

Le bassin versant de la Rivière-Ouelle : des ressources à protéger



Portrait de la situation – Final



Québec 

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, dans le cadre du programme Prime-Vert

Janvier 2023

Table des matières

Mise en contexte	3
Superficies cultivées	4
Travail de sol.....	5
Couverture hivernale des sols	6
Bandes riveraines	8
Gestion des fertilisants	10
Gestion des pesticides	14
GéoDEP	18
Conclusion	19
Annexes.....	21

Mise en contexte

La rivière Ouelle est une rivière à saumon qui accueille également plusieurs espèces à statut particulier nécessitant un effort singulier de conservation : l'éperlan arc-en-ciel, l'anguille d'Amérique, le bar rayé et l'hirondelle des rivages. Afin d'en préserver la qualité de l'eau, des actions doivent être entreprises sur l'ensemble du bassin : aux champs, pour réduire les pertes de sol, d'éléments fertilisants et de pesticides, en bandes riveraines, et au niveau des milieux humides.

L'objectif général du projet est de permettre aux entreprises agricoles situées dans le bassin versant de la rivière Ouelle d'améliorer la qualité et la santé de leurs sols tout en réduisant les risques d'érosion des sols pour ainsi améliorer et préserver la qualité de l'eau.

La zone ciblée est incluse dans le bassin versant de la rivière Ouelle. Principalement dans la zone à forte densité agricole. Cette zone du bassin versant est située au nord du village de Saint-Pacôme. Une entreprise située au sud de cette zone participe également au projet.

Dans la zone ciblée, il y a 19 entreprises agricoles (20 en incluant l'entreprise située au sud du village). Ces entreprises cultivent approximativement 2130 hectares (2286 ha en incluant l'entreprise située au sud du village de St-Pacôme).

De ces 20 entreprises, 17 ont accepté de participer au projet, ce qui représente un taux de participation de 85% (84% en excluant l'entreprise située au sud du village St-Pacôme). Les entreprises participantes cultivent un total de 1895 hectares, soit 83% des superficies.

Les informations contenues dans ce portrait sont tirées des évaluations de chacune des entreprises participantes. Un portrait individuel de ces entreprises est produit et sera utilisé pour cibler les problématiques et planifier les actions à apporter pour améliorer la situation.

Notez que l'état du drainage, la topographie, les zones à fort potentiel d'érosion ainsi que les types de sol ont été traités et présentés dans les diagnostics individuels.

Les faits saillants sont mis en évidence par l'utilisation du caractère gras.

Superficies cultivées

La culture des plantes fourragères pour l'année 2022, en incluant les céréales grainées et les implantations de semences fourragères pures, représente un total de 921 ha, soit 49% des superficies cultivées. Légère baisse après 4 années où les superficies dédiées aux plantes fourragères ont été constantes, elles représentaient respectivement 57%, 56%, 55% et 55% pour les années 2018, 2019, 2020 et 2021. Après 3 années de sécheresse et de rendements décevants, 2021 et 2022 ont fourni des excellents rendements au niveau des plantes fourragères. Ces bons rendements expliquent la baisse des superficies dédiées aux plantes fourragères. Cette tendance se vérifie avec les prévisions 2023. En effet, les plantes fourragères ne représenteront plus que 41% des superficies cultivées.

Les cultures annuelles en 2022 représentent 955 ha, soit 51% des superficies cultivées. Cette hausse des superficies est directement proportionnelle à la diminution des plantes fourragères. **On constate donc une augmentation du pourcentage des superficies cultivées représentant un risque de perte de sol, de perte d'éléments fertilisants et de contamination du sol et de l'eau par les pesticides.**

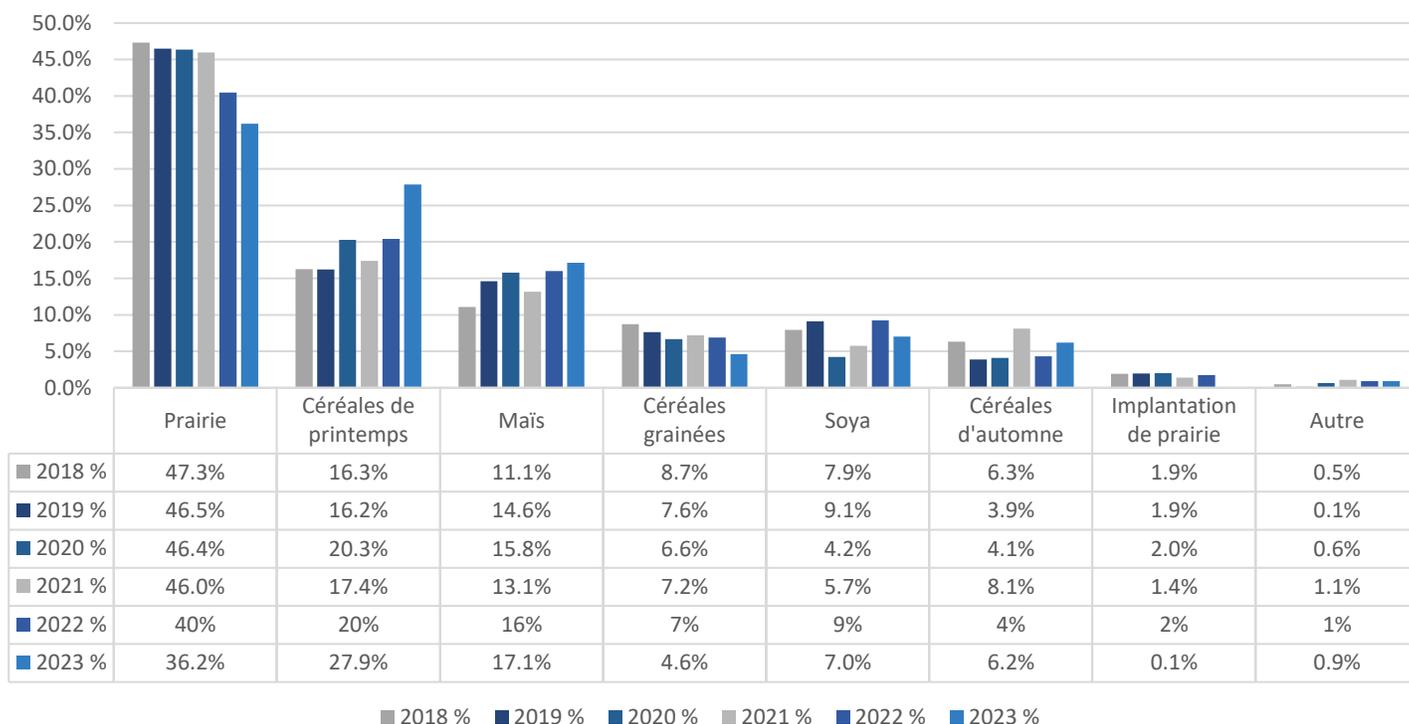
Fait à noter, 31% de ces superficies sont implantées avec des cultures à large entre-rang (maïs). C'est une diminution de la proportion de maïs pour la portion des cultures annuelles, à la suite d'une augmentation constante depuis 2018, cependant, en superficie totale, cette culture est toujours en hausse. Le maïs compte pour 16 % des superficies en 2022 et 17 % selon les prévisions 2023, comparativement à 11% en 2018. Le maïs ensilage a été utilisé pour compenser les baisses de rendement dans les fourrages lors des années de sécheresse. Malgré de meilleurs rendements dans les 2 dernières années, son utilisation reste populaire, les surplus non utilisés pour l'alimentation étant battus et récoltés en grains.

L'utilisation d'engrais verts en intercalaire dans le maïs permet de réduire les risques d'érosion et de perte d'éléments tout en favorisant la santé du sol. Ces différents avantages sont cités dans la section couverture hivernale des sols.

La culture de céréales d'automne permet de limiter les risques de pollution diffuse, elle représente 8% des superficies en cultures annuelles en 2022. En superficie totale, cela représente 4%. Les semis de l'automne 2022 (récolte en 2023) représente 6% des superficies totales, le même pourcentage qu'en 2018.

Les plantes fourragères protègent le sol et permettent de limiter les risques de pollution diffuse. Leur utilisation présente cependant une fluctuation en fonction des rendements, notamment lors d'années de sécheresse. L'amélioration de la santé et la fertilité des sols permet d'augmenter le potentiel de rendement et donc de diminuer les superficies occupées par les plantes fourragères. En ajoutant dans l'équation une hausse constante des superficies en maïs, il est primordial de poursuivre les efforts de mise en place de pratiques agricoles permettant une meilleure protection des sols.

