

**VITRINE SUR LE CONTRÔLE DE NAPPE
COMME OUTIL DE GESTION DE L'EAU ET DE RÉDUCTION DES POLLUANTS
DES COURS D'EAU**

NUMÉRO DU PROJET : 6001299

DURÉE DU PROJET : 09/2018 - 02/2022

RAPPORT FINAL

Réalisé par :
Eveline Mousseau, agronome, Groupe ProConseil

15 mars 2022

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

TITRE DU PROJET : VITRINE SUR LE CONTRÔLE DE NAPPE COMME OUTIL DE GESTION DE L'EAU ET DE RÉDUCTION DES POLLUANTS DES COURS D'EAU

NUMÉRO DU PROJET : 6001299

RÉSUMÉ DU PROJET

Le drainage souterrain, c'est-à-dire un drainage effectué par des réseaux de tuyaux perforés installés dans le sol pour empêcher que celui-ci devienne trop humide pour la culture, est une pratique répandue en Montérégie. Toutefois, le drainage souterrain peut affecter la qualité de l'eau étant donné que les nutriments se retrouvent dans les fossés et cours d'eau plus rapidement que si les terres n'étaient pas drainées. Le drainage souterrain contrôlé illustré en figure 1 consiste à installer une structure aux sorties de drainage afin de hausser le niveau de la nappe phréatique tout en retenant l'eau et les éléments nutritifs dans les champs.

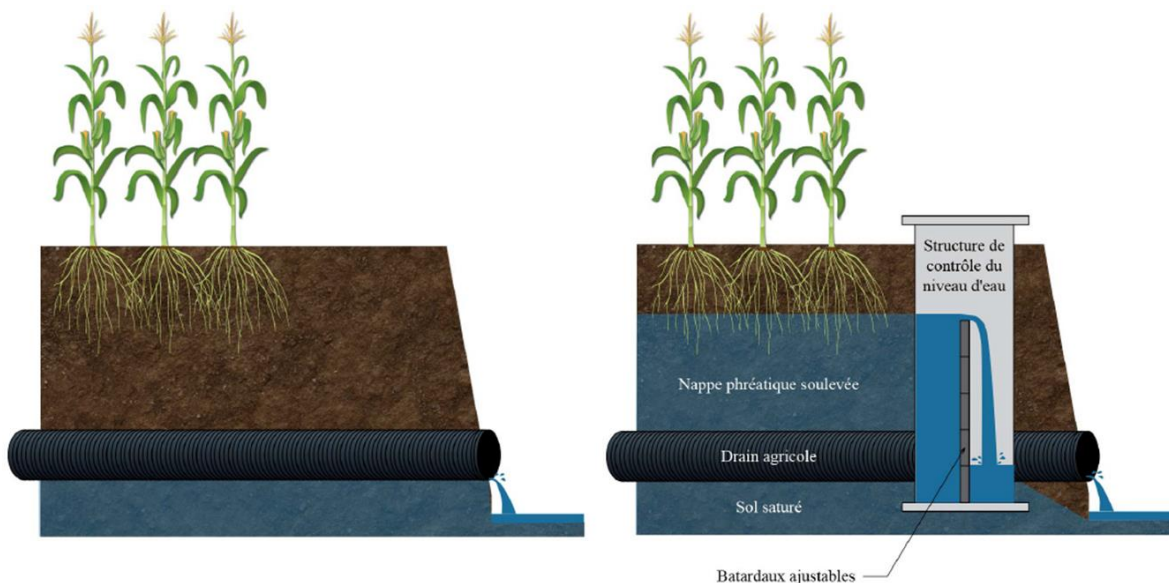


Figure 1. À gauche, image en coupe d'un système de drainage et à droite, image en coupe d'un contrôle de drainage Agri-drain. Source image Barry Husk, BlueLeaf inc.

Le contrôle du drainage vise deux buts, soit d'augmenter le rendement en gérant mieux la hauteur de la nappe d'eau à différents moments de l'année, et de réduire les impacts environnementaux du drainage, comme les pertes de nutriments par l'eau de drainage. Le présent projet vise à démontrer aux producteurs l'efficacité des systèmes de contrôle de nappe Agri Drain, qui sont encore peu utilisés malgré les avantages qu'ils peuvent offrir.

Dans le cadre de ce projet, les impacts d'une utilisation automnale du contrôle de nappe dans le contexte québécois seront mesurés par des comptages de populations de vers de terre et le suivi de la nappe d'eau souterraine avec et sans contrôle de nappe. Un suivi de la qualité de l'eau venant des drains après des épandages d'engrais organiques printaniers ou automnaux sera effectué. Des mesures de rendement comparatives dans des champs « jumeaux » avec et sans contrôle seront prises. Les prises de données seront faites à des fins de démonstration et non à des fins de comparaison statistique. Le projet vise une utilisation optimale des contrôles de nappe déjà installés, ainsi que la sensibilisation du plus grand nombre de producteurs.

Durant les saisons 2019, 2020 et 2021, les contrôles de nappe ont été fermés à 30 cm sous le niveau du sol après les semis au printemps ou avant si possible. Puis, les contrôles ont été rouverts avant la récolte ou plus tard si possible à l'automne.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

L'objectif général du projet est de réduire la pollution de l'eau de la rivière Richelieu et de ses affluents par l'utilisation optimale de systèmes de contrôle de nappe phréatique en champs. Les objectifs spécifiques des projets sont 1) d'augmenter les rendements des cultures par la diminution des stress hydriques 2) d'améliorer la qualité de l'eau, 3) d'améliorer la gestion de l'eau, 4) d'améliorer la santé des sols (cultures de couverture et population de vers de terre) et 5) de diffuser l'information auprès des agriculteurs.

Les mesures et évaluations sont réalisées chez 6 producteurs agricoles ayant installé des contrôles de nappe depuis peu. Les critères de sélection avaient été déterminés au préalable avec le chercheur David Lapen d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Il est recommandé de limiter l'emploi d'un tel système pour des champs possédant une pente régulière ne dépassant jamais 0,5%. La superficie moyenne contrôlée varie entre 2 et 5 hectares. Il est important que les sols soient de nature minérale et possèdent une couche imperméable se trouvant au maximum à 3 mètres de profondeur. La disposition du système de drainage doit convenir pour contrôler la nappe sur l'ensemble du champ. Le système de drainage doit donc avoir un ratio longueur/largeur faible. Plus précisément (1) des mesures de hauteur de nappe sont prises sur 6 sites pendant 3 ans et sur des champs témoins sans contrôle de nappe (4 sites), grâce à 3 piézomètres par site, instrumentés avec des sondes ONSET. (2) L'impact sur la vie du sol est évalué par le décompte de vers de terre à l'automne, sur 2 sites, pendant 3 ans. (3) L'évaluation de l'impact des contrôles de nappe sur la qualité de l'eau est effectuée par l'échantillonnage d'eau à la sortie des drains après l'épandage de matière organique sur 2 ou 3 sites pendant 3 ans, et ce, 24, 48 et 72 h après la 1^{re} pluie. Finalement, (4) l'impact sur les rendements des cultures devait être évalué par la comparaison de cartes de rendements géoréférencées pour 2 sites pendant 3 ans.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

1- Mesure de hauteur de nappe à l'aide de piézomètres

Les piézomètres ont été installés en 2019 chez 6 producteurs dans des champs ayant des systèmes de contrôle de nappe (Ferme du Coin-Rond, Ferme Myosotis, Clair-Noyer, Ferme Semis 2000 Plus, Ferme Astral, et Ferme PM Daignault). De plus, chez Ferme Semis 2000, Ferme Astral, Ferme du Coin Rond et Clair-Noyer, des piézomètres ont été installés dans un champ témoin « jumeau », sans contrôle de nappe. Trente sondes servant à mesurer la hauteur de la nappe ont été activées, avec des prises de mesures aux heures, avec l'ajout de 18 sondes par l'IRDA dans un projet connexe. Ces sondes ont été placées dans les piézomètres, et permettront d'effectuer un suivi des hauteurs de nappes tout au long de l'année. Les prises de données au champ ont commencé au printemps 2019. Voir la carte de localisation des différents piézomètres à l'Annexe 1.

De nombreuses difficultés se sont présentées durant le projet. Au printemps et à l'automne 2019, les piézomètres chez Ferme PM Daignault et Ferme Astral avaient été abimés par le travail de sol plus profond que prévu, et des données ont été perdues. Au printemps 2020, des

piézomètres non retrouvés à l'automne précédent ont pu être localisés et les données ont été récupérées. De plus, le sommet des piézomètres a été descendu à 30 cm de profondeur dans les cas où ils ne l'étaient pas déjà et des assiettes d'aluminium ont été installées afin de bien retrouver les piézomètres à l'aide d'un détecteur de métal. Le contrôle de nappe chez Ferme Myosotis a malencontreusement été endommagé par la batteuse lors de la récolte du champ à l'automne 2020. Une nouvelle tour de contrôle a été posée le 6 juillet 2021. La période où la tour est brisée est considérée comme du drainage libre.

Avec les piézomètres, on a pu suivre l'évolution de la profondeur de la zone humide dans le profil de sol. Les courbes sont aux Annexes 2 à 7. On retrouve aussi à l'Annexe 8 la rotation des cultures selon le type de drainage pour chacun des sites, ainsi que les dates de fermetures des contrôles.

Ferme du Coin Rond

Le champ évalué possède 3 systèmes de drainage, juxtaposés du sud au nord. Les piézomètres ont été installés sur les 2 systèmes au Nord, qui ont des pentes faibles et le même type de sol, une argile limoneuse St-Urbain. Les sondes sont à 1,5m de profondeur et les drains sont environ à 1,2m de profondeur. On observe une remontée très rapide de l'eau dans les piézomètres à chaque épisode de pluie, ce qui dénote une entrée de l'eau de surface dans le puit du piézomètre plutôt qu'une remontée de la zone d'humidité. Cela est causé par une très grande porosité du sol et par la position des piézomètres situés près de la surface du sol, étant donné que le site est en semis direct et qu'il n'y avait pas de danger que les piézomètres soient détruits par un travail de sol. Pour corriger les données, les valeurs excédant 17,5m ont été enlevées du graphique. Entre le 26 juin 2019 et le 5 août 2019 et entre le 10 mai 2020 et le 10 juillet 2020, il y avait une différence de 13-15 cm entre la zone contrôlée et le témoin. Le contrôle semble avoir ralenti la baisse de la zone humide. On remarque qu'entre le 9 août 2020 et le 28 septembre 2020, les drains non-contrôlés ont rapidement évacué l'eau alors que la zone contrôlée a conservé 20 cm d'eau dans son système. Cependant, en 2021, il n'y a pas eu de recharge dans la zone humide et les deux courbes sont identiques. Pendant la période hivernale, alors que les 2 systèmes sont ouverts, la nappe tend à être plus élevée du côté du contrôlé à l'hiver 2020 et du côté témoin à l'hiver 2021. Voir l'Annexe 2.

Clair-Noyer inc.

Le champ évalué possède 2 systèmes de drainage, un au sud et un au nord, qui se déversent dans une tour de collecte au milieu ouest. Tout le champ est en argile limoneuse St-Urbain. Les sondes sont à 1,78m de profondeur et les drains sont environ à 1,07m de profondeur. La partie sud était contrôlée et la partie nord servait de témoin, en drainage libre. En 2021, le producteur a décidé de fermer les 2 contrôles pour essayer de garder un peu d'eau dans ce champ. On voit que le comportement des courbes en 2021 est très semblable. Sinon, à part une courte période en juin 2019, la partie nord non-contrôlée tend à conserver plus d'eau que la partie sud, même avec le contrôle. Probablement que la configuration du drainage, qui inclut dans la partie nord le lit d'un ancien cours d'eau enterré, influence et crée une plus grande retenue naturelle au Nord. On remarque que la nappe est restée plus élevée en 2020 vs 2019 et 2021. La culture de chanvre en place fait un enracinement superficiel et ne permet pas d'expliquer cette nappe élevée en 2020 malgré la sécheresse. Voir l'Annexe 3.

Semis 2000

Les champs évalués sont collés et leurs 2 systèmes de drainage sont parallèles et se déversent dans la rivière des Hurons, au Nord. La majorité des 2 champs est en argile limoneuse Ste-Rosalie. Les sondes sont à 1,78m de profondeur et les drains sont environ à 1,52m de profondeur pour l'ancien système de drainage et 0,91m pour les nouveaux drains, ajoutés entre les vieux drains en 2018. Le champ au nord était contrôlé et le champ au sud servait de témoin, en drainage libre. L'IRDA a ajouté ici 9 piézomètres pour faire une étude plus approfondie, dans le cadre d'un autre projet. Ce sont les données complètes qui sont présentées en Annexe 4. On voit que les courbes du champ contrôlé tendent à toujours être plus élevées que le champ témoin lorsque le contrôle est fermé. Le 15 mai 2020, environ 20 cm d'eau est conservé une semaine de plus que le témoin. Voir l'Annexe 4.

Ferme Astral

Les champs évalués sont collés et leurs 2 systèmes de drainage sont parallèles. La majorité des 2 champs est en loam Laprairie. Les sondes sont à 1,7m de profondeur et les drains sont environ à 1,15m de profondeur. Le champ au sud était contrôlé et le champ au nord servait de témoin, en drainage libre. L'IRDA a ajouté ici 9 piézomètres pour faire une étude plus approfondie, dans le cadre d'un autre projet. Ce sont les données complètes qui sont présentées en Annexe 5. De façon naturelle, en système ouvert, la nappe au champ Témoin est plus élevée. Lors de la période du 1^{er} mai au 29 octobre 2020, la fermeture de la chambre de contrôle au champ Contrôlé a permis de faire remonter la nappe au niveau de celle du champ Témoin et d'en ralentir la descente. Voir l'Annexe 5.

Ferme Myosotis

Le champ est en argile limoneuse Ste-Rosalie. Les sondes sont à 1,7m de profondeur et les drains sont environ à 1,2m de profondeur. Les 3 sondes sont présentées ici. Un autre aspect évalué était la distance de retenue de l'eau dans le champ. On remarque ici que le comportement des 3 sondes est similaire, mais la sonde plus près du cours d'eau tend à baisser plus bas, probablement à cause de la résurgence au cours d'eau. La sonde la plus éloignée était située dans une zone plus pentue, donc la nappe tend à descendre plus rapidement là aussi. En 2021, après la pose du nouveau contrôle, on remarque que la profondeur de la zone humide de la sonde près du cours d'eau est de 20 à 40 cm plus haut que la sonde la plus au nord alors qu'en condition de drainage libre, elle est 10 à 20 cm dessous. La tour de contrôle était sur le bord du cours d'eau, mais elle a quand même été accrochée par la batteuse d'un forfaitaire à l'automne 2020. Le temps de réparer, on n'a pas pu contrôler le drainage avant la mi-juillet 2021. On voit que la zone humide était descendue en bas du drain au moment de réactiver le contrôle en 2021, mais qu'elle est remontée jusqu'au niveau du drain en août. Voir l'Annexe 6.

