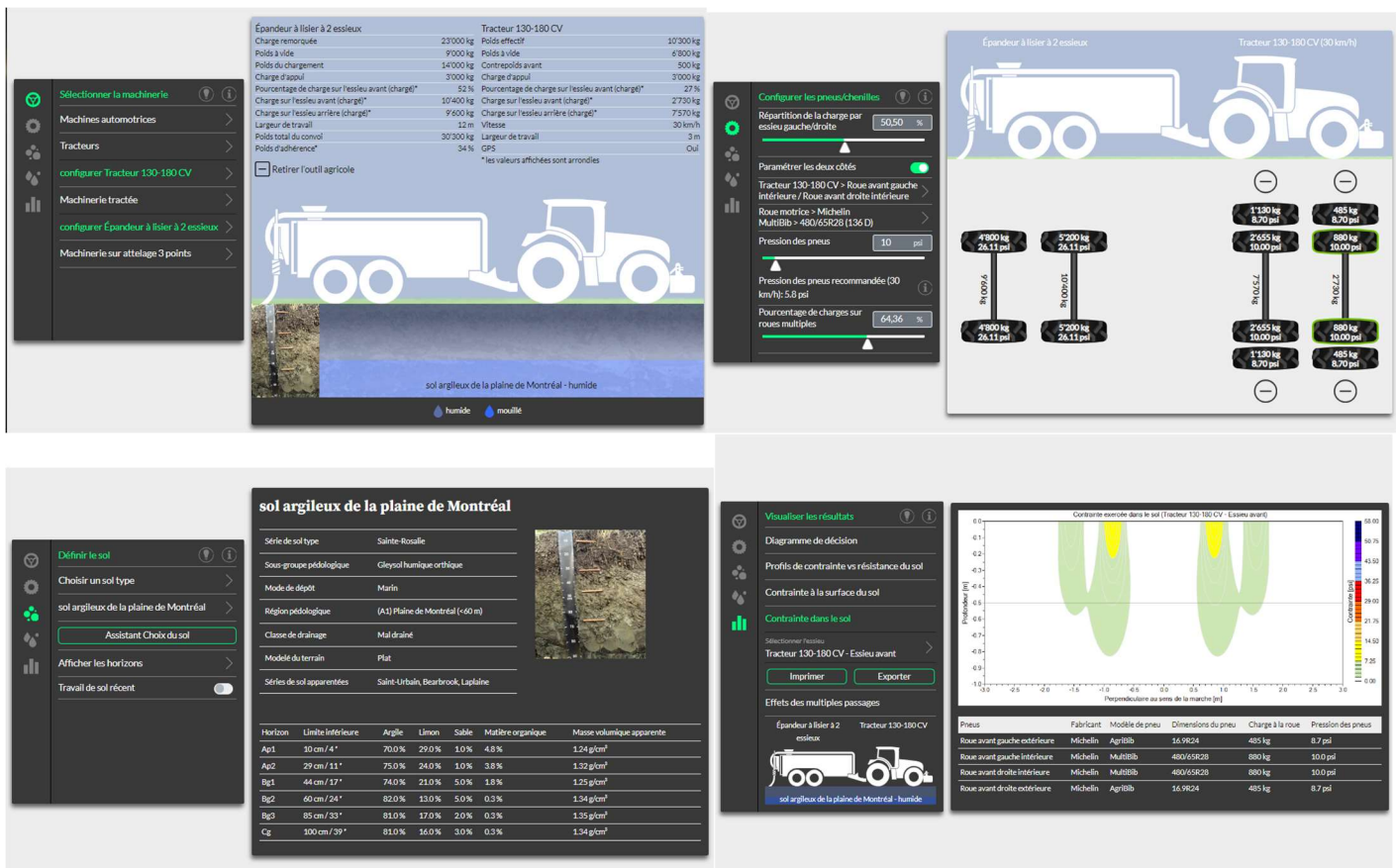


Figure 23. Visualisations de l'outil Terranimo.

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/Feuillet7A.pdf>.

MODULE 5. OPTIMISER L'USAGE DE L'EAU

Auteurs : Carl Boivin, agr., M.Sc., Caroline Côté, agr., Ph.D., Mylène Généreux, 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. Ultiment, 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 FPGQBQ 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 sarcler 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 réfléchis 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 faites 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 munit 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.

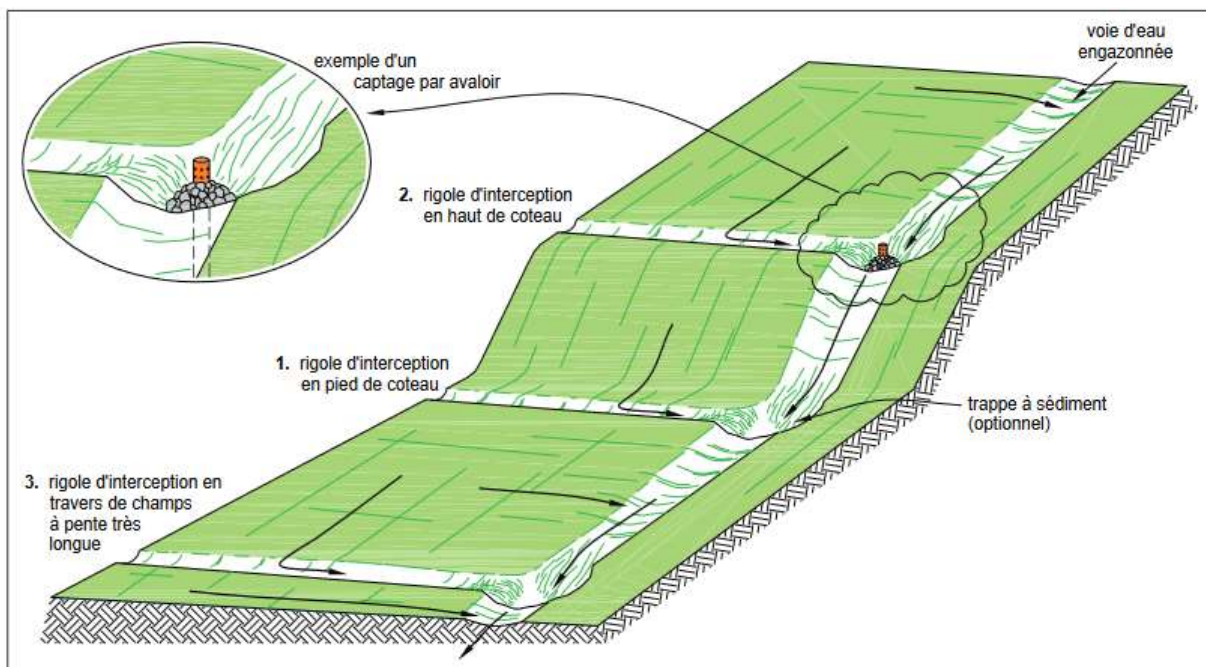


Figure 24. Schéma présentant des exemples d'aménagement de captage d'eau- Adapté de MAPAQ (2008)

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>