Évolution des superficies en culture



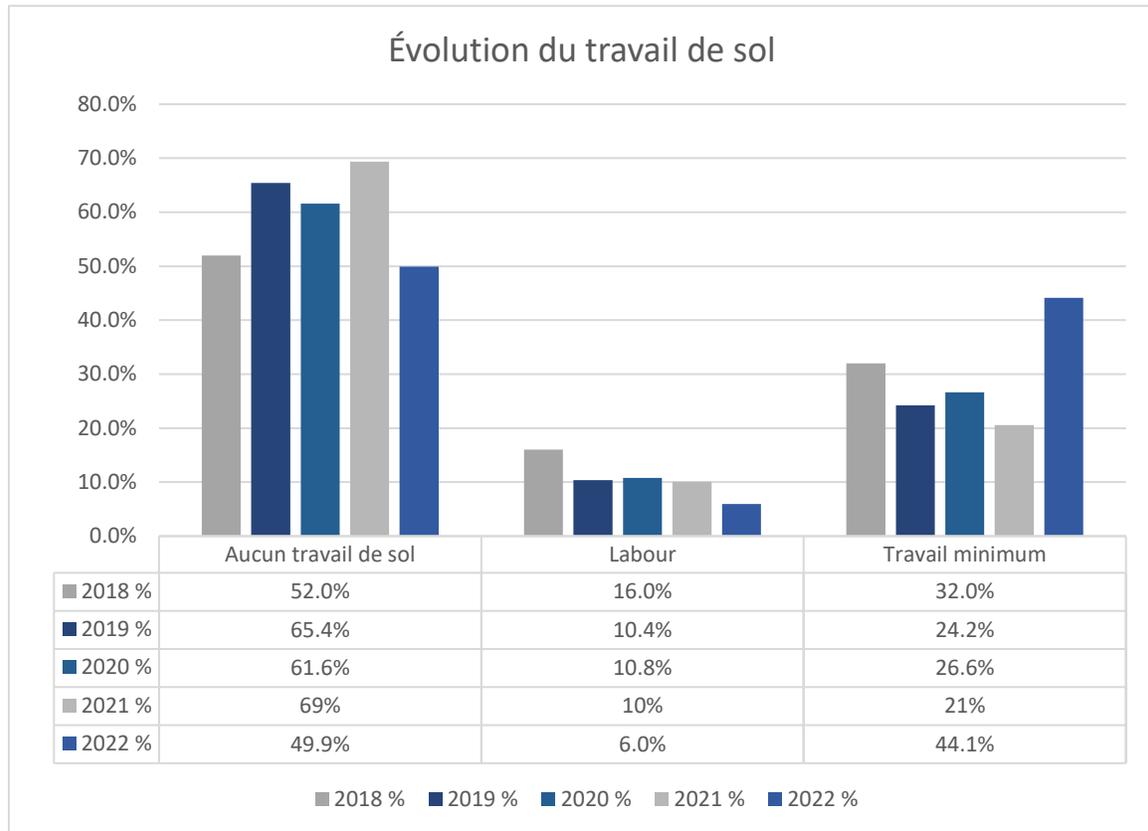
Travail de sol

Les superficies sur lesquelles aucun travail de sol n'est effectué en 2022 représentent 935 ha, 49,9 % des superficies. C'est une **diminution des superficies sans travail de sol après 3 années avec des pourcentages au-dessus de 60%, dont 69% en 2021**. Pour comparaison, en 2019, les superficies non travaillées représentaient 52%. En se référant à la section précédente sur l'évolution des superficies en culture, on comprend rapidement que ce phénomène est directement relié aux superficies cultivées en plantes fourragères. À cela, s'ajoutent plusieurs projets de drainage qui ont amené les entreprises à effectuer un travail de sol post travaux. En effet, plus de 400 hectares ont été drainés, et ce, réparti sur 8 entreprises.

Malgré cette augmentation des superficies travaillées, la situation est meilleure qu'en 2018. Le pourcentage de sol labouré est passé de 16 % à 6%. **Une diminution de 10%**. Pour sa part, le travail réduit a gagné en popularité, passant de 32% en 2018, à 44% en 2022, **une augmentation de 12%**. **En chiffres absolus, la portion en travail réduit représente 88% des superficies travaillées.**

On constate donc une augmentation des superficies travaillées et une diminution des superficies sans travail de sol. Cependant, cette diminution est atténuée par le fait que le

travail réduit est une technique favorisant le maintien de la structure du sol et des micro-organismes, la présence de résidus de culture en surface et la diminution des risques d'érosion. Toutes ces caractéristiques permettent d'améliorer la santé des sols, diminuer les risques de pollution diffuse et ainsi contribuer à protéger la ressource eau.



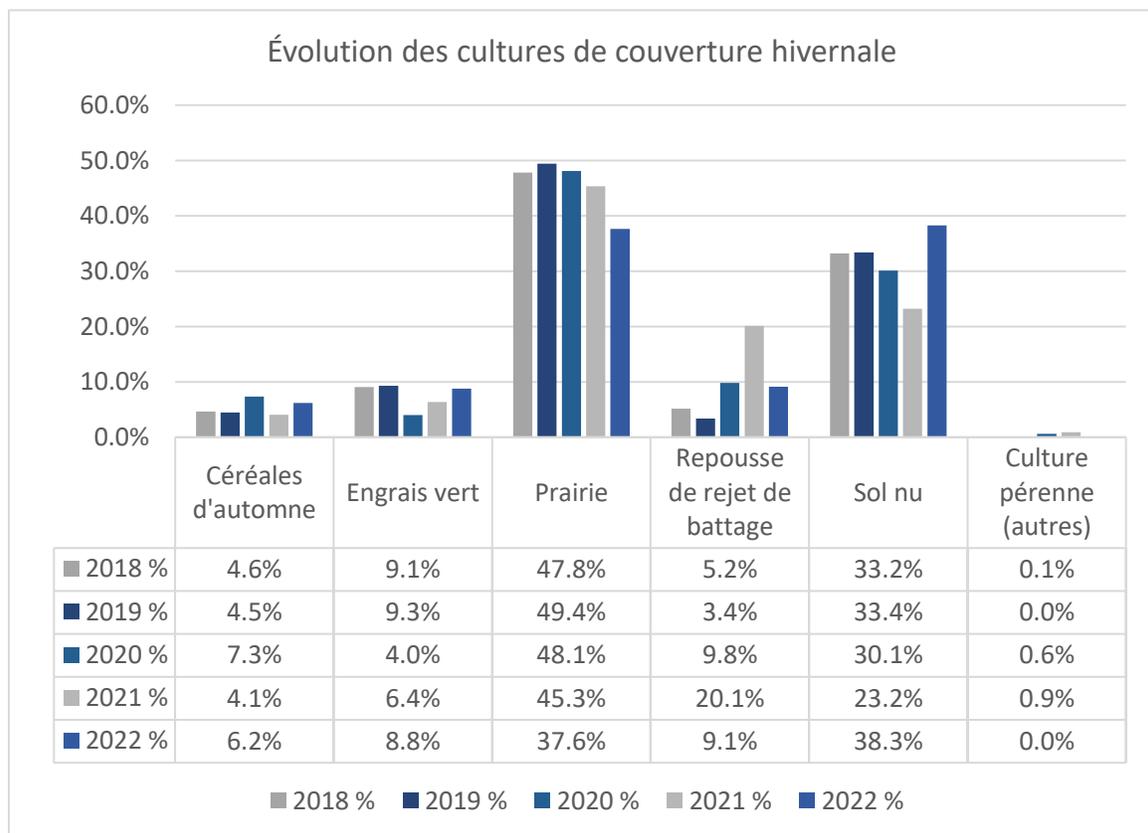
Couverture hivernale des sols

La proportion de sol à nu, en période hivernale, chez les entreprises participantes en 2022 représente 717 ha, soit 38,3% des superficies. **On revient à un niveau supérieur à 2018 (33,2%)**. Cette situation est en revanche moins préoccupante qu'en 2018, en raison de l'adoption massive du travail réduit. De plus, une portion de ces superficies n'est pas du tout travaillée à l'automne, les opérations étant effectuées au printemps. Ces superficies sont considérées à nues mais les résidus de culture (racines et tiges) procurent une protection hivernale.

La majorité des superficies bénéficie d'une couverture hivernale des sols, en grande partie en raison des superficies en prairie, 705,4 ha (37,6%) en 2022. C'est une diminution de 10,2 % par rapport à 2018. Depuis le début du projet, les superficies en prairies étaient stables. Tel que décrit plus haut, nous assistons maintenant à une diminution de ces superficies. **Les gains pour augmenter la couverture hivernale des sols devront être faits via l'utilisation des cultures de couverture et des céréales d'automne.**

L'utilisation des engrais verts dans le maïs est une technique qui a fait ses preuves, la régie d'implantation est simple et de plus en plus de producteurs se tournent vers cette méthode pour couvrir l'entre rang de maïs. Le défi est maintenant de convaincre les producteurs d'implanter des engrais verts à la dérobée suite aux cultures de céréales de printemps et de soya. Dans le cas des céréales, la récolte de la paille pour être utilisée comme litière freine plusieurs entreprises laitières à implanter des engrais verts intercalaires tôt en saison. Même chose pour le soya dans lequel il est difficile d'implanter un engrais vert avec un espacement inférieur à 30 pouces, régie de culture qui n'est pas employée dans la région. De plus, la présence d'engrais verts peut potentiellement nuire à la récolte des grains. Des stratégies particulières doivent être mises en place et des essais doivent encore être faits pour ces cultures.

Depuis 2020, on considère les rejets de battage comme une couverture de sol lorsqu'une opération est effectuée pour permettre une croissance uniforme de ces rejets. Plusieurs entreprises travaillent à développer des techniques permettant de valoriser convenablement ces rejets, tant sur le plan de la disposition dans le champ que de la densité (celle-ci étant évidemment sujette à la qualité du battage et du pourcentage de perte). Cette technique représente une alternative intéressante aux engrais verts implantés à la dérobée.