Ferme PM Daignault

Le champ est en argile limoneuse Providence. Les sondes sont à 1,68m de profondeur et les drains sont environ à 1,25m de profondeur. Les 3 sondes sont présentées ici. Un autre aspect évalué était la distance de retenue de l'eau dans le champ. On remarque ici que le comportement des 3 sondes est similaire, mais la sonde plus près du cours d'eau tend à monter plus haut et conserver l'eau plus longtemps, comme du 11 juillet au 13 août 2019, du

16 mai au 14 juillet 2020 et du 1^{er} juillet au 13 août 2021. On peut donc estimer qu'il y a eu une retenue d'eau plus importante (20-40 cm) seulement dans les 50 premiers mètres du champ. On voit que la pente moyenne de 0,24% est trop forte pour que le contrôle ait une grande zone d'influence dans ce champ. Cependant, l'inactivation de la sonde 2 en 2019 (par un labour qui a décapité le piézomètre) nous empêche de statuer sur la zone d'influence du contrôle en année normale; 2020 et 2021 ayant été des années très sèches. Voir l'Annexe 7.

2- Décompte de vers de terre

Les décomptes de vers de terre ont été effectués vers la fin septembre en 2019-2020 et 2021. Ils ont démontré une population moyenne de 605 vers/m³ en 2019, 445 vers/m² en 2020 et 200 vers/m² en 2021 à la Ferme du Coin-Rond. Pour la Ferme Jean Hamel, la moyenne est de 155 vers/m² en 2019, 160 vers/m² en 2020 et 100 vers/m² en 2021. La diminution est importante, mais provient probablement de la sécheresse qui a sévi en 2020 et 2021, car les systèmes de contrôle n'ont pas retenu de grands volumes d'eau susceptibles de nuire aux vers de terre. De plus, la date des décomptes a été devancée en 2020 et en 2021, donc les décomptes étaient en période plus sèche qu'en 2019. La régie de semis direct n'a pas été modifiée dans la ferme du Coin-Rond. Cependant, le producteur soulignait qu'on était en 3^e année de prairie et qu'il y a très peu de résidus pour nourrir les vers dans cette culture, ce qui a pu réduire aussi la population. Voir les rapports de dépistage à l'Annexe 9 pour la Ferme Jean Hamel et l'Annexe 10 pour la Ferme Coin Rond.

3- Évaluation de la qualité de l'eau

La sécheresse a compliqué la prise d'analyse d'eau, car les drains devaient couler pour prélever une analyse. Par exemple, à l'automne 2021, après un épandage de fumier de poulet le 30 juillet, il y a eu une pluie de 30 mm le 5 août, 24 mm le 24 septembre et n'y avait jamais d'écoulement au drain les jours suivants tant la terre était sèche. De nombreuses analyses de qualité d'eau ont été prises en parallèle dans les tours de contrôle par ProConseil pour l'IRDA pour une étude parallèle sur le contrôle de drainage de précision. L'ensemble des analyses a montré que beaucoup d'azote et de phosphore transitent par les drains, comme montré dans les tableaux 1 et 2. De plus, les systèmes fermés ont amené une diminution de 0,53 et 0,33 kg P/ha sur les deux sites via les drains. Pour les analyses post-épandages, on a vu une diminution ou une absence des coliformes fécaux à travers le temps dans les écoulements, mais pour l'année 2019, il y a eu un épandage le 8 novembre, entre les premières analyses de septembre et l'ouverture du contrôle, ce qui a fait réaugmenter les coliformes. En 2020, au site de Semis 2000, sur le plan environnemental, pour un automne pluvieux, le contrôle du drainage s'est donc avéré efficace à prévenir les pertes de nutriments dans le système de drainage souterrain. Par ailleurs, le contrôle du drainage n'a pas conduit à un rehaussement de la nappe suffisant pour provoquer l'émission de ruissellement de surface. Le bilan environnemental du recours au drainage contrôlé demeure donc très positif pour la période automnale. Voir les résultats complets d'analyse à l'Annexe 11.

Tableau 1 Débits spécifiques et exportations spécifiques de nitrates et de phosphore dans les collecteurs de drainage des champs avec chambre de contrôle (DC) et en drainage libre (DL) au site de Saint-Jean-Baptiste (A). (IRDA et Groupe ProConseil, Rapport final)

| Période | Statut de la chambre | Débits spécifiques | | | | Perte de nitrates | | | | Perte de phosphore | | | |
|---|----------------------|--------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|--------------|-------------|-------------|--------------------|--------------|--------------|-------------|
| | | DC (mm) | DL (mm) | Différence * | | DC (kg N/ha) | DL (kg N/ha) | Différence | | DC (kg P/ha) | DL (kg P/ha) | Différence | |
| 2019-07-17 au 2019-10-17 | Fermé | 21 | 38 | -18 | -46% | 1,1 | 0,6 | 0,4 | 68% | 0,08 | 0,10 | -0,02 | -21% |
| 2019-10-18 au 2020-03-23 | Ouvert | 68 | 249 | -181 | -73% | 2,6 | 6,7 | -4,1 | -61% | 0,14 | 0,75 | -0,61 | -81% |
| 2020-03-23 au 2020-09-23 | Fermé | 23 | 77 | -54 | -71% | 0,9 | 0,6 | 0,3 | 52% | 0,05 | 0,38 | -0,33 | -87% |
| 2020-09-30 au 2020-12-06 | Fermé | 4 | 81 | -77 | -95% | 0,2 | 3,9 | -3,7 | -96% | 0,01 | 0,23 | -0,22 | -96% |
| 2020-12-06 au 2021-03-30 | Ouvert | 60 | 164 | -104 | -63% | 2,2 | 6,2 | -4,0 | -65% | 0,11 | 0,52 | -0,41 | -78% |
| 2021-03-30 au 2021-05-11 | Fermé | 139 | 66 | 73 | 110% | 5,0 | 1,9 | 3,1 | 164% | 0,29 | 0,25 | 0,04 | 16% |
| Total pour la période | Fermé | 187 | 262 | -76 | -29% | 7,2 | 7,0 | 0,2 | 2% | 0,43 | 0,96 | -0,53 | -55% |
| Total pour la période | Ouvert | 128 | 413 | -285 | -69% | 4,8 | 12,9 | -8,1 | -63% | 0,26 | 1,27 | -1,02 | -80% |
| Total | 667 jrs | 315 | 676 | -361 | -53% | 12,0 | 19,9 | -7,9 | -40% | 0,69 | 2,24 | -1,55 | -69% |
| Total annuel spécifique (kg/ha-an) | 365 jrs | 172 | 370 | | | 6,6 | 10,9 | | | 0,38 | 1,22 | | |

* DC - DL

Tableau 2 Débits spécifiques et exportations spécifiques de nitrates et de phosphore dans les collecteurs de drainage des champs Contrôlé (DC) et au drainage libre (DL) au site de Saint-Angèle-de-Monnoir (B). (IRDA et Groupe ProConseil, Rapport final)

| Période | Statut de la chambre | Débits spécifiques | | | | Perte de nitrates | | | | Perte de phosphore | | | |
|---|----------------------|--------------------|------------|--------------|-------------|-------------------|--------------|--------------|-------------|--------------------|--------------|--------------|-------------|
| | | DC (mm) | DL (mm) | Différence * | | DC (kg N/ha) | DL (kg N/ha) | Différence | | DC (kg P/ha) | DL (kg P/ha) | Différence | |
| 2019-07-17 au 2019-10-17 | Fermé | 16 | 34 | -18 | -52% | 4 | 13 | -9,0 | -67% | 0,09 | 0,33 | -0,24 | -73% |
| 2019-10-18 au 2020-04-30 | Ouvert | 307 | 360 | -53 | -15% | 121 | 182 | -61,6 | -34% | 1,99 | 3,22 | -1,23 | -38% |
| 2020-05-01 au 2020-10-29 | Fermé | 25 | 22 | 3 | 15% | 13 | 14 | -1,7 | -12% | 0,07 | 0,15 | -0,09 | -57% |
| 2020-10-29 au 2021-04-14 | Ouvert | 98 | 59 | 39 | 65% | 39 | 16 | 22,4 | 139% | 0,63 | 0,48 | 0,15 | 31% |
| Total pour la période | Fermé | 41 | 56 | -14 | -26% | 17 | 28 | -10,7 | -38% | 0,16 | 0,48 | -0,33 | -68% |
| Total pour la période | Ouvert | 405 | 420 | -15 | -3% | 159 | 198 | -39,2 | -20% | 2,62 | 3,70 | -1,08 | -29% |
| Total | 667 jrs | 446 | 475 | -29 | -6% | 176 | 226 | -49,8 | -22% | 2,78 | 4,18 | -1,41 | -34% |
| Total annuel spécifique (kg/ha-an) | 365 jrs | 244 | 260 | | | 29,7 | 29,5 | | | 1,5 | 2,3 | | |

* DC - DL

4- Rendement des cultures

Bien que les producteurs aient des capteurs de rendements, différentes problématiques ont fait que seules trois cartes de rendement géoréférencées sont disponibles, en Annexe 12, 13 et 14. La carte de rendement de chez Stéphane Tétrault est intéressante, car il s'agit d'un champ très uniforme avec deux systèmes de drainage (moitié nord et moitié sud). Le système de drainage Nord est branché sur une pompe, donc le producteur l'a fermé au début du mois de mai 2021 pour imiter l'effet de contrôle de drainage. La partie sud était en drainage libre. Sinon tous les cultivars et les traitements étaient identiques. On remarque une différence de 0,3 tm/ha à l'avantage de la moitié nord, qui était contrôlée. Voir l'Annexe 12. Chez Clair-Noyer, une seule carte était disponible avec le comparable contrôlé vs drainage libre. En 2019, le chanvre a englué le capteur de rendement et en 2021, le producteur voulait fermer ses 2 contrôles pour essayer de garder le maximum d'eau. Donc en 2020, on constate que les rendements de soya sont identiques dans les 2 parties influencées par les contrôles. La partie au nord étant plus pentue, un calcul a été effectué au début du projet pour déterminer la zone d'influence possible du contrôle, qui serait de max 269m au nord et 250 m au sud. La zone plus au nord

près du cours d'eau est plus compacte que l'ensemble du champ et tend à garder plus longtemps son eau, elle n'est pas incluse dans le calcul. Voir l'Annexe 13.

On remarque la même dynamique de rendement identique dans le maïs 2020 chez Stéphane Tétrault, qui avait posé une tour de contrôle en 2019 au nord de son champ 22. La tour avait été fermée début mai et on observe un rendement moyen de 11,29 tm/ha dans la partie contrôlée au nord et 11,30 tm/ha dans la partie témoin au sud. Historiquement, la partie nord est plus sableuse et performe moins bien les années sèches. Voir l'Annexe 12.

Des données ont été prises manuellement avec l'IRDA chez 2 producteurs pendant 2 ans, permettant de fournir des informations chez d'autres producteurs. On voit que chez Semis 2000, il y a des indications d'effets positifs sur les rendements de maïs (6%-2019) et soja (8%-2020) (Tableau 3). À la ferme Astral, on parle d'augmentation gradients entre 2 et 5 % pour le maïs des saisons 2019-2020. Cependant, les quantités d'eau retenues permettent seulement d'expliquer ces augmentations de rendement chez Astral en 2020. Les autres années, les différences dans les profondeurs des zones humides ne sont pas significatives entre les témoins et les champs contrôlés (Tableau 4). Bien que les différences de rendement observées entre les 2 champs et sur les autres cartes précédemment citées ne soient probablement pas significatives (Il n'y a pas d'analyses statistiques qui ont été produites, car le dispositif n'était pas prévu en ce sens), on remarque quand même une tendance à la hausse dans les champs contrôlés par rapport aux champs témoins.

Tableau 3: Rendements (rapportés à 15 % d'humidité) pour les saisons 2019 et 2020 déterminés par récolte manuelle chez Semis 2000 (IRDA et Groupe ProConseil, Rapport final).

| Traitement | Localisation dans la parcelle | 2019 - Maïs tm/ha | 2020 - Soya tm/ha |
|------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| Contôlé | nord-ouest | 13,40 | 4,35 |
| | centre | 13,17 | 4,31 |
| | sud-est | 11,37 | 4,60 |
| | moyenne DC | 12,65 | 4,42 |
| Témoin | nord-ouest | 11,51 | 4,37 |
| | centre | 11,48 | 4,20 |
| | sud-est | 12,71 | 3,70 |
| | moyenne DL | 11,90 | 4,09 |
| | Gradient* | 0,06 | 0,08 |

* (DC - DL)/DL

Tableau 4: Rendements (rapportés à 15 % d'humidité) pour les saisons 2019 et 2020 déterminés par récolte manuelle chez Ferme Astral (IRDA et Groupe ProConseil, Rapport final).

| Traitement | Localisation dans la parcelle | 2019 - Maïs tm/ha | 2020 - Maïs tm/ha |
|------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| Contôlé | nord-ouest | 14,57 | 12,75 |
| | centre | 16,45 | 13,36 |
| | sud-est | 13,89 | 12,06 |
| | moyenne DC | 14,97 | 12,72 |
| Témoin | nord-ouest | 14,54 | 11,91 |
| | centre | 14,46 | 12,51 |
| | sud-est | 13,70 | 13,16 |
| | moyenne DL | 14,23 | 12,52 |
| | Gradient* | 0,05 | 0,02 |

* (DC - DL)/DL

Pour ce qui est des activités de diffusion, une demi-journée de formation et transfert de connaissance destinée aux agriculteurs participants au projet et à tous ceux ayant installé un contrôle de nappe Agri Drain en 2017-2018 a eu lieu le 19 février 2019. 9 producteurs et 8 intervenants étaient présents. Pour la diffusion des résultats, une demi-journée champ a eu lieu le 8 septembre 2021, regroupant 40 producteurs et intervenants. Finalement, une conférence sera donnée par Eveline Mousseau le 21 avril 2022 pour la table sectorielle grandes cultures (regroupant les conseillers en grandes cultures sur l'ensemble du Québec) du MAPAQ lors d'un webinaire sur la gestion de l'eau en grandes cultures.

En conclusion, l'analyse des courbes de niveaux des zones humides montre la complexité des interactions de l'eau dans le sol. Avec les changements climatiques qui augmenteront les événements météorologiques extrêmes comme les canicules et sécheresse, pluies torrentielles, la gestion du drainage a son importance et plus de recherche sera nécessaire. Il serait intéressant d'évaluer la possibilité de capter les volumes d'eau de grandes pluies via des ouvrages de captage pour recharger les nappes souterraines des champs. Le contrôle de drainage serait alors un outil utile pour conserver cette eau.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE (Maximum de ½ page)

Il est recommandé de limiter l'emploi d'un tel système pour des champs possédant une pente régulière ne dépassant pas 0,2%. La superficie moyenne contrôlée varie entre 2 et 5 hectares. Il est important que les sols soient de nature minérale et possèdent une couche imperméable se trouvant au maximum à 3 mètres de profondeur. La disposition du système de drainage doit convenir pour contrôler la nappe sur l'ensemble du champ. Le système de drainage doit donc avoir un ratio longueur/largeur faible. Le contrôle doit être fermé tôt au printemps quand la nappe est encore présente, tout en veillant à ne pas exacerber le ruissellement de surface en raison d'un sol saturé en eau. Une utilisation du contrôle du drainage aiderait à prévenir les pertes de nutriments dans le système de drainage souterrain en période automnale, particulièrement après des épandages d'engrais organiques. Les producteurs ont trouvé l'utilisation des contrôles Agri-drain facile et ils continueront à les utiliser dans le futur.