Malgré les défis, conserver une couverture de sol en hiver présente plusieurs avantages. La culture des céréales d'automne, en plus de couvrir le sol et d'en limiter les pertes en période hivernale, permet un meilleur enracinement (stabilisation des sols, meilleure

portance, activité extra-racinaire accrue, augmentation du potentiel de rendement), un couvert végétal hâtif au printemps (meilleure compétition aux mauvaises herbes, diminution de l'utilisation des pesticides, diminution des maladies, augmentation du potentiel de rendement) et une récolte hâtive. Pour leur part, les engrais verts permettent eux aussi de couvrir le sol, en plus d'améliorer le cycle nutritif (mobilisation des éléments nutritifs, réduction des pertes par lessivage, fixation de d'azote (légumineuses), disponibilisation des éléments fertilisants pour la culture subséquente) et d'améliorer mécaniquement la structure via le système racinaire (aération, perméabilité, cohésion des particules).

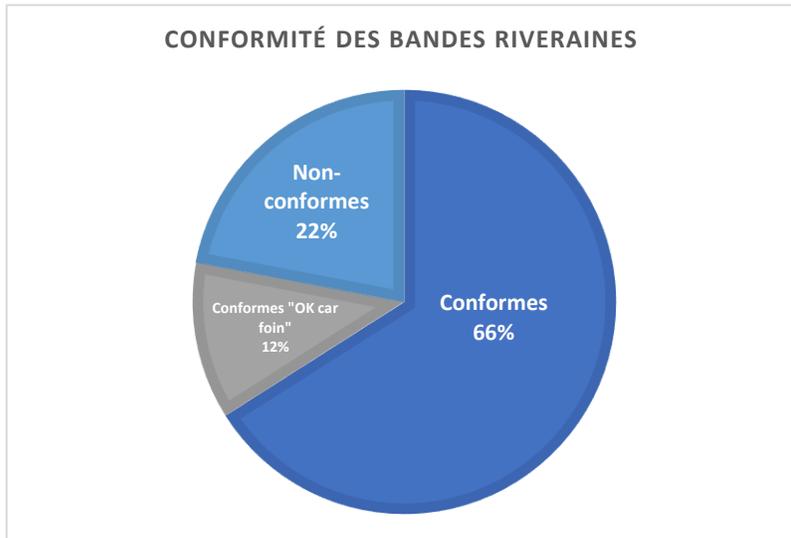
Bandes riveraines

Dans le cadre du projet, la présence de bandes riveraines conformes représente un point majeur vers l'atteinte d'une amélioration de la qualité de l'eau de la rivière Ouelle. Le respect de la bande riveraine est essentiel pour plusieurs raisons¹ :

- Pour minimiser la perte de sol par ruissellement ou par décrochement et son entraînement vers le cours d'eau ;
- Pour améliorer la qualité de l'eau ; en filtrant les pesticides et les fertilisants, en abaissant la température de l'eau, en ralentissant le débit de l'eau provenant du champ, en améliorant l'infiltration, en favorisant la sédimentation des particules déplacées, en retenant les nutriments ;
- Pour procurer un habitat de qualité à la faune et à la flore ;
- Pour réduire les coûts de gestion phytosanitaire ; en accroissant la présence d'insectes bénéfiques, dont les prédateurs des ennemis des cultures ;
- Pour augmenter les rendements agricoles grâce à l'effet brise-vent et pour favoriser la présence de pollinisateurs;
- Pour embellir le paysage et bonifier l'environnement ;
- Pour réduire les coûts d'entretien des cours d'eau ;
- Pour faire meilleur usage d'une section à faible potentiel de rendement dans un champ en culture (2-3 premiers rangs de maïs = perte de 25 %) ;
- Pour respecter la réglementation ;

¹ A chacun sa bande – Guide des bandes riveraines en milieu agricole.

À la suite d'une vérification, à l'aide des cartes de la MRC de Kamouraska, la longueur totale des cours d'eau présent sur le territoire couvert par le projet équivaut à 65,2 km. De plus, pour des besoins de comparaison, la validation a été effectuée sans tenir compte du régime transitoire de gestion des zones inondables, des rives et du littoral mis en place en mars 2022 par le Ministère de l'Environnement, de la



Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Ce nouveau régime modifie la définition du concept de bande riveraine en zone inondable. Les pratiques culturales dans les zones touchées par ce nouveau régime devront être adaptées aux nouvelles normes en vigueur. La bande riveraine est donc considérée conforme lorsqu'elle a une largeur de 3m le long des cours d'eau.

Cette récente validation de la bande riveraine, à l'automne 2022, permet de confirmer une amélioration notable du pourcentage de bandes riveraines conformes. En effet, 43,2 km de bandes riveraines sont conformes selon la réglementation (Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables), soit environ 66%, comparativement à 27,5 km (38%) pour 2019. **Une augmentation de 28% de bandes riveraines conformes.** À ce chiffre, s'ajoute 7,7 km de bande riveraine conforme (12%) en raison de la présence de plantes fourragères pérennes, comparativement à 13,5 km (22%) en 2019. On parle ici d'une conformité physique, au sens où il n'y a aucun travail de sol dans cette portion du champ, mais qu'il est impossible de déterminer si c'est dû à la présence de plantes fourragère ou si la bande serait respectée s'il y avait un travail de sol. On se retrouve donc avec 50,9 km (78 %) des bandes riveraines conformes lors de la validation 2022. La portion non-conforme est de 22%, comparativement à 40% en 2019. **Une diminution de 18% de bandes riveraines non-conformes.**

Les stratégies déployées qui ont mené à l'amélioration des bandes riveraines sont variables d'une entreprise à l'autre. La stratégie privilégiée par la plupart des fermes consiste à abandonner le travail de sol dans la bande riveraine et ainsi permettre à la végétation indigène de coloniser cet espace. Cette stratégie est économique et la végétation adaptée au milieu. Pour l'instant, ces zones sont majoritairement peuplées d'herbacées mais éventuellement, des arbustes et des arbres y prendront place. En marge de cette stratégie, quelques projets d'implantation ont été mis en place. **En effet, dans le cadre du projet, l'implantation de 13,8 km de bandes riveraines/haies brise-vent sont prévus, dont 7,4 km déjà implantés. Ces projets représentent plus de 5400 arbres et arbustes.** Une autre stratégie a été d'implanter des arbres et arbustes qui agissent comme des balises pour guider les producteurs lors du travail de sol. Ces arbres et arbustes ont été plantés à des

distances variant entre 25 et 50 mètres et permettent de délimiter la bande riveraine. **202 arbres et arbustes ont été plantés par le biais de cette initiative.**

De plus, pour appuyer les conseillers en agroenvironnement dans l'effort de sensibilisation, un outil permettant de chiffrer les pertes monétaires d'utilisation de la bande riveraine a été développé avec un agroéconomiste du GCACS. En effet, la culture dans la bande riveraine est non seulement illégale, elle offre également un rendement inférieur à la culture en plein champ, ce qui a pour effet d'augmenter ses coûts de production et de diminuer sa rentabilité. Ces impacts ont été quantifiés par la « perte sur marge » qui représente le montant supplémentaire (ou la perte) pour cultiver la bande riveraine, en fonction du coût de production des mêmes cultures en plein champ. La « perte au coût de production total du lait » représente pour sa part le montant supplémentaire que l'entreprise devrait déboursier si tout le lait de la ferme était produit avec le foin récolté dans la bande riveraine.

Le tableau suivant présente les résultats de 8 entreprises participantes.

	Coût d'utilisation de la bande riveraine							
Entreprise	14	27	56	71	118	324	408	409
Perte sur marge	632 \$	1244 \$	226 \$	367 \$	1841 \$	1531 \$	1637 \$	1253 \$
Perte au coût de production total du lait	872 \$	837 \$	327 \$	387 \$	1516 \$	1653 \$	1490 \$	959 \$

On peut noter que **dans 100% des cas, les entreprises enregistrent des pertes sur marge lorsque la bande riveraine est cultivée.** Les pertes varient en fonction des types de cultures, des superficies cultivées, des superficies en bande riveraine, des coûts de production, de la valeur des terres, de la proportion de foin dans la ration, etc. Chaque entreprise est unique, il est donc difficile de généraliser les résultats et de les interpréter de façon globale. L'exercice doit être effectué avec l'entreprise concernée.

Les rapports complets sont présentés en annexe.

Gestion des fertilisants

La totalité des entreprises participantes au projet produisent ou importent des engrais organiques. La majorité des superficies cultivées sont fertilisées avec ces engrais organiques. Il est difficile d'en estimer un pourcentage mais il est à noter que plusieurs parcelles reçoivent plus d'une application annuellement, signe que les volumes à épandre augmentent, ainsi que la pression sur le milieu. Le volume total épandu pour l'année 2022 est de 53063 mètres cubes, comparativement à 39362 mètres cubes en 2019. **Une augmentation de 13701 mètres cubes.** Plusieurs entreprises agricoles ont vu leur cheptel augmenter à la suite de projets d'expansion, ce qui explique l'augmentation des quantités d'engrais organiques produites. Tout comme en 2019, la majorité des applications sont sous forme liquide, soit 88%. (74% de lisier de bovin laitier, 8% de lisier de porc ainsi que

6% de purin de bovin laitier). En 2019, le pourcentage était de 87%. Le pourcentage restant est divisé entre le fumier de bovin laitier et le fumier de volaille, avec respectivement 11 et 1% des volumes épandus comparativement à 11 et 2% en 2019.

De ces applications, 26% sont faites au printemps, 22% en été et 52% à l'automne. Nous avons donc **48 % des applications totales effectuées en période de croissance active des végétaux, contrairement à 40% en 2019. Une augmentation de 8%.** Il est aussi possible que certaines applications considérées comme automnales servent à fertiliser des céréales d'automne. Ces applications devraient alors être considérées comme étant en période de croissance active.

On note une forte proportion des épandages en post-récolte à l'automne. À la suite des observations faites entre 2019 et 2022, et malgré une diminution, on pourrait croire que cette tendance se maintiendra. Les conditions de sécheresse des dernières années n'ont pas permis d'épandre une grande proportion de lisier entre les coupes. Cependant, même dans les années dites normales, les épandages post-récoltes restent populaire, que ce soit pour des raisons de portance des sols ou simplement pour des raisons de capacité de fosse. L'épandage en post-récolte, quoique pratique, comporte plusieurs risques.

Voici un extrait de la ligne directrice de l'Ordre des agronomes du Québec concernant le sujet :

- Type de déjections animales épandues — Le rapport C/N et le rapport N-NH₄/N total des déjections animales à épandre permettent d'estimer à partir de quel moment et à quelle vitesse apparaîtront les nitrates dans le sol et, de ce fait, d'estimer le risque de perte d'azote par lessivage. Une matière fertilisante organique avec un rapport N-NH₄/N ≥ 50 % indique une libération rapide des nitrates. Une matière fertilisante avec un rapport C/N < 15 libère des nitrates en quelques jours. Par contre, une matière fertilisante organique ayant un rapport C/N > 15 peut causer une immobilisation temporaire de l'azote et mettre plusieurs semaines avant de libérer des nitrates dans le sol. Toute recommandation d'épandage devrait viser un synchronisme entre la libération des nitrates dans le sol et leur absorption par les cultures.
- Choix des parcelles réceptrices — L'absence de culture ou de résidus de culture à la surface du sol augmente le risque de perte d'éléments nutritifs par ruissellement, en particulier pour les parcelles en pente. Par ailleurs, un sol de texture grossière (moins de 18 % d'argile) augmente le risque de lessivage de l'azote, d'où la nécessité de recommander un apport moindre d'azote disponible. La présence de plans d'eau, de puits et de fossés doit être prise en compte lors de la recommandation.
- L'incorporation au sol — En l'absence de culture, l'enfouissement des déjections animales doit être privilégié. Une incorporation (de 5 à 10 cm) dans les 24 heures suivant l'épandage des déjections animales ayant un rapport N-NH₄/N total ≥ 50 % ou ayant un rapport C/N ≤ 25 assure une plus grande conservation de l'azote ammoniacal. De plus, un enfouissement rapide et avant toute pluie préviendra les pertes d'éléments nutritifs et de micro-organismes dans les eaux de ruissellement. La valorisation des déjections animales en présence de cultures pérennes, de

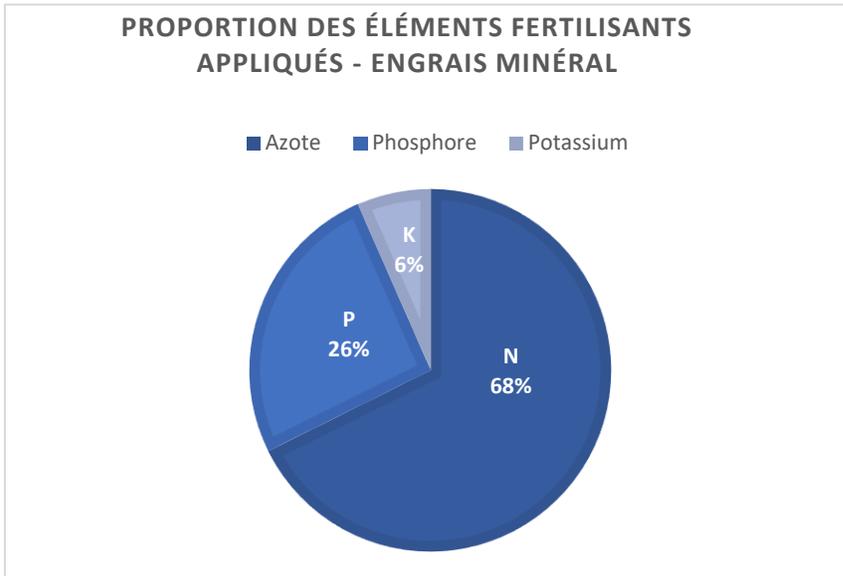
cultures de couverture ou de cultures intercalaires permet le prélèvement d'une portion des éléments nutritifs apportés par la matière fertilisante. Elle réduit ainsi les risques de pertes d'éléments nutritifs. La présence de résidus de cultures (ex. : paille de céréales) peut également réduire les risques de pertes d'éléments nutritifs en provoquant une immobilisation temporaire de l'azote rapidement disponible.

- Choix de la période d'épandage — La libération de nitrates dans le sol à l'automne est hautement probable dans le cas des épandages post-récoltes hâtifs (août ou septembre) des déjections animales avec un rapport C/N ≤ 15 . En l'absence de cultures de couverture pour les prélever, ces nitrates sont très prédisposés aux pertes environnementales. Par contre, comme le froid ralentit la transformation de l'azote dans le sol, un épandage tardif (ex. : en octobre) diminue le risque environnemental associé à la libération des nitrates dans le sol. Cette pratique serait donc recommandable, pourvu que les autres conditions d'épandage (ex. : portance du sol, eaux de ruissellement) permettent de maintenir les risques environnementaux à un niveau acceptable. Inversement, comme l'immobilisation de l'azote semble fortement réduite sous les 2 °C, les déjections animales susceptibles d'immobiliser l'azote (ex. : fumiers pailleux avec un rapport C/N > 15) auraient avantage à être épandues plus tôt (juillet ou août) afin de permettre à cette phase d'immobilisation de se terminer avant le semis de la culture de l'année suivante.
- Conditions climatiques et portance du sol — L'épandage des déjections animales ne devrait se faire que sur un sol ayant une bonne portance, non enneigé et non gelé. En effet, les épandages sur un sol saturé d'eau (plus sujet à la compaction) augmentent beaucoup les risques de pertes d'azote nitrique ou ammoniacal. Par ailleurs, l'épandage des déjections animales durant une pluie intense favorise les pertes d'éléments nutritifs par ruissellement des eaux en surface ou par les eaux de drainage. L'agronome doit sensibiliser l'exploitant agricole au respect de ces conditions.
- Dose d'épandage — L'agronome détermine la dose d'épandage post-récolte des déjections animales en tenant compte des paramètres énumérés ci-dessus, du besoin en azote de la culture subséquente et des seuils environnementaux relatifs aux indices de saturation du sol en phosphore.

Les producteurs du bassin versant et les conseillers peuvent travailler à la gestion du risque des épandages post-récolte. Compte tenu que le matériel épandu est liquide, donc C/N < 15 et NH₄/N moyen à élevé et que les sols contiennent majoritairement plus de 18% d'argile, l'épandage sur sol couvert, que ce soit par une plante pérenne ou une culture de couverture sera une alternative limitant les pertes à l'environnement. L'incorporation du lisier ou du purin avec les pailles des cultures annuelles sera une autre stratégie limitant le risque tout en donnant de la souplesse de travail selon les rotations. Dans tous les cas, l'emphase devra être mise sur le respect de dose d'épandage et d'effectuer les épandages et/ou les travaux de sol dans des conditions optimales.

Plusieurs tonnes d'engrais minéraux ont été appliquées en 2022. Les quantités d'azote appliquées restent similaires à celles appliquées en 2019, soit environ 43 tonnes. Pour le phosphore, plus de 16 tonnes ont été appliquées, contrairement à une quantité évaluée entre

12 et 13 tonnes pour 2019. Finalement, on note une légère baisse du potassium, environ 4 tonnes pour 2022 contre 5 à 6 tonnes pour 2019. **On dénote toujours une forte utilisation de l'azote pour la fertilisation des cultures.** « Bien que les engrais azotés soient essentiels pour assurer un meilleur rendement et une bonne qualité, l'azote peut causer des problèmes environnementaux majeurs s'il n'est pas géré convenablement ou s'il n'est pas prélevé par la plante au moment opportun. [...] Des études effectuées au Québec révèlent que l'efficacité des engrais azotés est de l'ordre de 45%.



Ainsi, la partie non utilisée par la plante peut subir d'autres transformations et être soit immobilisée, soit perdue par volatilisation, dénitrification ou lessivage. L'impact environnemental de l'utilisation non adéquate d'azote peut alors être très problématique. »²

Le bilan des éléments fertilisants permet de démontrer que les besoins en azote, pour l'année 2022, sont comblés dans une proportion moyenne de 63%. Cette proportion est de 72% pour le phosphore et de plus de 500% pour le potassium. La statistique concernant le potassium est impressionnante, cependant elle vient du fait que les sols dans la zone visée par le projet sont naturellement riches en potassium. L'apport minéral de potassium (6%) reflète bien cette réalité mais il est cependant impossible d'éviter d'en appliquer lors des épandages d'engrais organiques. C'est ce qui explique cette situation.

Fait à noter, seulement 1,2% des superficies en 2022 présentent un indice de saturation en phosphore ne respectant pas le Règlement sur les exploitations agricoles (REA), contrairement à 2,2% en 2019. **Une diminution de 1,0% malgré une augmentation des quantités d'engrais organiques appliqués.**

Le respect des besoins des cultures en azote et en phosphore ainsi que le faible pourcentage de sols saturés en phosphore démontre un engagement des entreprises à limiter les risques de pollution diffuse face à l'utilisation des engrais.