BIBLIOGRAPHIE

Michaud, A.R, W. Huertas, A. Blais-Gagnon et E. Mousseau. 2021. Le contrôle de drainage de précision : pour une meilleure utilisation de l'eau et des nutriments par les cultures et la réduction des pertes dans l'eau de drainage

Rapport final. IRDA et Groupe ProConseil, Programme Innov'Action agroalimentaire, Partenariat Canadien pour l'Agriculture et Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des pêcheries du Québec. 33 pages et annexes.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Eveline Mousseau, agronome,
Groupe ProConseil,
347 Duvernay, local 203, Beloeil (Québec) J3G 5S8
Téléphone 450-864-0180, poste 109
Courriel : eveline.mousseau@groupeproconseil.com

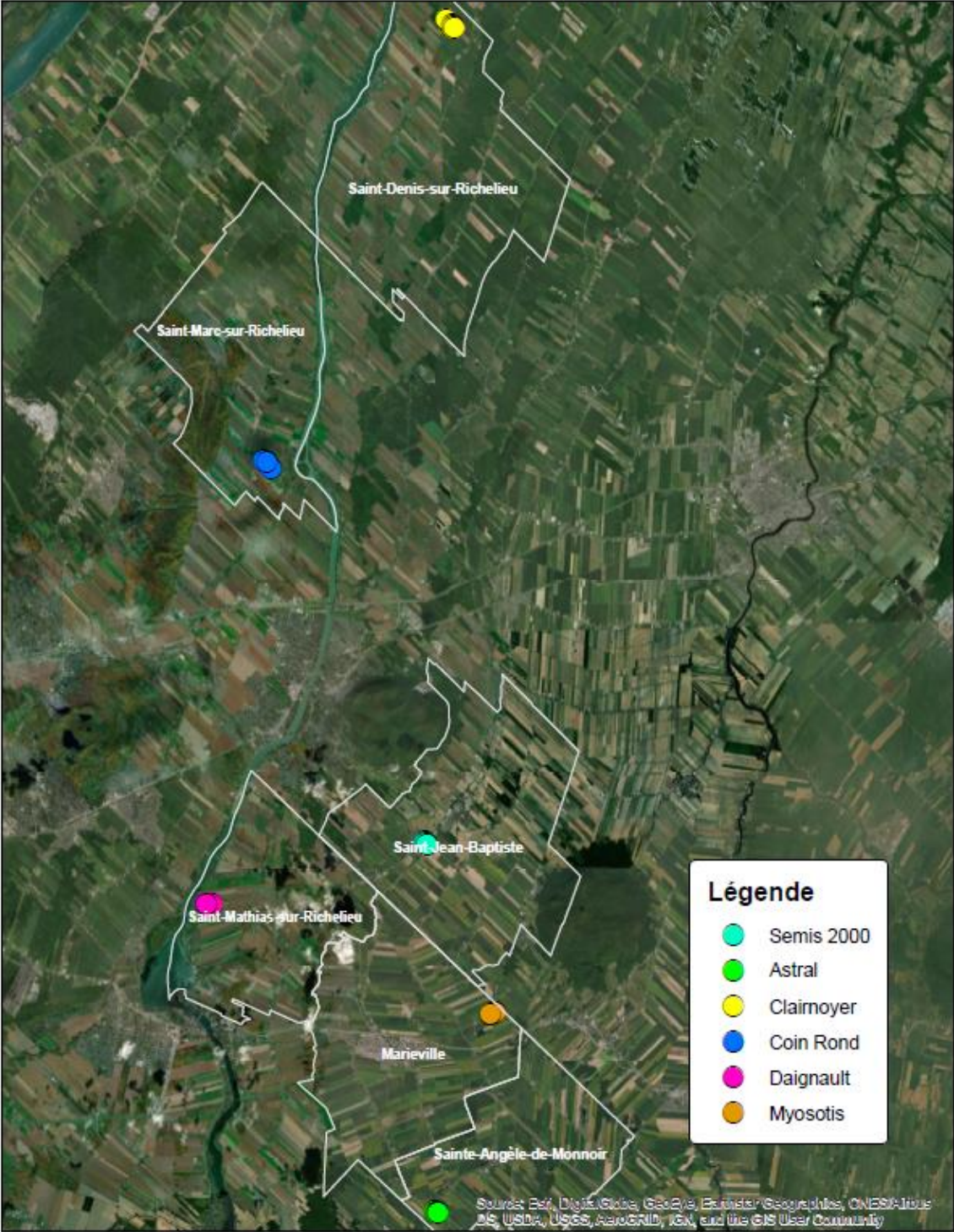
REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet de recherche a été réalisé grâce à une aide financière accordée par le Programme Prime-Vert Volet 2, sous-volet 2.1 Approche régionale du Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des pêcheries du Québec. L'auteure remercie également les entreprises agricoles participantes au projet pour leur accueil. L'équipe de réalisation reconnaît également l'appui technique fourni par le personnel de recherche de l'IRDA et du Groupe ProConseil.

ANNEXES

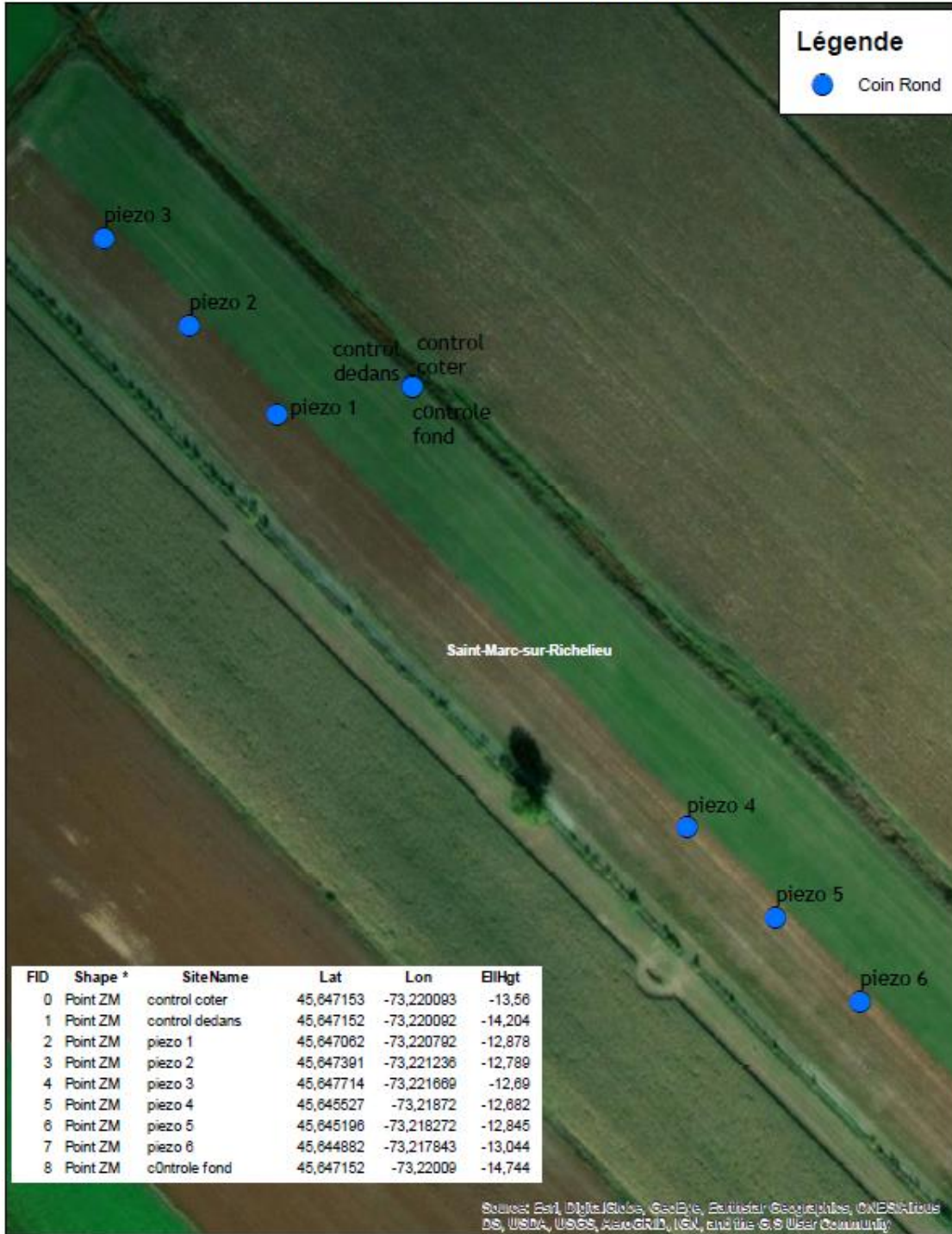
ANNEXE 1 : Carte de localisation des différents piézomètres