Le pH des sols exerce également une influence sur la santé des sols et l'efficacité des engrais appliqués. Une superficie de 342 ha, soit 18% du territoire, présente un pH déficient (inférieur à 6,0), contrairement à 23% des superficies en 2019.

² Utilisation des engrais minéraux azotés en grandes cultures : description des différentes formes et leurs impacts en agroenvironnement.

Gestion des pesticides

La gestion ainsi que les produits utilisés ont un impact sur le risque de contamination des sols et de l'eau par les pesticides. À l'aide de l'Indicateur de risque des pesticides du Québec (IRPeQ), un outil de diagnostic et d'aide à la décision dans la gestion des pesticides, nous avons déterminé, pour chaque entreprise, les différents indices de risques reliés à la gestion des pesticides, soit l'indice de risque sur la santé (IRPest-S/ha), sur l'environnement (IRPest-E/ha) ainsi que l'indice de pression (kg m.a. /ha). Les données ont été compilées sur les 4 années du projet et nous avons ainsi pu suivre l'évolution des différents indices dans le temps.

Pour aider à la compréhension des indices de risque, voici un extrait du Guide explicatif de l'IRPeQ produit par le Gouvernement du Québec :

IRPeQ-Santé : Cet indicateur de risques toxicologiques a été élaboré par l'INSPQ. Il s'appuie notamment sur des indices de toxicité aiguë et chronique des pesticides, tout en considérant leur potentiel de biodisponibilité. De plus, il prend en compte certaines particularités des préparations commerciales plutôt que de retenir seulement les caractéristiques des matières actives qui les composent. Ainsi, des variables comme la concentration des matières actives, le type de formulation, la dose d'application des préparations commerciales et l'influence des techniques d'application sont considérées dans la détermination du risque traduit par l'indicateur

IRPeQ-Environnement : Cet indicateur de risques écotoxicologiques et d'impacts potentiels sur l'environnement a été développé conjointement par le MAPAQ et le MDDEP. Il tient compte des propriétés des pesticides qui conditionnent leur devenir et leur comportement dans l'environnement, ainsi qu'à leur potentiel écotoxicologique (c'est-à-dire leurs effets toxiques pour plusieurs espèces animales ou végétales). Les paramètres considérés dans la détermination d'un indice de risque pour l'environnement sont les suivants :

- l'impact sur les invertébrés terrestres;
- l'impact sur les oiseaux;
- l'impact sur les organismes aquatiques;
- la mobilité;
- la persistance dans le sol;
- le potentiel de bioaccumulation.

Par ailleurs, l'IRPeQ-environnement prend également en compte certaines caractéristiques liées à l'utilisation d'une préparation commerciale, notamment la dose d'application et le type de culture.

Avant de parler de résultats, nous aimerions apporter un bémol. L'information concernant les traitements de semences a été difficile à obtenir. Les doses utilisées sur les semences n'étaient pour la plupart pas toujours disponibles. Pour ces cas, nous avons utilisé les doses maximales permises sur les étiquettes, ce qui ne reflète pas nécessairement la réalité.

En 2022, pour l'ensemble des entreprises participantes, les indices de risques pour la santé (IRPest-S/ha) varient entre 0 et 253 avec une moyenne de 97,94. **Une augmentation en comparaison avec 2019 où les indices variaient entre 0 et 292 avec une moyenne de 90,47.**

En 2022, les indices de risques pour l'environnement (IRPest-E /ha) varient entre 0 et 247 avec une moyenne de 65,64. **Une diminution en comparaison avec 2019 où les indices variaient entre 0 et 289 avec une moyenne de 75,11.**

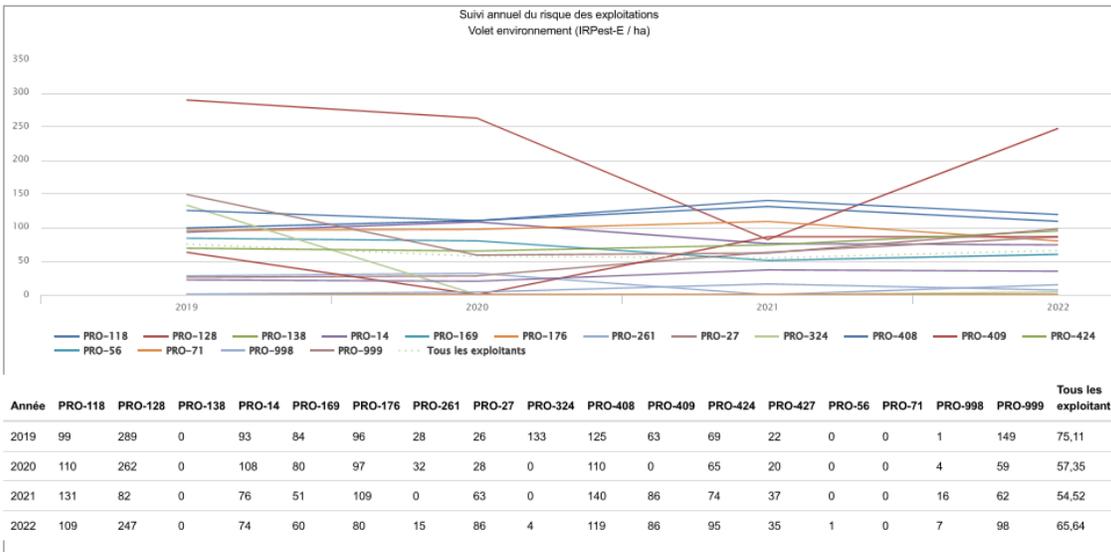
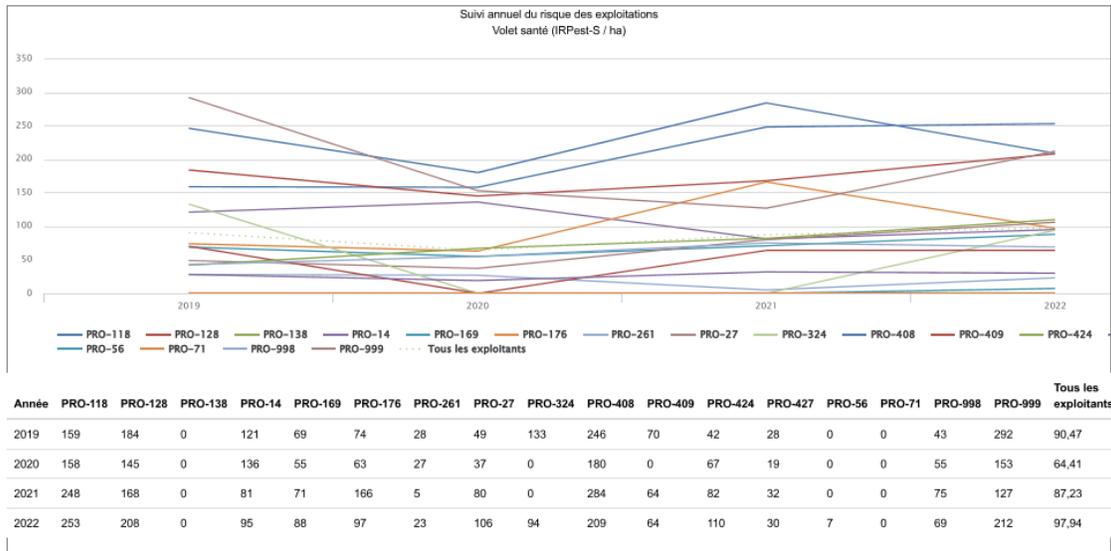
De façon plus concrète, il est aussi possible d'obtenir l'indice de pression, en kg de matière active par hectare (kg m.a./ha). Pour 2022, les indices de pression varient entre 0 et 1,08, avec une moyenne de 0,488. **Une diminution en comparaison avec 2019 où les indices variaient entre 0 et 1,57 avec une moyenne de 0,557.**

Considérant que les superficies en cultures annuelles ont augmenté depuis le début du projet, il est intéressant de constater que l'indice de risque pour l'environnement et l'indice de pression ont diminué et que l'indice de risque pour la santé n'a augmenté que légèrement. En effet, les cultures fourragères sont généralement associées à une faible utilisation de pesticides. Cette situation pourrait être expliquée par une plus grande sensibilité aux risques associés à l'utilisation de pesticides, des arrosages faits seulement lorsque nécessaire ou à l'utilisation de produits présentant des indices de risques plus faibles.

Deux entreprises sont certifiées biologiques et n'ont utilisé aucun pesticide durant la durée du projet. Il est intéressant de voir les moyennes, en excluant ces entreprises du calcul. Pour 2022, l'indice de risque moyen sur la santé passe à 111/ha, celui sur l'environnement à 74,4/ha et l'indice de pression grimpe à 0,554 kg m.a./ha. Une entreprise se trouvant au-dessus de la moyenne d'un indice de risque peut alors se retrouver sous la moyenne, lorsque qu'on la compare seulement avec les entreprises utilisant des pesticides.