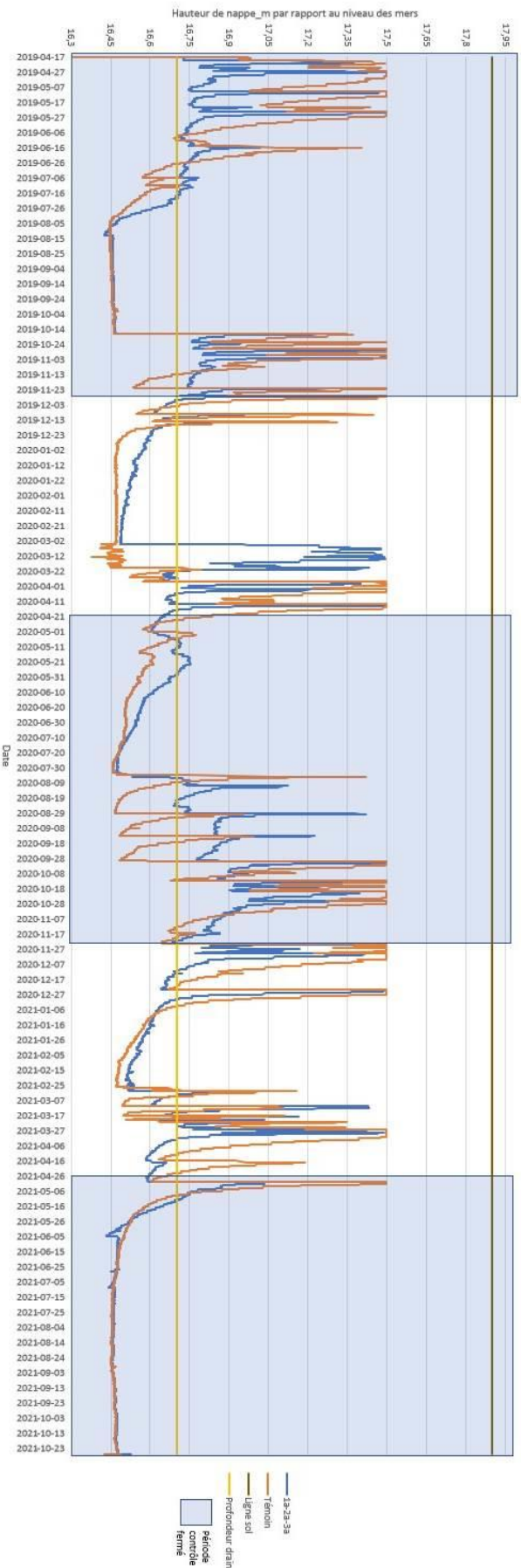
Carte de localisation des piézomètres



**ANNEXE 2 : Courbes des profondeurs de la zone humide et localisation des piézomètres
- Ferme Coin Rond**

Carte de localisation des piézomètres

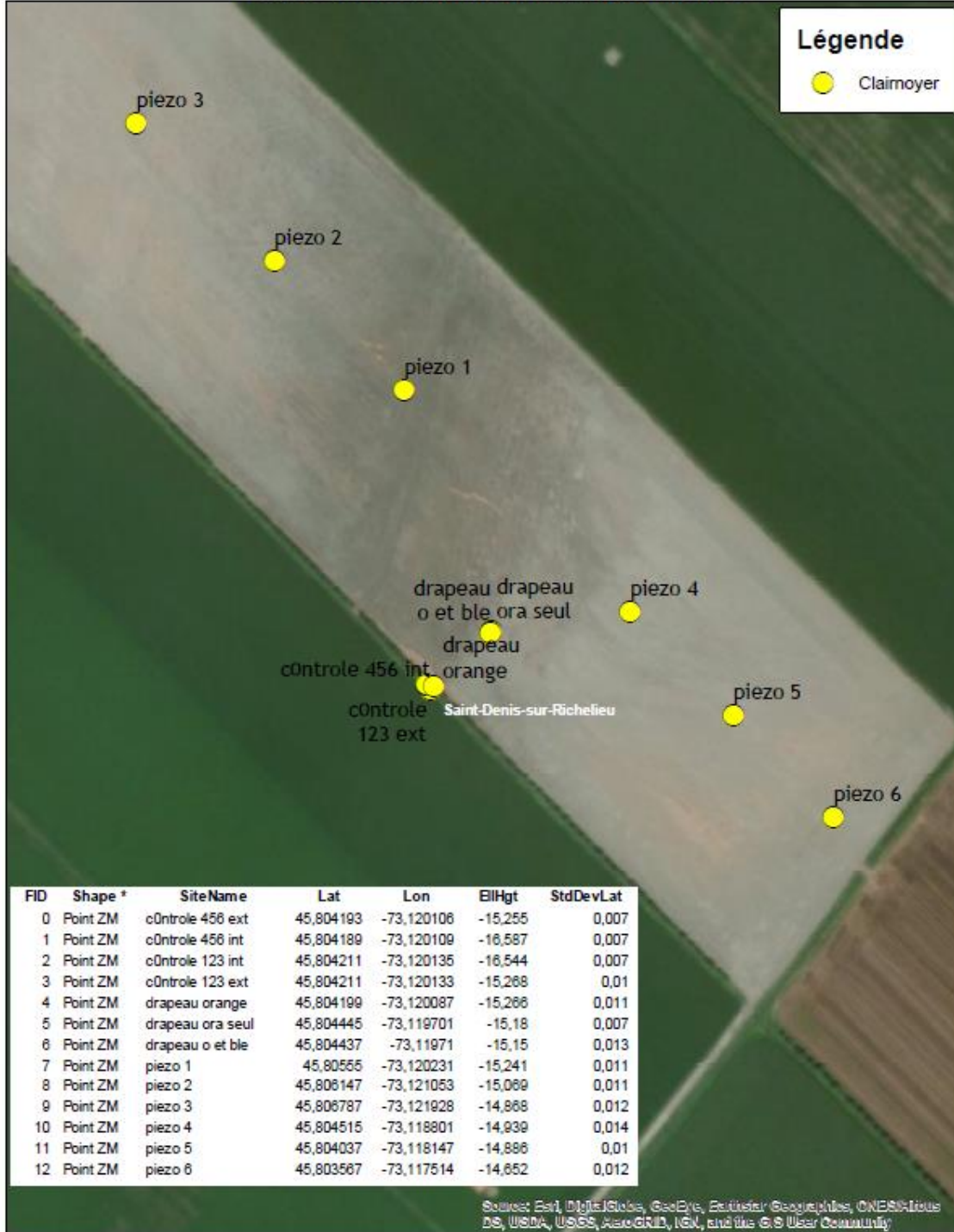


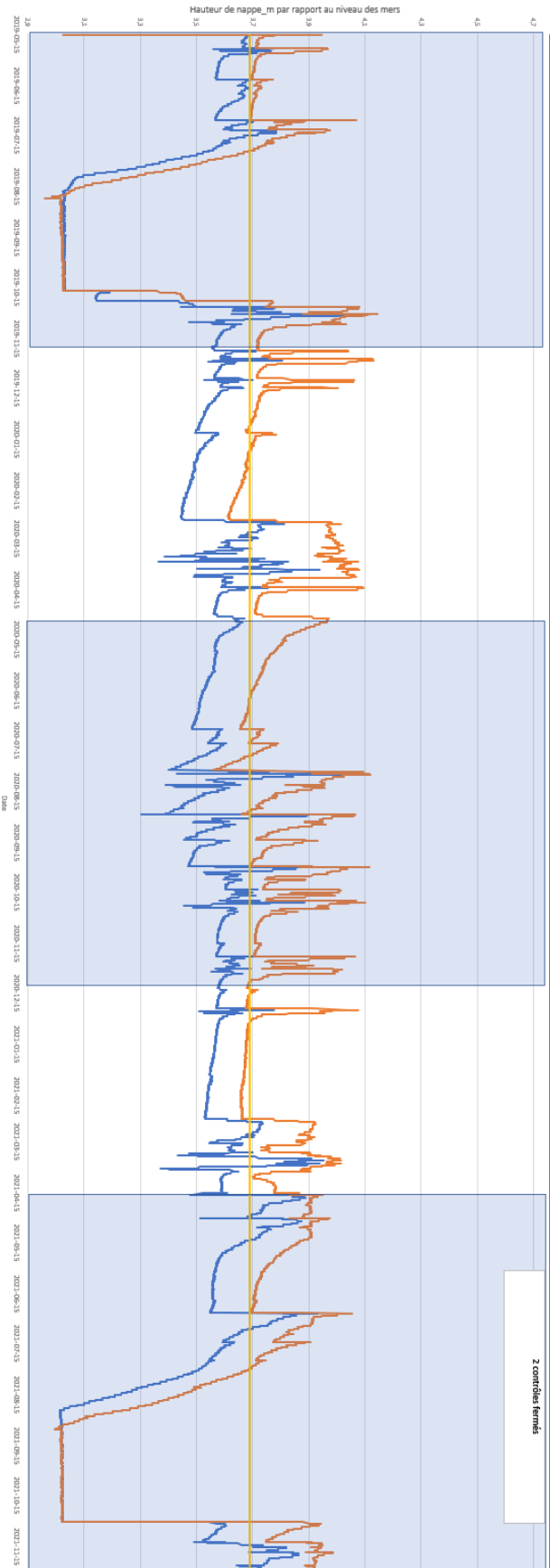


Ferme du Coin Rond

**ANNEXE 3 : Courbes des profondeurs de la zone humide et localisation des piézomètres
- Ferme Clair- Noyer inc.**

Carte de localisation des piézomètres





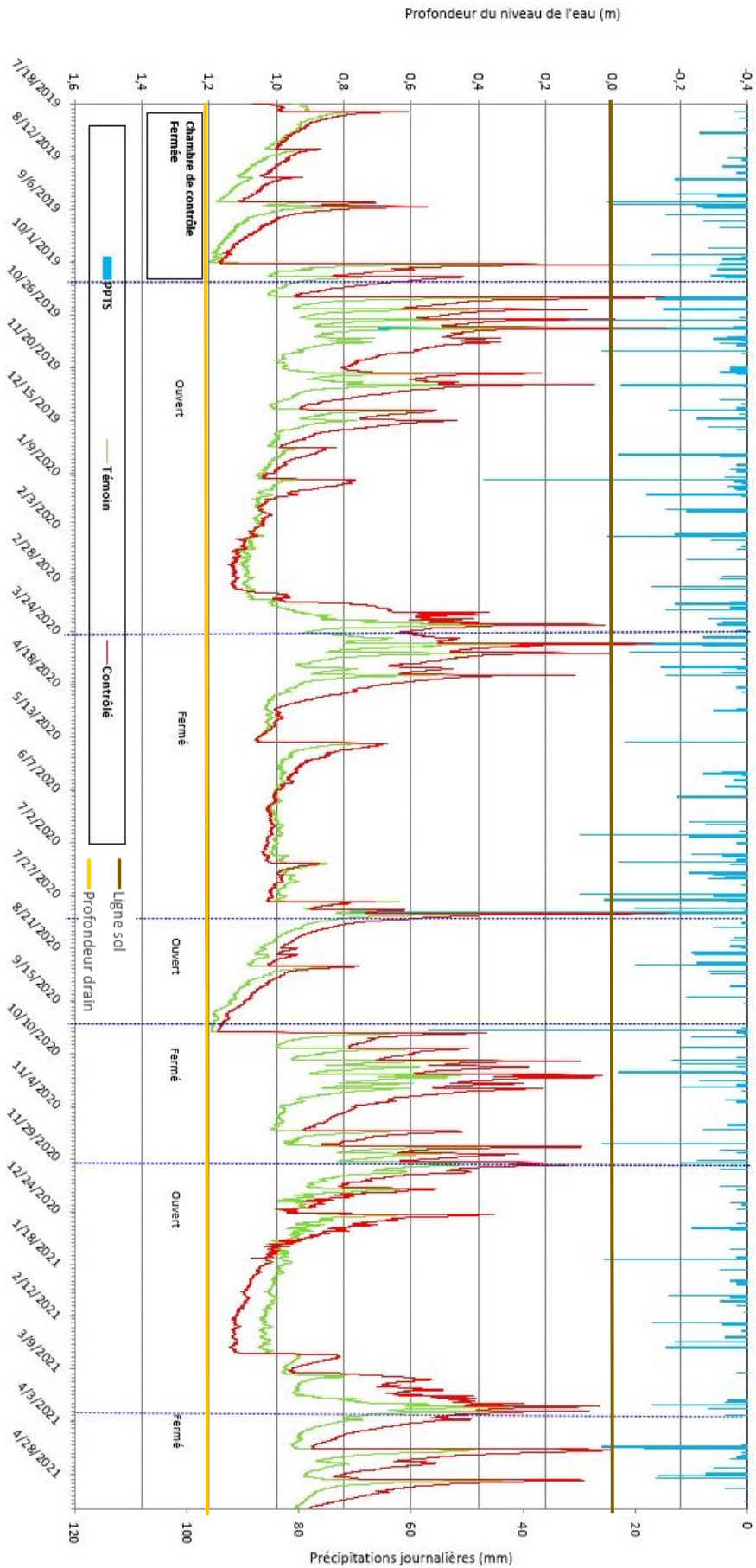
Clair-Noyer inc.

**ANNEXE 4 : Courbes des profondeurs de la zone humide et localisation des piézomètres
- Ferme Semis 2000**

Carte de localisation des piézomètres

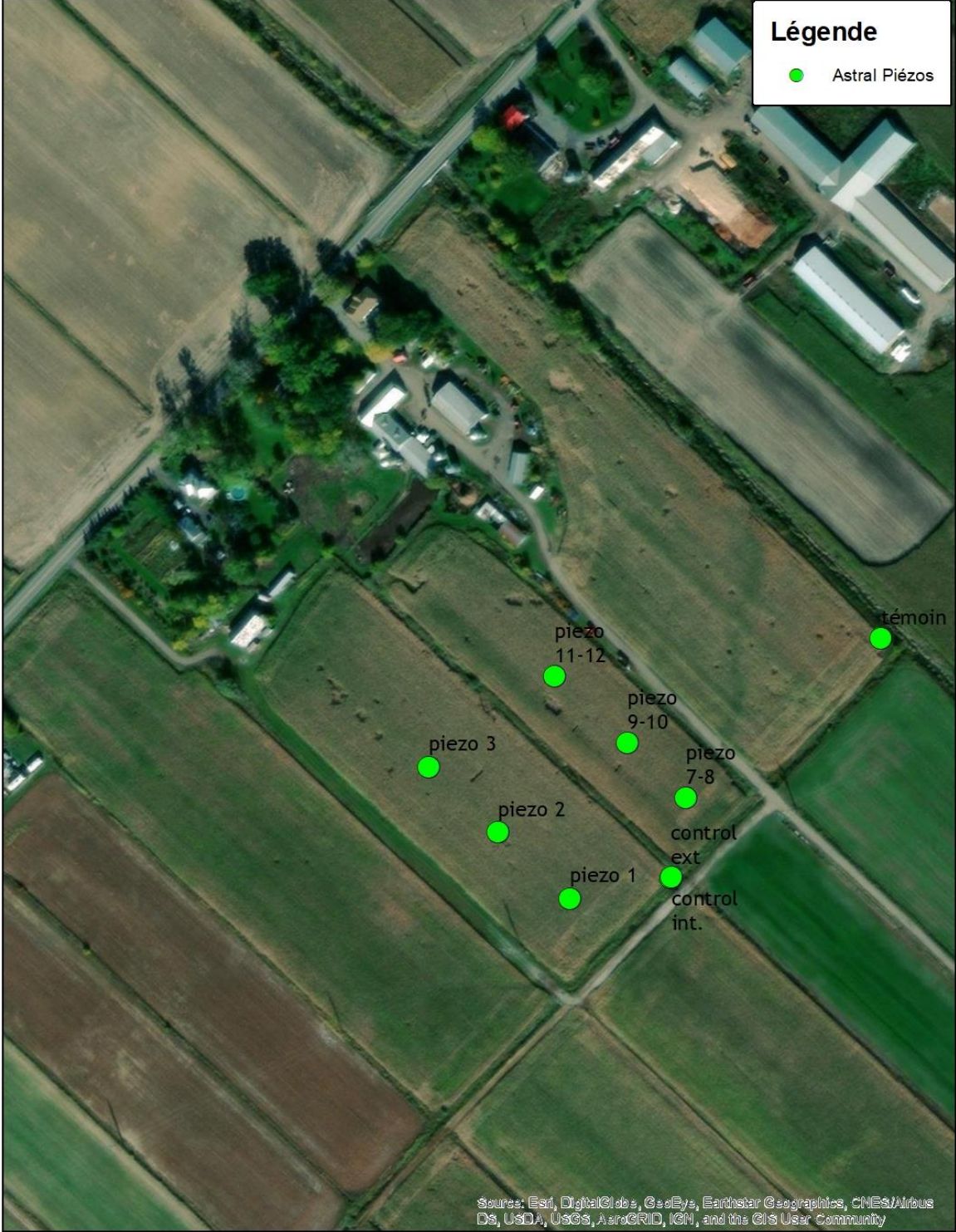


Ferme Semis_2000 - Profondeur de la nappe d'eau et précipitations



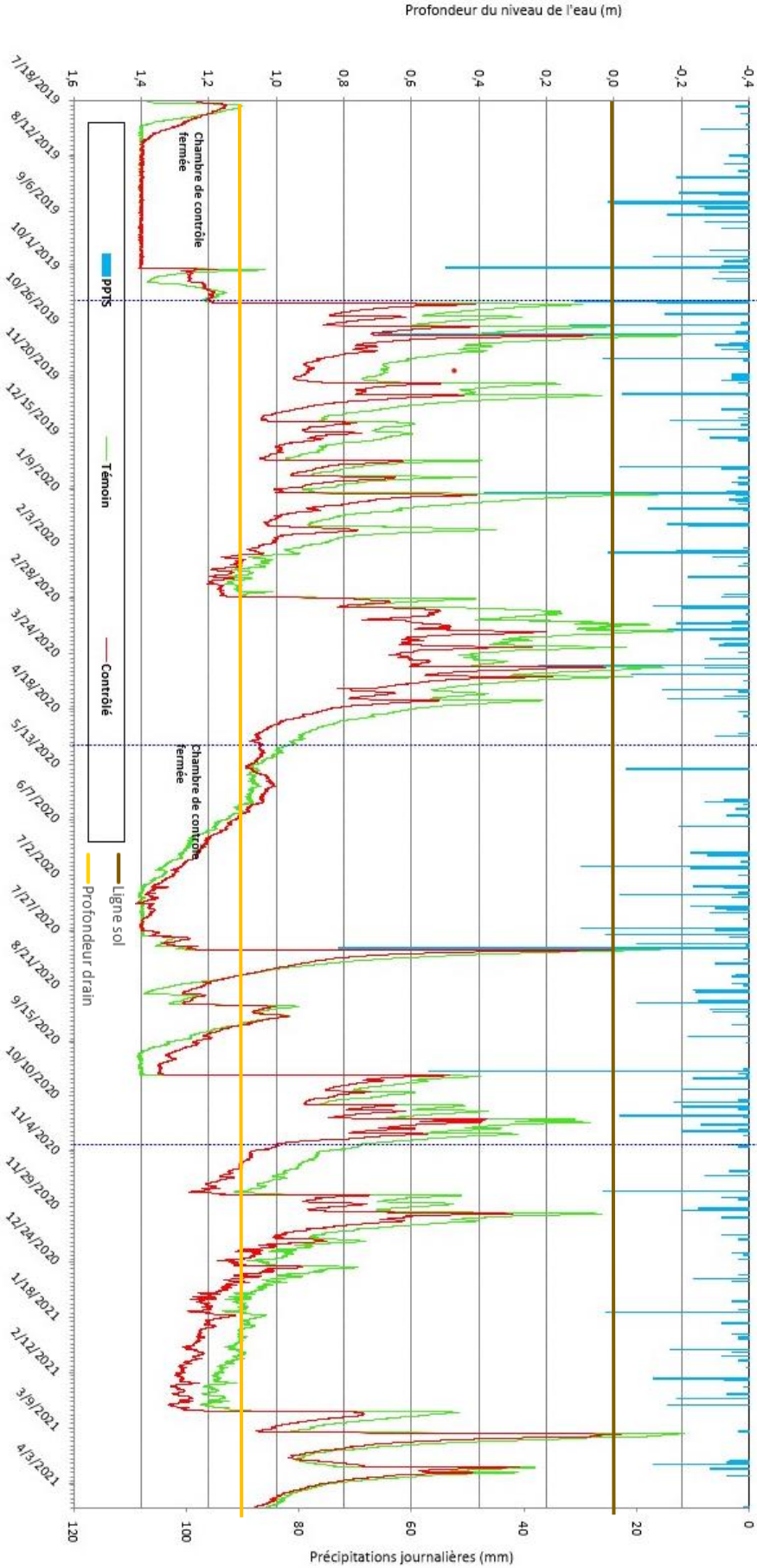
**ANNEXE 5 : Courbes des profondeurs de la zone humide et localisation des piézomètres
- Ferme Astral**

Carte de localisation des piézomètres



Chambre de control
fermée

Ferme Astral - Profondeur de la nappe d'eau et précipitations

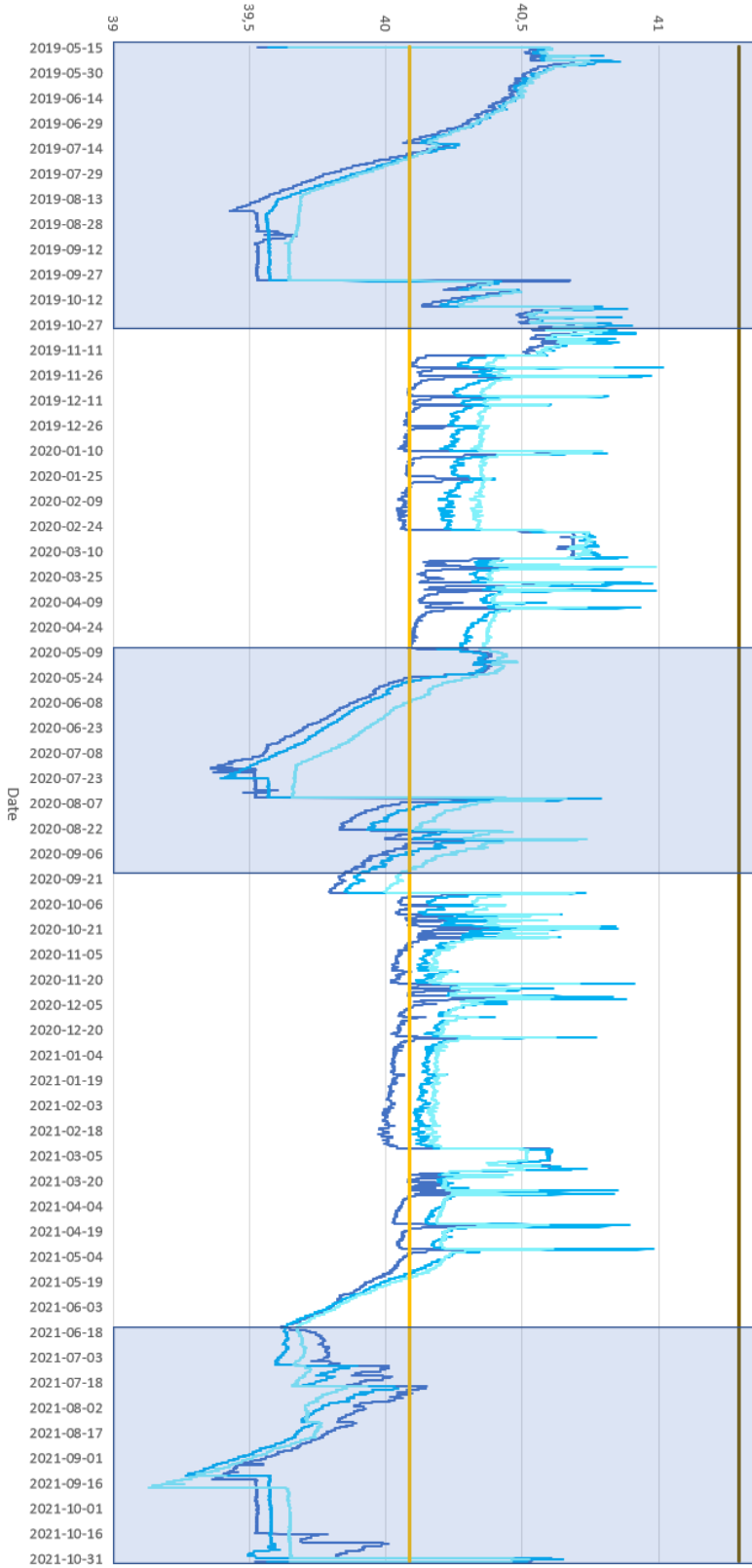


**ANNEXE 6 : Courbes des profondeurs de la zone humide et localisation des piézomètres
- Ferme Myosotis**

Carte de localisation des piézomètres



Hauteur de nappe_m par rapport au niveau des mers



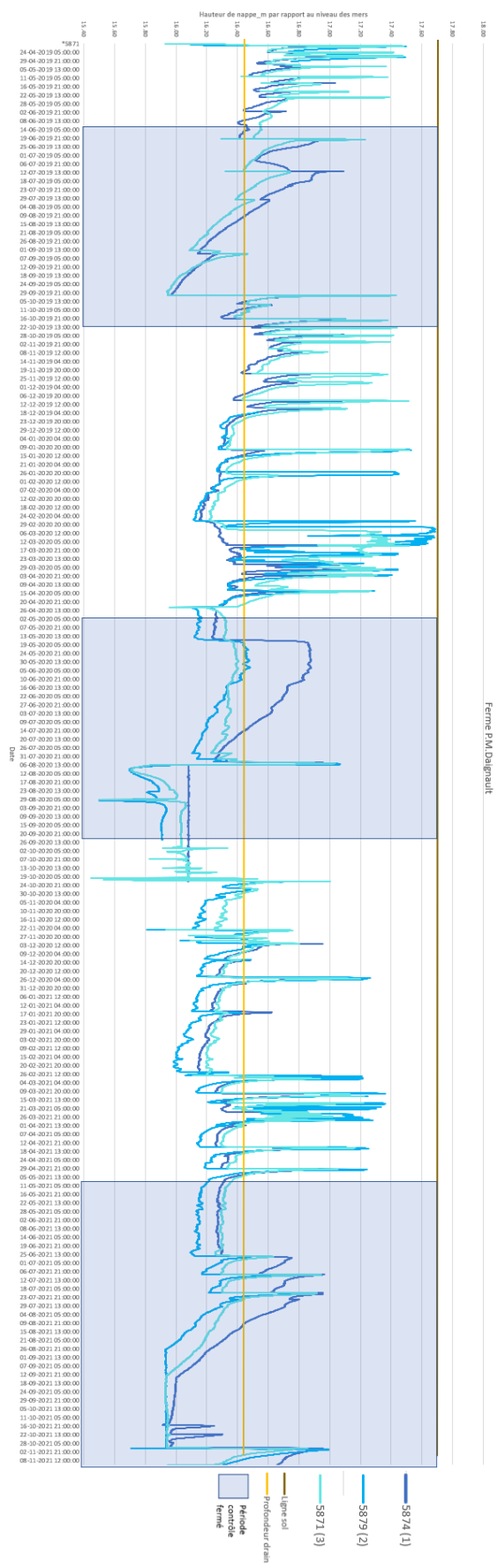
Ferme Myosotis 2019-2020-2021

- 5890 (1)
- 5870 (2)
- 5868 (3)
- Ligne sol
- Profondeur drain
- Période contrôle fermé

**ANNEXE 7 : Courbes des profondeurs de la zone humide et localisation des piézomètres
- Ferme PM Daignault**

Carte de localisation des piézomètres





Ferme PM Daignault

ANNEXE 8 : Rotation des cultures par type de drainage selon chacun des sites et dates des fermetures des contrôles

| Sites | | 2019 | 2020 | 2021 |
|--------------------|----------------------|------------|---------------|------------|
| Ferme du Coin Rond | Drainage contrôlé | Prairie | Prairie | Prairie |
| Ferme du Coin Rond | Témoin (Drain libre) | Prairie | Prairie | Prairie |
| Clair-Noyer | Drainage contrôlé | Chanvre | Soya | Maïs grain |
| Clair-Noyer | Témoin (Drain libre) | Chanvre | Soya | Maïs grain |
| Semis 2000 | Drainage contrôlé | Maïs grain | Soya | Blé |
| Semis 2000 | Témoin (Drain libre) | Maïs grain | Soya | Blé |
| Ferme Astral | Drainage contrôlé | Maïs grain | Maïs grain | Soya |
| Ferme Astral | Témoin (Drain libre) | Maïs grain | Maïs grain | Soya |
| Ferme PM Daignault | Drainage contrôlé | Prairie | Maïs ensilage | Soya |
| Ferme Myosotis | Drainage contrôlé | Prairie | Prairie | Prairie |

| Sites | 2019 | 2020 | 2021 |
|--------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Ferme du Coin Rond | 14 avril au 26 novembre | 26 avril au 16 novembre | 25 avril au 28 octobre |
| Clair-Noyer | 6 juin au 18 octobre | 25 avril au 1 ^{er} décembre | 15 avril au 30 novembre |
| Semis 2000 | 13 mai au 17 octobre | 23 mars au 6 décembre | 30 mars au 2 novembre |
| Ferme Astral | 10 juin au 17 octobre | 1 mai au 29 octobre | 1 mai au 11 novembre |
| Ferme PM Daignault | 12 juin au 18 octobre | 1 mai au 15 septembre | 21 mai au 3 décembre |
| Ferme Myosotis | 3 juin au 18 octobre | 7 mai au 30 septembre | 6 juillet au 3 décembre |

ANNEXE 9 : Rapports de dépistage des vers de terres – Ferme Jean Hamel

Évaluation Vers de terre 2019



| | |
|-------------------------|------------------|
| Date | 02-oct-19 |
| Évaluation réalisée par | Hv & LM |
| Heure | 10h |
| Humidité | |
| Nom de la ferme | Jean Hamel |
| Municipalité | St-jean-Baptiste |
| No champ | 17 |

| | | |
|-------------|--------------|---------------|
| Type de sol | sable | loam argileux |
| | loam sableux | argile |
| | loam | |

| | |
|----------------------|-----------------------------------|
| Série de sol | Saint-Urbain loam limono-argileux |
| % Matière organique | 4,2 |
| Abondance de résidus | peu moyen abondant |

| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|----------------------|------|------|---------|------|
| Culture | | Soya | Blé aut | Maïs |
| travail de printemps | | | | |
| travail d'automne | | | | |
| fumure organique | | | | |
| engrais vert | | | | |

Dimensions du puit po x po x 8 po (par défaut 8X8X8 po)

| No échantillons | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|----|
| trous en surface ou cabane | 3 | | | 4 | 3 |
| vers anéciques | 1 | 1 | 0 | 1 | |
| vers endogés | 3 | 5 | 2 | 4 | 0 |
| vers épigés | 1 | 3 | 3 | 5 | |
| Allobophora chlorotica | | | | | |
| Vers immatures | | | | | 2 |
| Nombre total de vers | 5 | 9 | 5 | 10 | 2 |
| Nombre de vers/m2 | 125 | 225 | 125 | 250 | 50 |
| ratio anécique/total | 4 | 8 | 0 | 9 | 0 |
| % proportion verdatre | | | | | |
| Commentaires | | | | | |

Évaluation Vers de terre 2021



| | |
|-------------------------|------------------|
| Date | 14-sept-21 |
| Évaluation réalisée par | HD, AC |
| Heure | 12h45 |
| Humidité | |
| Nom de la ferme | Jean Hamel |
| Municipalité | St-jean-Baptiste |
| No champ | 17 |

| | | |
|-------------|--------------|---------------|
| Type de sol | sable | loam argileux |
| | loam sableux | argile |
| | loam | |

| | |
|----------------------|-----------------------------------|
| Série de sol | Saint-Urbain loam limono-argileux |
| % Matière organique | 4,2 |
| Abondance de résidus | peu moyen abondant |

| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|----------------------|---------|------|------|------|
| Culture | Blé aut | Maïs | Maïs | Soya |
| travail de printemps | | | | |
| travail d'automne | | | | |
| fumure organique | | | | |
| engrais vert | | | | |

Dimensions du puit po x po x 8 po (par défaut 8X8X8 po)

| No échantillons | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------|----|----|----|----|-----|
| trous en surface ou cabane | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| vers anéciques | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| vers endogés | 2 | 2 | 0 | 3 | 1 |
| vers épigés | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Allobophora chlorotica | | | | | |
| Vers immatures | 0 | 0 | 3 | 0 | 9 |
| Nombre total de vers | 2 | 2 | 3 | 3 | 10 |
| Nombre de vers/m2 | 50 | 50 | 75 | 75 | 250 |
| ratio anécique/total | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| % proportion verdatre | | | | | |
| Commentaires | | | | | |

Évaluation Vers de terre 2020



| | | | |
|-------------------------|----------------------------|---------------|----------|
| Date | 23 sept. 2020 | | |
| Évaluation réalisée par | AC, HV | | |
| Heure | 13h00 | | |
| Humidité | | | |
| Nom de la ferme | Ferme du Coin-Rond | | |
| Municipalité | Saint-Marc-sur-Richelieu | | |
| No champ | 4 | | |
| Type de sol | sable | loam argileux | |
| | loam sableux | argile | |
| | loam | | |
| Série de sol | St-Urbain argile limoneuse | | |
| % Matière organique | 5,3 | | |
| Abondance de résidus | peu | moyen | abondant |

| | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Culture | Soya | Lin | Orge | Prairie |
| travail de printemps | Semis-direct | Semis-direct | Semis-direct | Prairie |
| travail d'automne | Semis-direct | Semis-direct | Semis-direct | Semis-direct |
| fumure organique | | | | |
| engrais vert | | | | |

Dimensions du puit po x po x 8 po (par défaut 8X8X8 po)

| No échantillons | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------|----|------|-----|------|-----|
| trous en surface ou cabane | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 |
| vers anéciques | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| vers endogés | 1 | 9 | 0 | 6 | 5 |
| vers épigés | 0 | 6 | 2 | 9 | 9 |
| Allobophora chlorotica | | | | | |
| Vers immatures | 1 | 6 | 3 | 16 | 9 |
| Nombre total de vers | 2 | 23 | 7 | 33 | 24 |
| Nombre de vers/m2 | 50 | 575 | 175 | 825 | 600 |
| ratio anécique/total | 0 | 10,5 | 2,5 | 15,5 | 23 |
| % proportion verdatre | | | | | |
| Commentaires | | | | | |

Évaluation Vers de terre 2021



| | |
|-------------------------|--------------------------|
| Date | 14-sept-21 |
| Évaluation réalisée par | HD, AC |
| Heure | 10h40 |
| Humidité | |
| Nom de la ferme | Ferme du Coin-Rond |
| Municipalité | Saint-Marc-sur-Richelieu |
| No champ | 4 |

| | | |
|-------------|--------------|---------------|
| Type de sol | sable | loam argileux |
| | loam sableux | argile |
| | loam | |

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| Série de sol | St-Urbain argile limoneuse |
| % Matière organique | 5,3 |
| Abondance de résidus | peu moyen abondant |

| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|----------------------|--------------|--------------|---------|---------|
| Culture | Lin | Orge | Prairie | Prairie |
| travail de printemps | Semis-direct | Semis-direct | Prairie | Prairie |
| travail d'automne | Semis-direct | Semis-direct | Prairie | Prairie |
| fumure organique | | | | |
| engrais vert | | | | |