En utilisant cette mécanique, on observe que seulement 4 entreprises se retrouvent au-dessus de la moyenne pour le volet santé. Ce sont 8 entreprises qui sont dans cette situation pour le volet environnement et 7 entreprises pour ce qui est de l'indice de pression. De ces entreprises, certaines sont au-dessus des moyennes pour la santé et l'environnement (1), certaines pour l'environnement et la pression (2), certaines seulement pour l'environnement (2), certaines seulement pour la pression (2) et certaines pour les trois volets (3). Les indices de risques ne sont pas des résultats en soi. Beaucoup de facteurs sont en jeu tels que les matières actives, les quantités utilisées ainsi que les superficies traitées. Il n'y a pas de patron problématique spécifique. De fortes différences sont notées dans les différents indices de risques.

Les résultats présentés dans les tableaux ci-bas, sont des moyennes pour chaque entreprise. Les résultats décortiqués par entreprise et par cultures sont aussi disponibles. Il est donc possible de cibler les cultures qui présentent les risques les plus élevés. Les portraits de chaque entreprise seront comparés à ceux des autres entreprises ainsi qu'à la moyenne globale. Des actions seront proposées en fonction des indices de risques.



GéoDEP

GéoDEP, tel que décrit par l'institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), est un outil de diagnostic spatialisé des exportations de sédiments et de phosphore. L'équipe de l'IRDA a été mise à contribution pour évaluer le risque de perte de sédiments et de phosphore dans la zone à l'étude, le bassin de la rivière Ouelle.

En fonction des caractéristiques et usages du bassin versant, l'outil permet d'identifier, tel que décrit dans le rapport en annexe³, les facteurs déterminants des exportations de phosphore (P), soit en lien avec les apports et les stocks présents de P dans les sols (facteurs sources) ou en lien avec les processus de ruissellement et d'érosion (facteurs transport). Les sources de P utilisées en intrants par le métamodèle sont le stock de P contenu dans les sols (exprimé par la richesse et la saturation du sol en P) de même que les apports annuels en engrais de ferme (fumiers et lisiers) et en engrais minéraux. Les facteurs déterminants du transport, associés au ruissellement de surface et à l'érosion, sont pour leur part exprimés par les propriétés des sols (infiltration et érodabilité), le relief (longueur et inclinaison des parcours de l'eau) et la couverture de la surface du sol (par les résidus ou par les plantes). Sur le plan de la gestion des données, les différents modules de GéoDEP mettent à profit les banques de données géospatiales publiques disponibles en milieu rural au Québec (données d'élévation, pédologie, plans de culture, etc.) de même que des données pertinentes à la régie des sols et des cultures afin de produire des estimations d'hauteurs d'eau ruisselée et drainée ainsi que des taux d'exportation de sédiments et de P.

Le tableau 2 du rapport cité ci-haut, permet de quantifier les pertes de sédiments ainsi que de phosphore, tant à l'échelle du bassin que du champ. On peut y voir que les charges principales totales (kg/année), tant en sédiments qu'en phosphore, sont produites par les parcelles en prairies. Cependant, en ramenant l'information à l'échelle du champ (kg/ha-année), la culture de maïs ensilage présente les risques les plus élevés. En effet, le maïs ensilage présente une charge spécifique de 775 kg/ha-an de sédiments et 4,10 kg/ha-an de phosphore, contrairement aux prairie, 326 et 0,78 kg/ha-an et aux céréales, 221 et 0,86 kg/ha-an. L'espacement plus élevé entre les rangs de maïs explique ces données. On voit ici toute l'importance de l'utilisation d'engrais vert intercalaire pour permettre de limiter ce risque. Ces taux d'exportations sont notamment reliés aux taux projetés de ruissellement.

Ces données ont ensuite été insérées dans divers scénarios, dont le scénario dit « initial », représentatif de la situation en 2018-2019 dans le bassin versant. Il a donc été possible d'analyser l'impact de différentes variantes, en lien avec les superficies cultivées, Le type de cultures, le travail de sol, la couverture de sol, la gestion des engrais organiques, l'efficacité de la bande riveraine, etc. Les différents scénarios (A-B-C-D-E) ainsi que leur impact projeté sur les pertes de sédiments et phosphore sont décrits dans le rapport GéoDEP. **Le scénario C présente les meilleurs résultats. On parle d'une réduction de 42% des sédiments et 35% du phosphore.** Ce scénario propose une couverture de sol

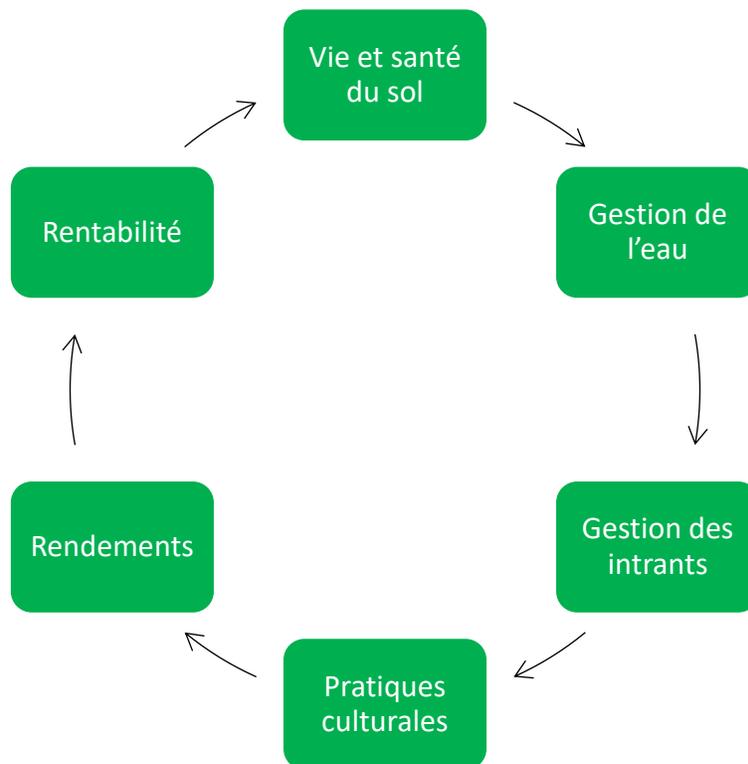
³ GéoDEP – Rapport final – Bassin versant de la rivière Ouelle : des ressources à protéger

hivernale 7 années sur 8, un travail de sol au printemps ainsi qu'une conformité complète des bandes riveraines.

Voir rapport pour les résultats complets.

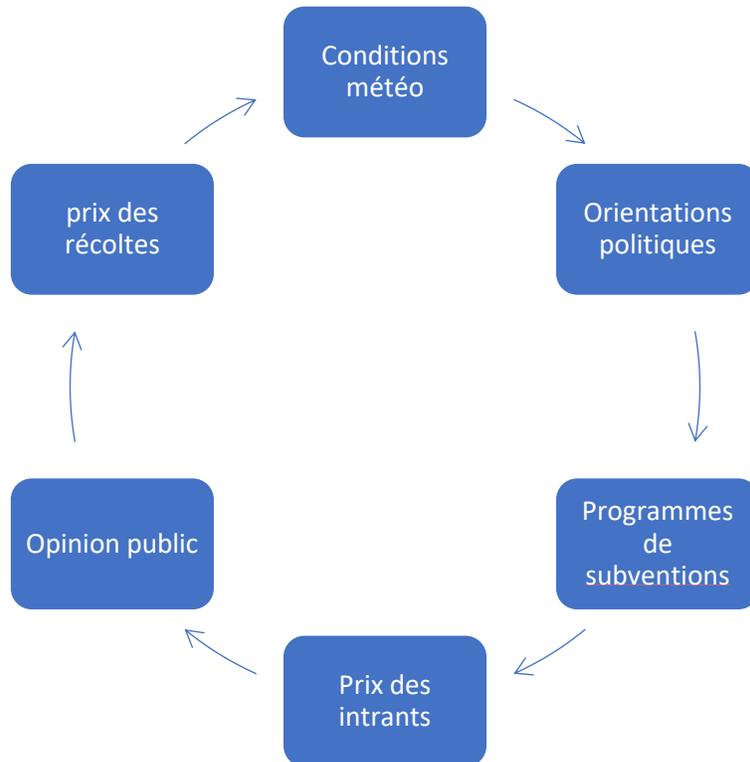
Conclusion

Un des objectifs du projet est de faire prendre conscience aux producteurs participants que les différents aspects de la gestion de leur entreprise agricole sont interreliés. Il est primordial de comprendre que la vie et la santé des sols, la gestion du sol, la machinerie utilisée, les pratiques culturales, le climat, la gestion des pesticides, les coûts de production, les rendements et la rentabilité sont étroitement liés. Ces interactions doivent être interprétées comme faisant partie d'un même tout. Les techniques de conservation des sols, dans un contexte de changements climatiques, sont des incontournables dans une optique de réduction des impacts environnementaux, de la protection de la santé et du milieu, de l'augmentation de la fertilité, de la réduction des intrants et de l'augmentation de la rentabilité.



Ce principe de vision systémique, techniquement, permet de faciliter l'atteinte des objectifs de protéger et d'améliorer la santé du sol, d'augmenter les rendements et la rentabilité et de limiter les risques pour l'environnement. Cependant plusieurs autres facteurs, hors de contrôle des entreprises, viennent aussi influencer l'atteinte de ces objectifs.

Effectivement, les conditions météo, les orientations politiques, les programmes de subventions, l'augmentation du coût des intrants, l'opinion public et la fluctuation des prix des marchés sont aussi des facteurs influençant l'atteinte des objectifs, ainsi que les moyens pour y parvenir.