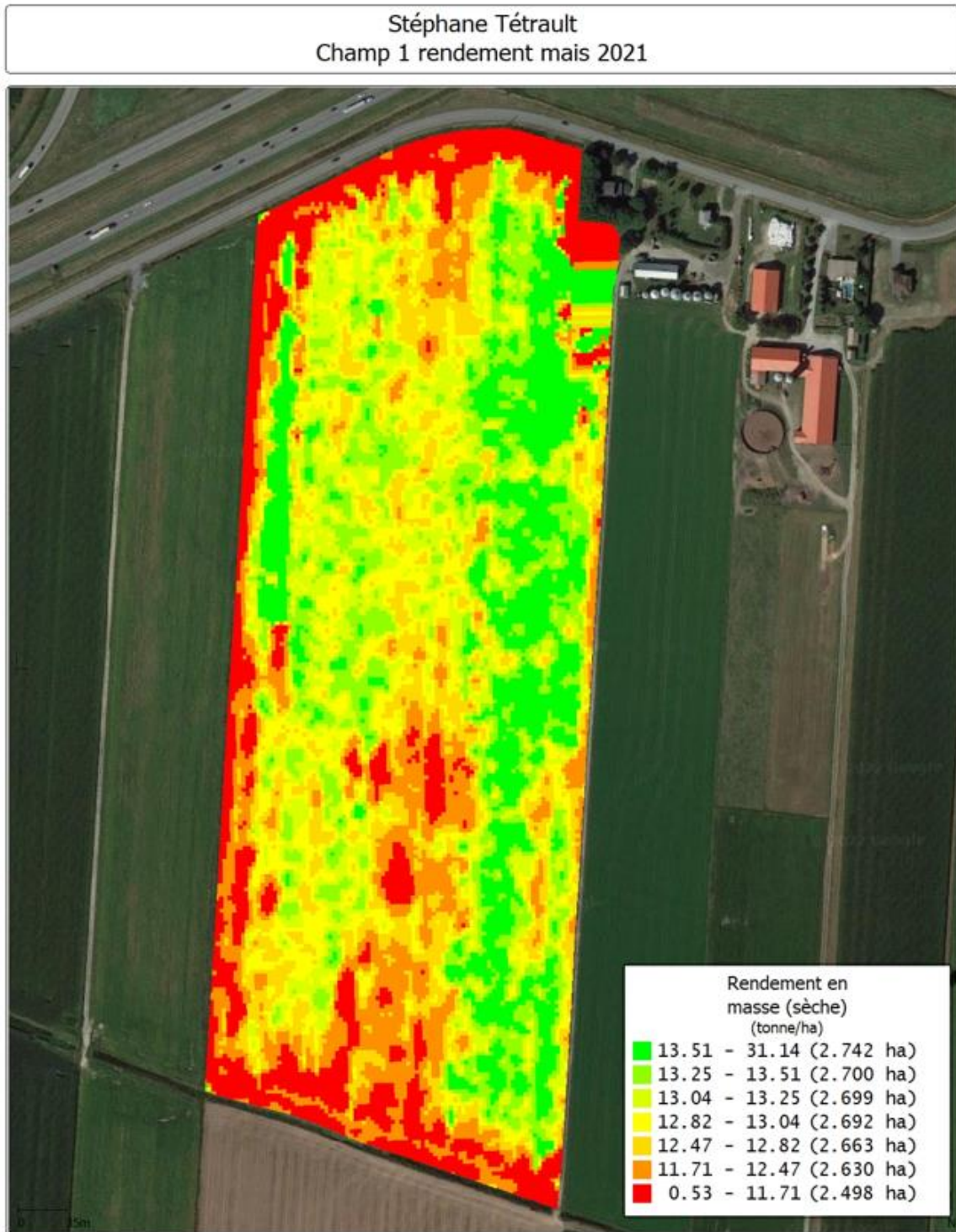
Dimensions du puit po x po x 8 po (par défaut 8X8X8 po)

| No échantillons | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| trous en surface ou cabane | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| vers anéciques | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| vers endogés | 5 | 10 | 6 | 11 | 8 |
| vers épigés | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Allobophora chlorotica | | | | | |
| Vers immatures | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nombre total de vers | 5 | 10 | 6 | 11 | 8 |
| Nombre de vers/m2 | 125 | 250 | 150 | 275 | 200 |
| ratio anécique/total | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| % proportion verdatre | | | | | |
| Commentaires | | | | | |

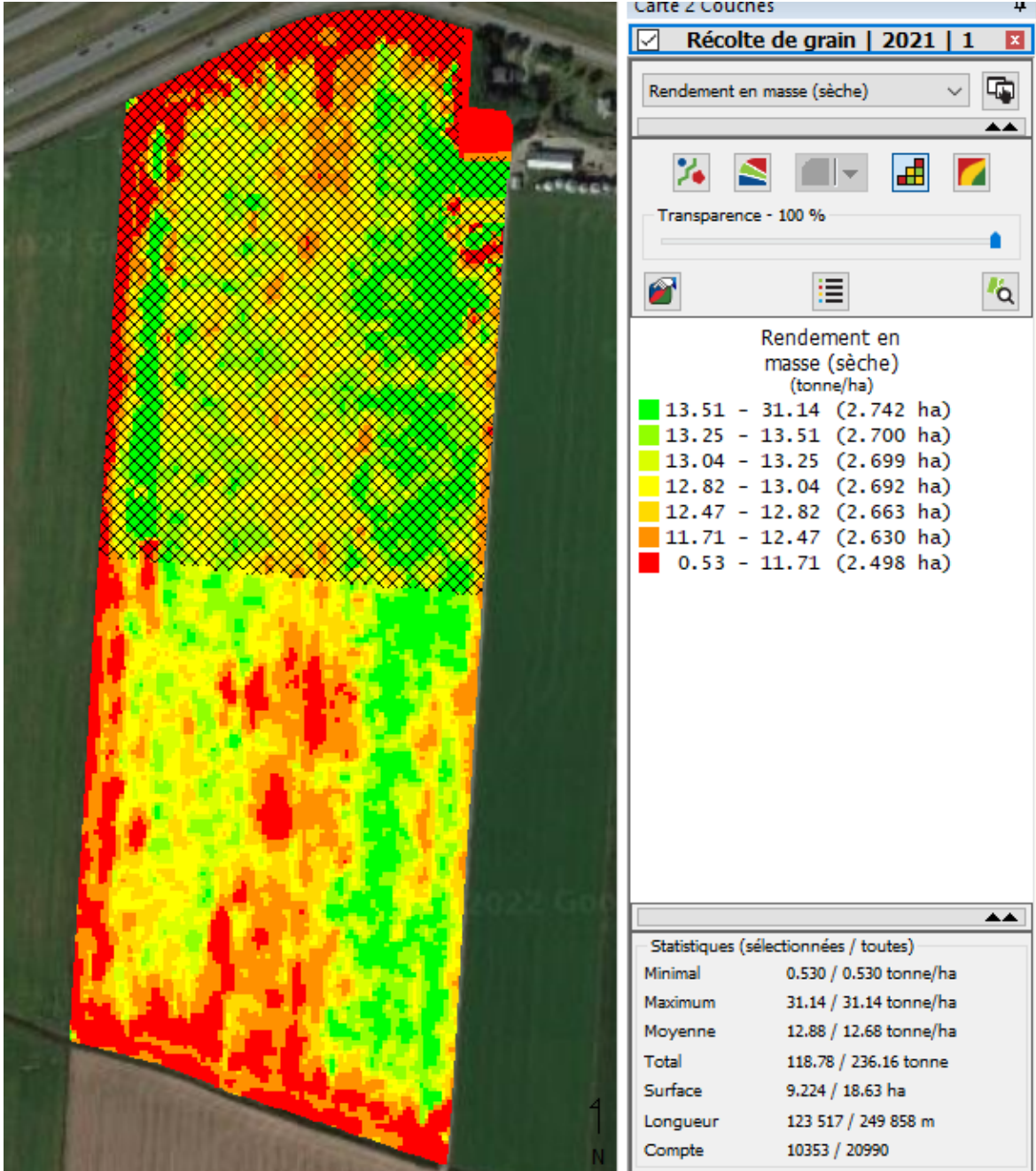
| Site | Élément | MES | N-NH4 | N-NO3+N-NO2 | P réactif | P Per. | P | K | Ca | Mg | Na | Conductivité P NaOH+EDTA | | |
|-------------------|------------------|-------|-------|-------------|-----------|--------|-------|------|------|------|------|--------------------------|------|--|
| | Unité Date | mg/l | mg/l | mg/l | ug/l | ug/l | ug/l | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | uS/cm à 25 ug/l | | |
| Site A - Témoin | 2019 10 03 13.00 | 11 | 0,019 | 0 | 120 | 282 | 165 | 3,46 | 10,6 | 3,35 | 6,30 | 126 | 164 | |
| | 2019 10 18 12.00 | 161 | 0 | 2,62 | 55 | 248 | 59 | 0,75 | 36,6 | 15,1 | 44,7 | 501 | 167 | |
| | 2019 11 21 12.00 | 16 | 0,029 | 0,43 | 28 | 55 | 24 | 2,03 | 79 | 41,2 | 184 | 1565 | 52 | |
| | 2019 11 28 12.00 | 84 | 0 | 2,41 | 30 | 166 | 30,7 | 1,29 | 40,1 | 16,4 | 40 | 498 | 80 | |
| | 2019 12 10 12.00 | 99 | 0,43 | 2,77 | 137 | 495 | 164 | 6,39 | 62,5 | 20,3 | 53,7 | 697 | 350 | |
| | 2020 03 21 11.15 | 46 | 0,504 | 1,46 | 120 | 371 | 141 | 0,83 | 48,6 | 20,8 | 51,3 | 628 | 216 | |
| | 2020 03 30 11.00 | 160 | 0 | 2,46 | 97 | 347 | 0,102 | 3,58 | 57,9 | 15,5 | 56,4 | 714 | 251 | |
| | 2020 04 08 17.30 | 91 | 0 | 1,38 | 73 | 227 | 88,3 | 4,79 | 67,7 | 19,6 | 58,9 | 731 | 198 | |
| | 2020 04 24 14.00 | 17 | 0 | 0,28 | 45 | 209 | 50 | 4,09 | 84,0 | 25,2 | 56,8 | 808 | 208 | |
| | 2020 08 05 11.00 | 348 | 0,055 | 0,60 | 130 | 592 | 160 | 2,25 | 12,7 | 4,24 | 9,15 | 136 | 376 | |
| | 2020 08 06 17.00 | 24 | 0,113 | 0,34 | 201 | 297 | 232 | 5,16 | 66,7 | 18,8 | 56,3 | 688 | 236 | |
| | 2020 09 30 10.00 | 198 | 0,255 | 2,53 | 31 | 282 | 46,2 | 1,04 | 28,3 | 11,3 | 34,4 | 372 | 71 | |
| | 2020 10 01 10.00 | 112 | 0,099 | 2,08 | 17 | 204 | 34,5 | 1,56 | 58,1 | 26,1 | 109 | 995 | 102 | |
| | 2020 10 22 11.00 | 5 | 0 | 12,6 | 94 | 122 | 0,099 | 12,9 | 112 | 27,5 | 6,39 | 801 | 104 | |
| | 2021 01 15 09.45 | 36 | 0,19 | 0,43 | 21 | 150 | 153 | 21 | 3,04 | 76,2 | 24,3 | 56,5 | 792 | |
| | 2021 05 11 09.15 | 77 | 0,122 | 0,25 | 179 | 362 | 0,219 | 3,80 | 77,6 | 24,9 | 58,6 | 796 | 269 | |
| Site A - Contrôlé | 2019 10 03 13.00 | 20 | 0,066 | 0,11 | 4 | 77 | 15,2 | 1,84 | 37,7 | 20,2 | 79,9 | 718 | 31 | |
| | 2019 10 18 12.00 | 188 | 0 | 6,00 | 93 | 367 | 102 | 1,88 | 43,3 | 16,3 | 47,5 | 553 | 254 | |
| | 2019 11 21 12.00 | 12 | 0 | 2,11 | 46 | 82 | 46 | 3,63 | 76 | 34,5 | 157 | 1361 | 67 | |
| | 2019 11 28 12.00 | 44 | 0 | 4,07 | 46 | 131 | 50,1 | 3 | 52,1 | 20,9 | 69,6 | 720 | 87 | |
| | 2019 12 10 12.00 | 0 | 0 | 2,43 | 34 | 61 | 34,5 | 3,98 | 88,9 | 39,2 | 163 | 1465 | 49 | |
| | 2020 03 13 15.45 | 13 | 0 | 0,9 | 75 | 134 | 89 | 2,21 | 27,1 | 10,6 | 50,0 | 457 | 107 | |
| | 2020 03 21 11.30 | 8 | 0,033 | 2,05 | 57 | 121 | 70,9 | 1,58 | 50,2 | 22,2 | 68,9 | 713 | 85 | |
| | 2020 03 30 11.15 | 228 | 0,269 | 4,67 | 62 | 120 | 0,069 | 3,93 | 72,4 | 29,4 | 109 | 1151 | 77 | |
| | 2020 04 08 17.45 | 0 | 0,037 | 3,10 | 46 | 68 | 50,0 | 4,66 | 95,2 | 40,0 | 162 | 1524 | 66 | |
| | 2020 04 24 14.00 | 0 | 0,08 | 2,40 | 54 | 96 | 65 | 4,51 | 103 | 45,0 | 179 | 1666 | 69 | |
| | 2020 08 06 17.00 | 0 | 0 | 7,04 | 98 | 133 | 105 | 9,21 | 105 | 32,3 | 127 | 1311 | 101 | |
| | 2020 09 30 10.15 | 108 | 0,288 | 2,73 | 20 | 325 | 38,3 | 2,34 | 37,3 | 14,4 | 49,7 | 515 | 89 | |
| | 2020 10 01 10.00 | 53 | 0,033 | 6,36 | 45 | 185 | 60,4 | 6,50 | 103 | 32,6 | 105 | 1226 | 115 | |
| | 2020 10 22 11.15 | 6 | 0 | 20,4 | 17 | 31 | 0,017 | 3,34 | 116 | 25,5 | 7,96 | 806 | 27 | |
| | 2021 01 15 08.45 | 0 | 0 | 1,69 | 40 | 73 | 84 | 22 | 4,18 | 82,4 | 44,9 | 180 | 1665 | |
| | 2021 05 11 09.15 | 0 | 0,027 | 6,06 | 50 | 74 | 0,050 | 5,41 | 109 | 45,8 | 174 | 1661 | 50 | |
| Site B - Témoin | 2019 10 03 14.00 | 51 | 0,091 | 5,6 | 127 | 286 | 146 | 4,6 | 49,9 | 11 | 2,49 | 349 | 207 | |
| | 2019 10 18 12.00 | 0 | 0 | 13,7 | 102 | 142 | 115 | 18,1 | 103 | 22,0 | 6,26 | 710 | 127 | |
| | 2019 11 21 12.00 | 0 | 0,029 | 14,7 | 36 | 49 | 35 | 20,9 | 137 | 33,7 | 8,88 | 952 | 48 | |
| | 2019 11 28 12.00 | 0 | 0,167 | 19,6 | 64 | 104 | 64 | 12,5 | 121 | 29,5 | 6,51 | 833 | 86 | |
| | 2019 12 10 12.00 | 0 | 0,001 | 18,2 | 36 | 50 | 36,6 | 18,1 | 144 | 37,6 | 9,38 | 992 | 48 | |
| | 2020 03 13 16.30 | 152 | 0 | 8,54 | 142 | 417 | 168 | 4,88 | 57,6 | 11,6 | 2,42 | 381 | 301 | |
| | 2020 03 21 12.15 | 0 | 0 | 10,3 | 59 | 113 | 67,2 | 5,63 | 96,6 | 23,7 | 4,38 | 635 | 92 | |
| | 2020 04 08 12.45 | 0 | 0 | 11,2 | 27 | 43 | 34,7 | 6,98 | 110 | 27,7 | 5,54 | 739 | 37 | |
| | 2020 04 24 14.00 | 0 | 0,17 | 11,7 | 50 | 61 | 59 | 8,29 | 123 | 31,9 | 7,11 | 824 | 57 | |
| | 2020 08 05 11.30 | 114 | 0,078 | 11,7 | 167 | 314 | 199 | 10,7 | 83,8 | 16,1 | 4,02 | 549 | 226 | |
| | 2020 08 06 18.00 | 0 | 0 | 15,0 | 68 | 92 | 72,9 | 22,6 | 131 | 29,6 | 7,79 | 891 | 86 | |
| | 2020 09 30 09.45 | 0 | 0,062 | 20,1 | 25 | 73,0 | 34,1 | 3,10 | 104 | 20,4 | 7,26 | 690 | 46 | |
| | 2020 10 01 09.00 | 12 | 0 | 16,2 | 19 | 58,0 | 19,6 | 3,85 | 123 | 25,9 | 8,99 | 801 | 41 | |
| | 2020 10 09 11.00 | 0 | 0,024 | 13,4 | 49 | 59,0 | 55,0 | 20,9 | 141 | 34,8 | 10,8 | 982 | 50 | |
| | 2020 10 19 13.00 | 2 | 0,023 | 15,4 | 43 | 53 | 62 | 42 | 18,6 | 134 | 34,3 | 8,36 | 919 | |
| | 2020 10 20 11.00 | 2 | 0 | 16,1 | 44 | 56 | 0,038 | 18,6 | 129 | 33,4 | 8,41 | 938 | 45 | |
| 2020 10 22 12.00 | 2 | 0,054 | 17,4 | 34 | 46 | 0,035 | 10,3 | 113 | 32,0 | 6,52 | 826 | 44 | | |
| 2021 01 15 11.00 | 0 | 0 | 15,5 | 48 | 96 | 125 | 13 | 57,5 | 94,2 | 42,3 | 23,0 | 1252 | | |
| 2021 03 30 12.00 | 78 | 0 | 1,93 | 56 | 188 | 0,062 | 1,07 | 37,8 | 15,7 | 44,8 | 527 | 98 | | |
| 2021 05 11 10.00 | 0 | 0,018 | 18,7 | 31 | 39 | 0,029 | 10,1 | 125 | 33,3 | 8,04 | 870 | 33 | | |
| Site B Contrôlé | 2019 10 03 13.00 | 17 | 0,238 | 3,56 | 144 | 215 | 173 | 3,27 | 26,0 | 4,75 | 1,70 | 187 | 178 | |
| | 2019 10 18 12.00 | 21 | 0 | 14,4 | 18 | 57 | 13 | 3,63 | 107 | 20,0 | 7,20 | 683 | 41 | |
| | 2019 11 21 12.00 | 0 | 0 | 15,1 | 12 | 19 | 7 | 3,70 | 120 | 26,0 | 9,60 | 779 | 19 | |
| | 2019 11 28 12.00 | 21 | 2,35 | 18,8 | 26 | 243 | 94,7 | 8,58 | 117 | 25,6 | 8,72 | 808 | 43 | |
| | 2019 12 10 12.00 | 0 | 0,027 | 16,0 | 13 | 38 | 7,82 | 3,62 | 126 | 29,6 | 9,09 | 820 | 21 | |
| | 2020 03 13 17.00 | 66 | 0 | 5,86 | 192 | 354 | 227 | 3,60 | 37,6 | 7,49 | 2,52 | 263 | 272 | |
| | 2020 03 21 12.00 | 0 | 0 | 14,3 | 40 | 71 | 48,2 | 2,95 | 107 | 23,0 | 6,69 | 685 | 62 | |
| | 2020 04 08 12.30 | 0 | 0 | 13,9 | 31 | 48 | 43,3 | 3,43 | 114 | 24,6 | 7,71 | 735 | 47 | |
| | 2020 08 05 11.45 | 0 | 0 | 23,0 | 30 | 70 | 37 | 3,37 | 113 | 20,8 | 6,49 | 720 | 47 | |
| | 2020 08 06 18.00 | 0 | 0 | 19,2 | 18 | 37 | 16,8 | 3,75 | 127 | 25,8 | 7,82 | 814 | 26 | |
| | 2020 09 30 09.00 | 13 | 0,136 | 11,5 | 268 | 381 | 308 | 17,9 | 87,6 | 18,1 | 5,75 | 619 | 345 | |
| | 2020 10 01 09.00 | 0 | 0,043 | 16,2 | 102 | 126 | 116 | 25,5 | 123 | 27,5 | 8,48 | 871 | 114 | |
| | 2020 10 09 10.45 | 0 | 0 | 15,9 | 12 | 27,0 | 10,2 | 4,48 | 135 | 30,1 | 10,7 | 883 | 13 | |
| | 2020 10 19 12.30 | 1 | 0,029 | 19 | 12 | 26 | 30 | 0 | 3,93 | 129 | 27,8 | 9,48 | 836 | |
| | 2020 10 20 10.45 | 1 | 0 | 18,4 | 17 | 40 | 0,001 | 3,39 | 98,8 | 30,0 | 9,56 | 875 | 30 | |
| | 2020 10 22 12.15 | 722 | 0 | 15,9 | 23 | 918 | 0,016 | 3,78 | 105 | 29,9 | 9,22 | 833 | 173 | |
| 2021 01 15 11.30 | 0 | 0 | 15,6 | 13 | 39 | 47 | 0 | 3,83 | 91,1 | 34,4 | 11,9 | 893 | | |
| 2021 03 30 12.15 | 49 | 0 | 4,89 | 73 | 155 | 0,077 | 3,74 | 64,6 | 22,8 | 64,5 | 815 | 105 | | |
| 2021 05 11 09.45 | 12 | 0,033 | 17,0 | 9 | 54 | 0,005 | 3,99 | 118 | 29,7 | 10,0 | 805 | 12 | | |

Annexe 12 : Cartes de rendement – Stéphane Tétrault (Maïs grain, 2021)

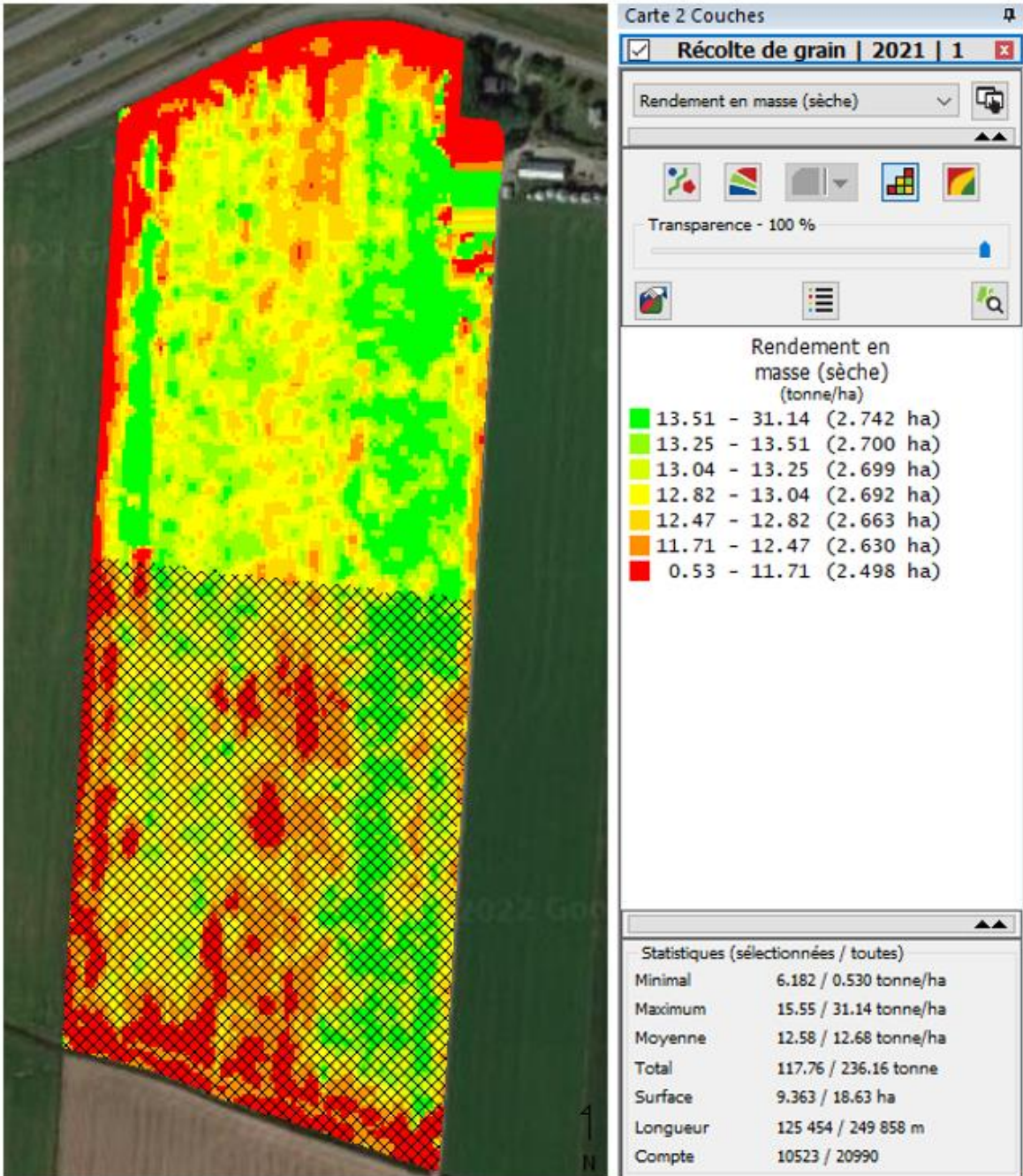
Carte de rendement



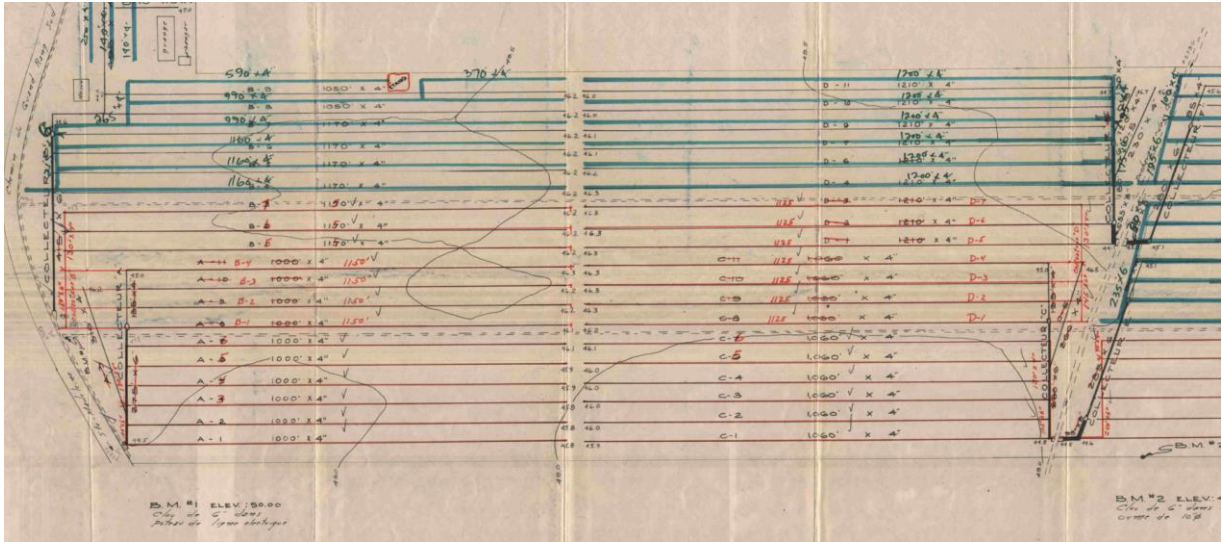
Drainage contrôlé



Drainage libre

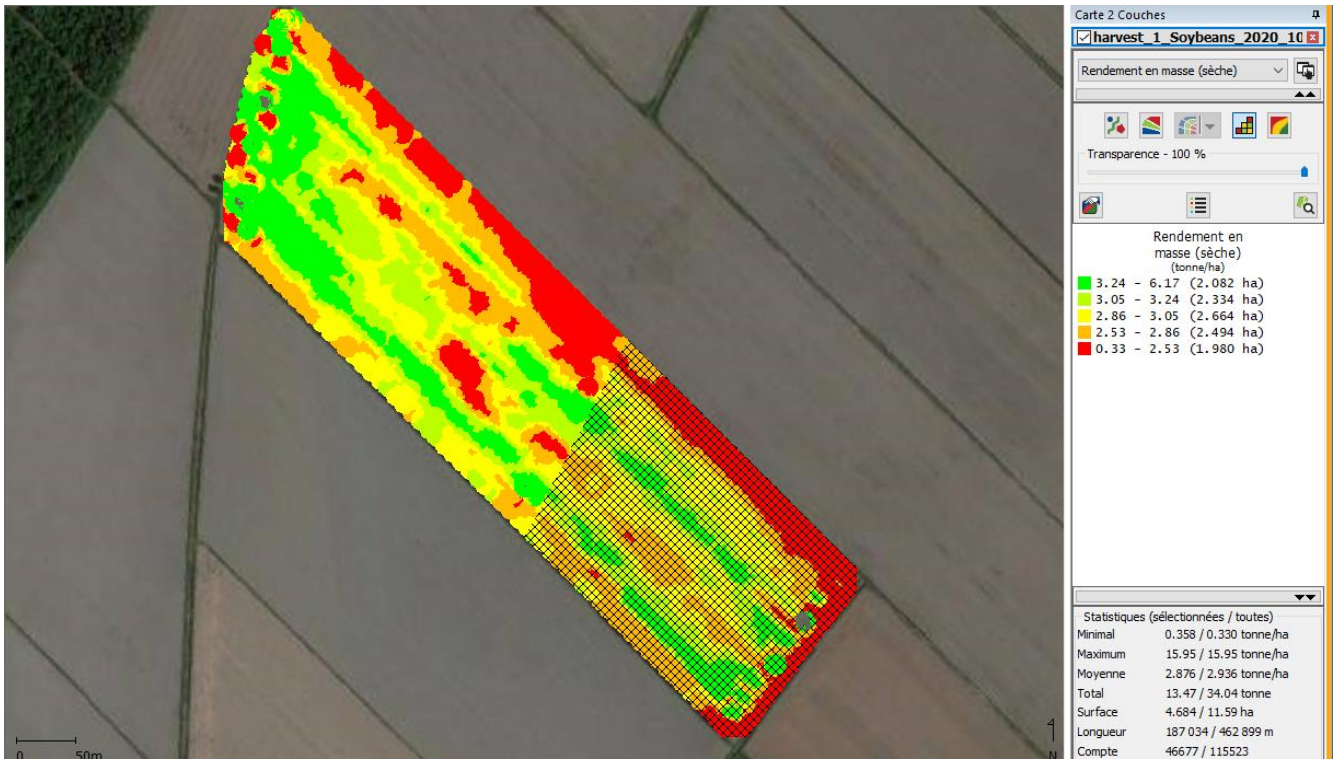


Plan de drainage

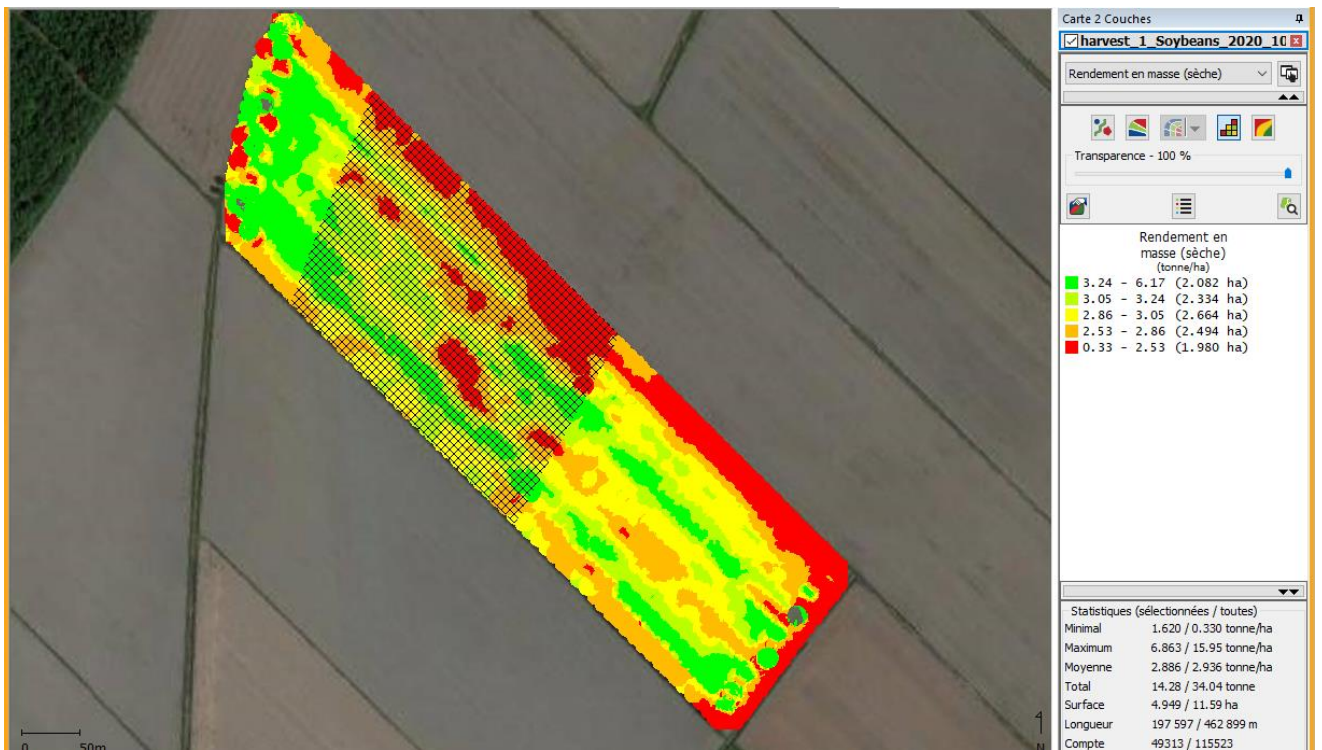


Annexe 13 : Cartes de rendement – Ferme Clair-Noyer (Soya, 2020)