L'agriculture n'est pas un domaine statique où une formule unique, dans l'espace et dans le temps, peut être appliquée.

Par exemple, le fait que les cultures annuelles soient en augmentation, faisant augmenter les superficies avec travail de sol ainsi que le risque de perte de sol, de perte d'éléments fertilisants et de contamination du sol et de l'eau par les pesticides, ne doit pas être perçu comme un échec. Cette situation est en grande partie dû aux conditions climatiques, une sécheresse, qui ont fait en sorte, en limitant les rendements, de gonfler la proportion de plantes fourragères, et du fait même, la proportion de sol avec couverture hivernale.

Il est primordial de s'adapter aux différentes situations pour s'assurer de conseiller adéquatement les entreprises en prenant en compte l'aspect dynamique dans lequel nous évoluons.

Annexes

COUT D'UTILISATION BANDE RIVERAINE

Nom Entreprise:	14
Bande riveraine (fossé 1 m)	0,00 Ha
Bande riveraine (cours d'eau 3 m)	1,28 Ha
Bande végétalisée (fossé 3 m)	0 Ha
Bande végétalisée (cours d'eau 5 m)	0 Ha
Scénario	3

VOLET CHAMP

Rotation	ha réparti PAEF	Rotation en %	Diminution de rend. (%)
Prairie	64,43	57,7	-27
Maïs ensilage	25,86	23,2	-35
Blé printemps	9,97	8,9	-35
Seigle	11,31	10,1	-35

Rotation	Bande riveraine	Superficies cultivables	Bande riveraine	Superficies cultivables
	Marge sur charges variables	Marge sur charges variables	Coût de production	Coût de production
	/ha	/ha	/tonne M.S.	/tonne M.S.
Prairie	418	671	307	224
Maïs ensilage	-13	167	404	263
			\$/tonne TQS	\$/tonne TQS
Blé printemps	-1	17	1142	742
Seigle	112	153	324	211

Taxes foncières payée	11 563,00 \$
coût tot (\$) bande riveraine	131,50 \$
Valeur terre	2 257 068,00 \$
coût d'opportunité	
rendement (taux intérêt)	641,70 \$
Perte monétaire (non utilisation)	773,20 \$

Total marge rotation/année/ha	515,86 \$	ha
perte sur marge \$/ha	492,53 \$	\$/ha
Perte sur marge (bande riveraine)	632,11 \$	\$ total

VOLET ÉTABLE

PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$ STD)	88,80 \$
PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$/hl)	95,44 \$
Perte au coût de production (\$/hl)	6,64 \$
Perte au coût de production total	871,63 \$

COUT D'UTILISATION BANDE RIVERAINE

Nom Entreprise:	27
Bande riveraine (fossé 1 m)	0,00 Ha
Bande riveraine (cours d'eau 3 m)	1,65 Ha
Bande végétalisée (fossé 3 m)	0,00 Ha
Bande végétalisée (cours d'eau 5 m)	0 Ha
Scénario	3

VOLET CHAMP

Rotation	ha réparti PAEF	Rotation en %	Diminution de rend. (%)
Prairie	75,9	52,9	-25
Maïs ensilage	16	11,2	-35
Blé printemps	32,47	22,6	-35
Seigle	19	13,3	-35

Rotation	Bande riveraine	Superficies cultivables	Bande riveraine	Superficies cultivables
	Marge sur charges variables	Marge sur charges variables	Coût de production	Coût de production
	/ha	/ha	/tonne M.S.	/tonne M.S.
Prairie	159	379	286	214
Maïs ensilage	-39	40	373	243
			\$/tonne TQS	\$/tonne TQS
Blé printemps	47	390	479	312
Seigle	52	163	#DIV/0!	320

Taxes foncières payée	7 655,00 \$
coût tot (\$) bande riveraine	87,13 \$
Valeur terre	2 900 412,00 \$
coût d'opportunité	
rendement (taux intérêt)	825,30 \$
Perte monétaire (non utilisation)	912,43 \$

Total marge rotation/année/ha	219,02 \$	ha
perte sur marge \$/ha	753,59 \$	\$/ha
Perte sur marge (bande riveraine)	1 243,87 \$	\$ total

VOLET ÉTABLE

PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$ STD)	88,80 \$
PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$/hl)	95,17 \$
Perte au coût de production (\$/hl)	6,37 \$
Perte au coût de production total	837,28 \$

COUT D'UTILISATION BANDE RIVERAINE

Nom Entreprise:	56	
Bande riveraine (fossé 1 m)	0,00	Ha
Bande riveraine (cours d'eau 3 m)	0,8241	Ha
Bande végétalisée (fossé 3 m)	0	Ha
Bande végétalisée (fossé 5 m)	0	Ha
Scénario	3	

VOLET CHAMP

Rotation	ha réparti PAEF	Rotation en %	Diminution de rend. (%)
Prairie	55,5	100,0	-25

Bande riveraine	Superficies cultivables	Bande riveraine	Superficies cultivables
Marge sur charges variables	Marge sur charges variables	Coût de production	Coût de production
/ha	/ha	/tonne M.S.	/tonne M.S.
345,88 \$	619,52 \$	410,70 \$	308,03 \$

Taxes foncières (année)	12 208,00 \$
coût tot (\$) bande riveraine	69,45 \$
Valeur terre	1 370 850,00 \$
coût d'opportunité	
rendement (taux intérêt)	712,43 \$
Perte monétaire (non utilisation)	781,88 \$

Total marge rotation/année/ha	345,88 \$	Ha
perte sur marge \$/ha	273,63 \$	/Ha
Perte sur marge (bande riveraine)	225,50 \$	total

VOLET ÉTABLE

PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$ STD)	94,75 \$
PRIX CIBLE POUR LE LAIT bande riveraine (\$/hl)	100,67 \$
Perte au coût de production (\$/hl)	5,92 \$
Perte au coût de production total	327,01 \$

COUT D'UTILISATION BANDE RIVERAINE

Nom Entreprise:	71
Bande riveraine (fossé 1 m)	0,00 ha
Bande riveraine (cours d'eau 3 m)	1,26 ha
Bande végétalisée (fossé 3 m)	0,00 ha
Bande végétalisée (cours d'eau 5 m)	0 ha
Scénario	3

VOLET CHAMP

Rotation	ha réparti PAEF	Rotation en %	Diminution de rend. (%)
Prairie	169,52	68,4	-27
Maïs ensilage	26,5	10,7	-35
Orge	37,3	15,1	-35
Seigle	14,42	5,8	-35

Rotation	Bande riveraine		Superficies cultivables	
	Marge sur charges variables	Marge sur charges variables	Coût de production	Coût de production
	/ha	/ha	/tonne M.S.	/tonne M.S.
Prairie	75	268	290	212
Maïs ensilage	-41	13	362	235
			\$/tonne TQS	\$/tonne TQS
Orge	-33	5	1976	711
Seigle	-8	0	1753	1139

Taxes foncières payée	7 206,00 \$
coût tot (\$) bande riveraine	36,39 \$
Valeur terre	1 867 482,00 \$
coût d'opportunité	
rendement (taux intérêt)	235,80 \$
Perte monétaire (non utilisation)	272,19 \$

Total marge rotation/année/ha	-6,65 \$	ha
perte sur marge \$/ha	291,64 \$	\$/ha
Perte sur marge (bande riveraine)	366,77 \$	\$ total

VOLET ÉTABLE

PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$ STD)	88,80 \$
PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$/hl)	95,44 \$
Perte au coût de production (\$/hl)	6,64 \$
Perte au coût de production total	387,11 \$

COÛT D'UTILISATION BANDE RIVERAINE

Nom Entreprise:	118	
Bande riveraine (fossé 1 m)	0,51	Ha
Bande riveraine (cours d'eau 3 m)	0,80	Ha
Bande végétalisée (fossé 3 m)	0,07	Ha
Bande végétalisée (cours d'eau 5 m)	1,48	Ha
Scénario	3	

VOLET CHAMP

Rotation	ha réparti PAEF	Rotation en %	Diminution de rend. (%)
Prairie	47,85	33,8	-27
Maïs ensilage	30,06	21,2	-35
Blé printemps	63,86	45,0	-35

Rotation	Bande riveraine	Superficies cultivables	Bande riveraine	Superficies cultivables
	Marge sur charges variables	Marge sur charges variables	Coût de production	Coût de production
	/ha	/ha	/tonne M.S.	/tonne M.S.
Prairie	192	403	257	188
Maïs ensilage	-5	164	358	233
			\$/tonne TQS	\$/tonne TQS
Blé printemps	300	563	489	318

Taxes foncières payée	19 025,00 \$
coût tot (\$) bande riveraine	376,25 \$
Valeur terre	2 892 606,00 \$
coût d'opportunité	
rendement (taux intérêt)	1 430,15 \$
Perte monétaire (non utilisation)	1 806,40 \$

Total marge rotation/année/ha	486,45 \$	ha
perte sur marge \$/ha	643,54 \$	\$/ha
Perte sur marge (bande riveraine)	1 840,71 \$	\$ total

VOLET ÉTABLE

PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$ STD)	88,80 \$
PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$/hl)	95,44 \$
Perte au coût de production (\$/hl)	6,64 \$
Perte au coût de production total	1 515,79 \$