Drainage contrôlé



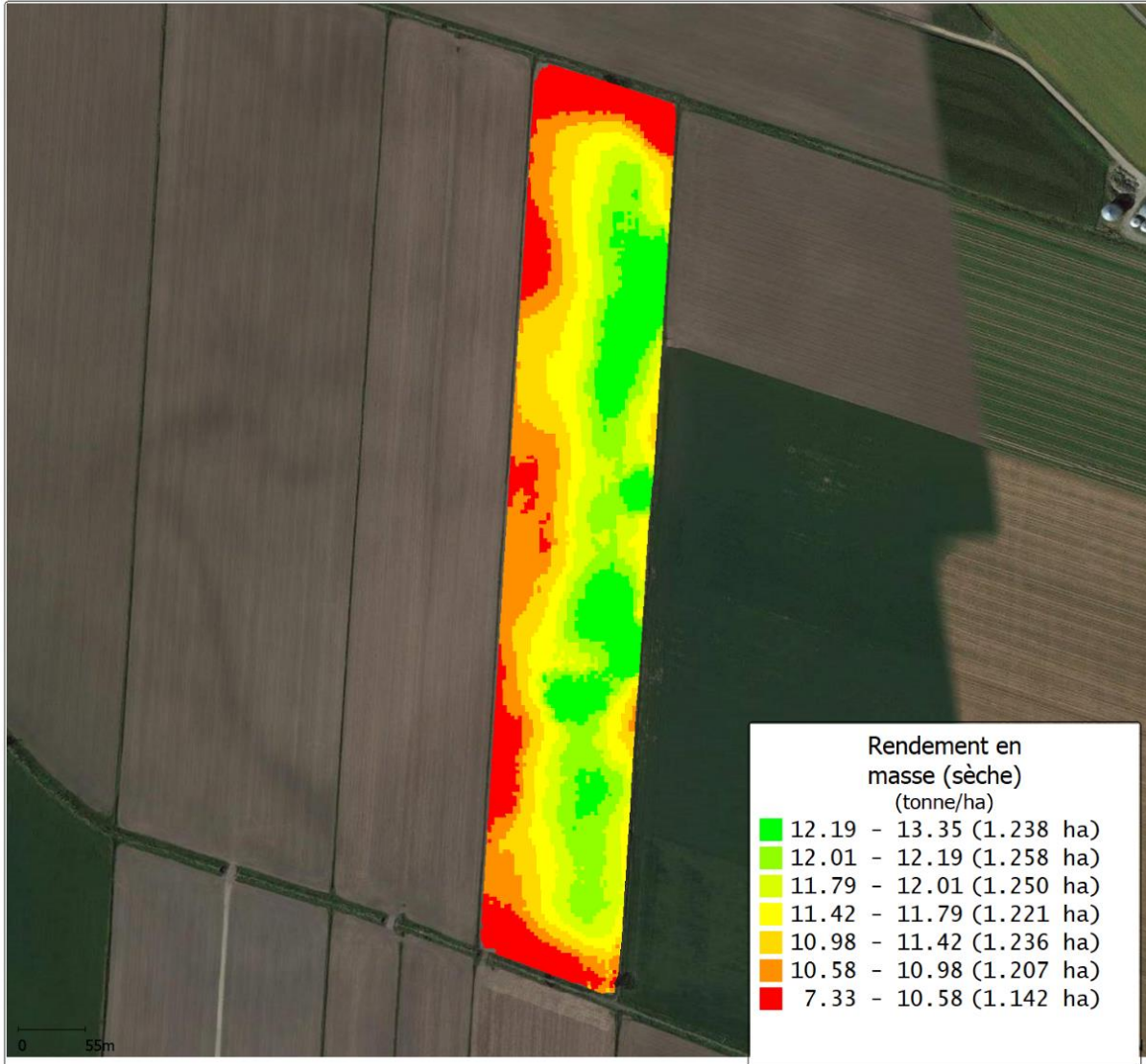
Drainage libre



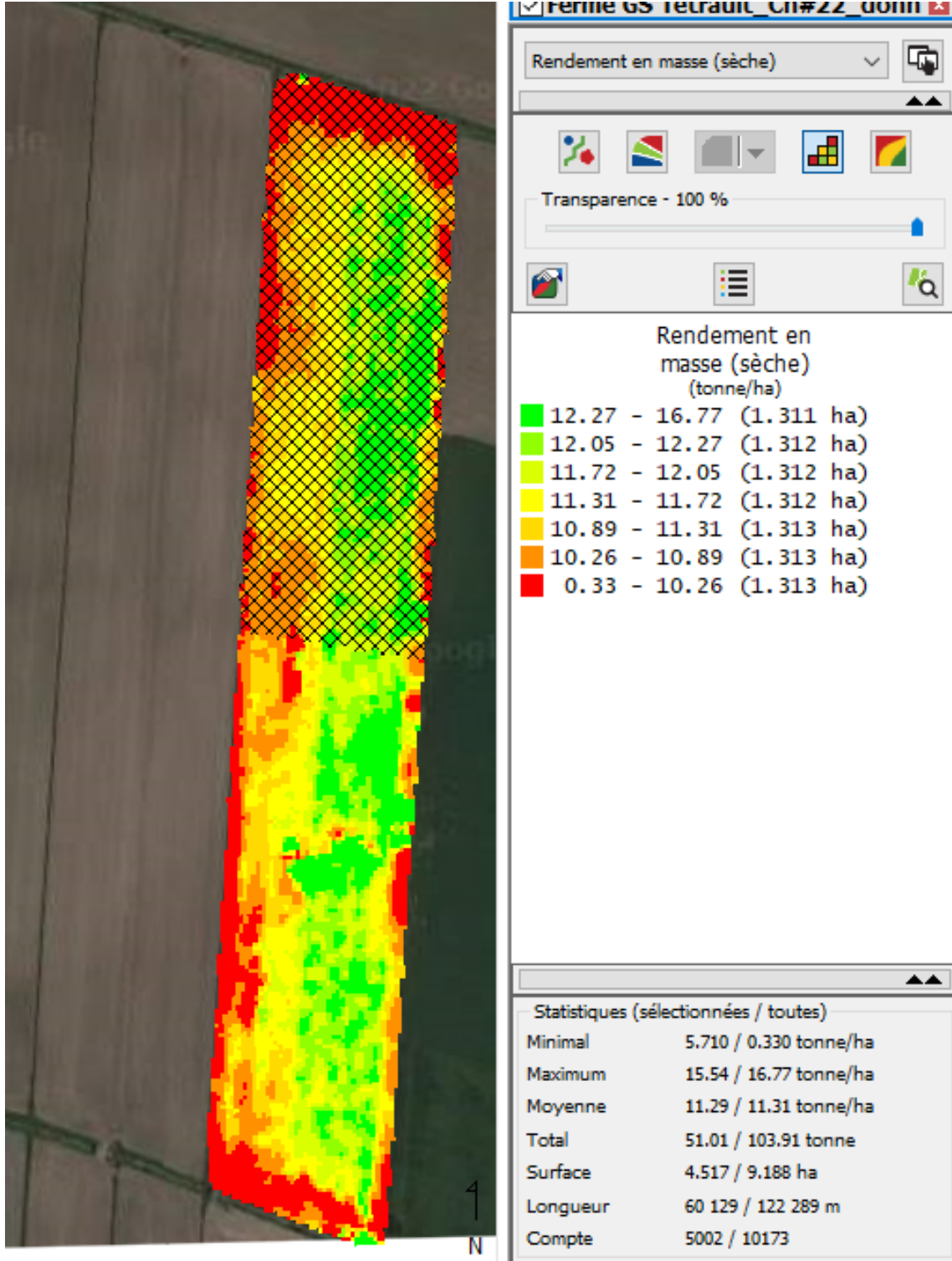
Annexe 14 : Cartes de rendement – Stéphane Tétrault (Maïs grain, 2020)

Carte de rendement

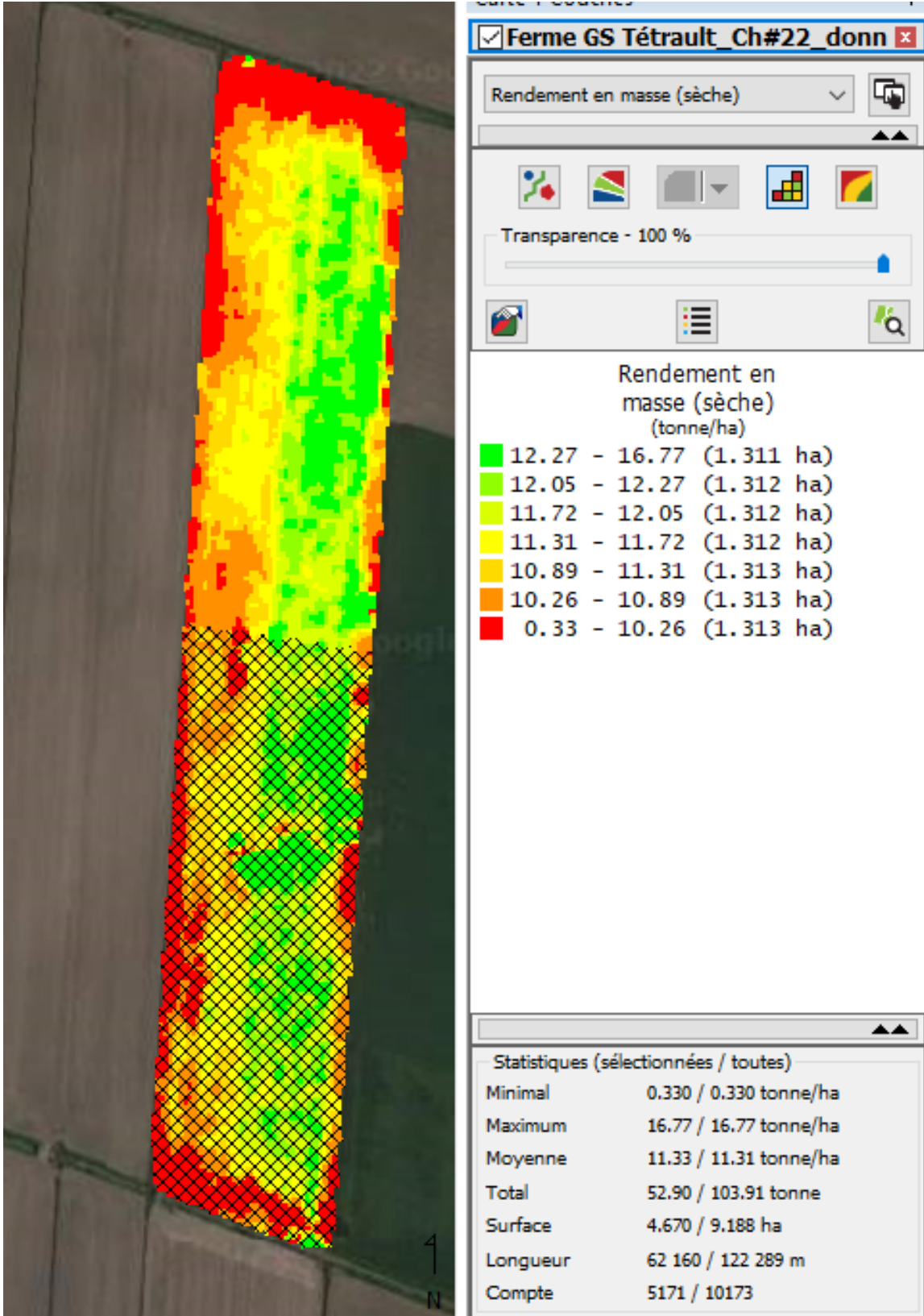
Récolte de grain 2020 - Champ 22(Maïs)



Drainage contrôlé



Drainage libre



Plan de drainage