COUT D'UTILISATION BANDE RIVERAINE

Nom Entreprise:	324	
Bande riveraine (fossé 1 m)	0,00	Ha
Bande riveraine (cours d'eau 3 m)	3,12	Ha
Bande végétalisée (fossé 3 m)	0,00	Ha
Bande végétalisée (cours d'eau 5 m)	0	Ha
Scénario	3	

VOLET CHAMP

Rotation	ha réparti PAEF	Rotation en %	Diminution de rend. (%)
Prairie	74,83	72,7	-25
Blé printemps	24,18	23,5	-35
Orge	3,9	3,8	-35

Rotation	Bande riveraine	Superficies cultivables	Bande riveraine	Superficies cultivables
	Marge sur charges variables	Marge sur charges variables	Coût de production	Coût de production
	/ha	/ha	/tonne M.S.	/tonne M.S.
Prairie	395	643	315	236
			\$/tonne TQS	\$/tonne TQS
Blé printemps	76	299	482	314
Orge	37	58	531	191

Taxes foncières payée	2 623,00 \$
coût tot (\$) bande riveraine	77,08 \$
Valeur terre	2 120 516,00 \$
coût d'opportunité	
rendement (taux intérêt)	1 557,90 \$
Perte monétaire (non utilisation)	1 634,98 \$

Total marge rotation/année/ha	508	ha
perte sur marge \$/ha	491	\$/ha
Perte sur marge (bande riveraine)	1531	\$ total

VOLET ÉTABLE

PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$ STD)	88,80
PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$/hl)	93,67
Perte au coût de production (\$/hl)	4,87
Perte au coût de production total	1 653,15

COUT D'UTILISATION BANDE RIVERAINE

Nom Entreprise:	408	
Bande riveraine (fossé 1 m)	0,00	ha
Bande riveraine (cours d'eau 3 m)	3,6012	ha
Bande végétalisée (fossé 3 m)	0	ha
Bande végétalisée (fossé 5 m)	0	ha
Scénario	3	

VOLET CHAMP

Rotation	ha réparti PAEF	Rotation en %	Diminution de rend. (%)
Prairie	161,48	61,6	-25
Maïs ensilage	44,98	17,2	-35
Blé panifiable	42,95	16,4	-35
Seigle	12,6	4,8	-35

Rotation	Bande riveraine	Superficies cultivables	Bande riveraine	Superficies cultivables
	Marge sur charges variables	Marge sur charges variables	Coût de production	Coût de production
	/ha	/ha	/tonne M.S.	/tonne M.S.
Prairie	211	476	279	210
Maïs ensilage	-121	-14	437	284
			\$/tonne TQS	\$/tonne TQS
Blé panifiable	18	78	576	374
Seigle	32	54	435	283

Taxes foncières payée	9 633,00 \$
coût tot (\$) bande riveraine	130,61 \$
Valeur terre	4 389 909,60 \$
coût d'opportunité	
rendement (taux intérêt)	1 487,98 \$
Perte monétaire (non utilisation)	1 618,58 \$

Total marge rotation/année/ha	140,08 \$	ha
perte sur marge \$/ha	454,45 \$	\$/ha
Perte sur marge (bande riveraine)	1 636,58 \$	\$ total

VOLET ÉTABLE

PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$ STD)	75,18 \$
PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$/hl)	81,29 \$
Perte au coût de production (\$/hl)	6,11 \$
Perte au coût de production total	1 490,41 \$

COUT D'UTILISATION BANDE RIVERAINE

Nom Entreprise:	409
Bande riveraine (fossé 1 m)	0,00 ha
Bande riveraine (cours d'eau 3 m)	3,7551 ha
Bande végétalisée (fossé 3 m)	0 ha
Bande végétalisée (cours d'eau 5 m)	0 ha
Scénario	3

VOLET CHAMP

Rotation	ha réparti PAEF	Rotation en %	Diminution de rend. (%)
Prairie	158,7	57,7	-25
Maïs ensilage	62,62	22,8	-35
Blé panifiable	53,8	19,6	-35

Rotation	Bande riveraine	Superficies cultivables	Bande riveraine	Superficies cultivables
	Marge sur charges variables	Marge sur charges variables	Coût de production	Coût de production
	/ha	/ha	/tonne M.S.	/tonne M.S.
Prairie	16	137	460	345
Maïs ensilage	12	137	343	223
			\$/tonne TQS	\$/tonne TQS
Blé panifiable	95	183	532	346

Taxes foncières payée	5 485,00 \$
coût tot (\$) bande riveraine	73,86 \$
Valeur terre	5 502 400,00 \$
coût d'opportunité	
rendement (taux intérêt)	1 852,27 \$
Perte monétaire (non utilisation)	1 926,12 \$

Total marge rotation/année/ha	123,31 \$	ha
perte sur marge \$/ha	333,70 \$	\$/ha
Perte sur marge (bande riveraine)	1 253,07 \$	\$ total

VOLET ÉTABLE

PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$ STD)	80,48 \$
PRIX CIBLE POUR LE LAIT (\$/hl)	88,14 \$
Perte au coût de production (\$/hl)	7,67 \$
Perte au coût de production total	959,48 \$



INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT
ИИ АСВОЕИЛІВОИИЕИИ
ИІ DE DELEGОЪЕИИ

RAPPORT FINAL

BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE OUELLE : DES RESSOURCES À PROTÉGER



Responsable scientifique : SIMON RICARD, CHERCHEUR

Collaborateur ou co-auteur : Mohamed Niang, Alexandra Villeneuve, agr., Michael Osina

Rapport présenté à : Marc Montpetit, agr. et Amélie Martin, agr., Groupe conseil agricole de la Côte-du-Sud

Date : 16 mai 2022

Projet IRDA # : 400140

www.
irda.
qc.ca

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Simon Ricard

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-2380, poste 691

Courriel : simon.ricard@irda.qc.ca

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	1
2	APPROCHE GLOBALE DU PROJET ET DESCRIPTION DE L'OUTIL GÉODEP	2
3	DONNÉES GÉOSPATIALES.....	4
3.1	Délimitation du bassin versant et de la zone d'étude.....	4
3.2	Occupation du sol en 2019	5
3.3	Pédologie	7
3.4	Rassemblement des données dans une BASE DE DONNÉES géospatiales.....	8
4	PARAMÉTRAGE DE L'OUTIL GÉODEP ET SIMULATION DES SCÉNARIOS	10
4.1	Projections des flux de sédiments et de P	12
5	RÉSULTATS	13
5.1	Résultats du Scénario réel	13
5.2	Résultats des Scénarios alternatifs	17
5.2.1	Résultats du scénario initial	18
5.2.2	Résultats des scénarios alternatifs	19
6	CONCLUSION	22
	RÉFÉRENCES.....	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Distribution des aménagements du drainage souterrain retenus dans le paramétrage du métamodèle à l'échelle du bassin versant de la rivière Ouelle	13
Tableau 2.	Ruissellement de surface et souterrain, charges annuelles massiques et spécifiques de MES (sédiments) et de P projetées à l'échelle du bassin versant par le métamodèle GéoDEP en scénario réel	14
Tableau 3.	Charges de sédiments et de P du scénario initial	18
Tableau 4.	Projections des scénarios alternatifs de gestion sur les exportations globales de sédiments et de P par classe d'utilisation du sol et sur la base de la superficie traitée	24
Tableau 5.	Projections des scénarios alternatifs de gestion sur les exportations globales de sédiments et de P par classe d'utilisation du sol et sur la base de la superficie traitée les zones inondables	25
Tableau 6.	Description du scénario alternatif A	26
Tableau 7.	Description du scénario alternatif B	26
Tableau 8.	Description du scénario alternatif C	27
Tableau 9.	Description du scénario alternatif D	27
Tableau 10.	Description du scénario alternatif E	27

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Approche globale du projet	2
Figure 2.	Délimitation du bassin versant de la rivière Ouelle avec les paramètres par défaut de ArcSWAT..	4
Figure 3.	Délimitation finale du bassin versant avec un lissage à 2 m et un seuil à 350 ha.	5
Figure 4.	Occupation du sol en 2019 dans la zone d'étude selon la BDPPAD	6
Figure 5.	Répartition des occupations du sol dans la zone d'étude	6
Figure 6.	Pédologie de la zone d'étude	7
Figure 7.	Modèle numérique d'élévation LiDAR (1 m) de la zone d'étude	8
Figure 8.	La base de données géospatiale pour le projet.	9
Figure 9.	Métadonnées de la BD géospatiale	9
Figure 10.	Hauteurs de ruissellement générées par le scénario réel	15
Figure 11.	Exportations de sédiments générées par le scénario réel	16
Figure 12.	Exportations de phosphore générées par le scénario réel	16
Figure 13.	Limites (20 -100 ans) de la zone inondable de 2015	18
Figure 14.	Hauteurs de ruissellement du scénario C	19
Figure 15.	Exportations de sédiments du scénario C	20
Figure 16.	Exportations du phosphore du scénario C	20

1 INTRODUCTION

Le bassin versant de la rivière Ouelle est situé à cheval sur les régions administratives de Chaudière-Appalaches et du Bas-Saint-Laurent. Les activités agricoles sont essentiellement concentrées dans la portion aval du bassin versant où divers enjeux (érosion, inondation, qualité de l'eau) y sont jugés problématiques. Dans cet espace limité, on retrouve certaines des meilleures terres agricoles du Bas-Saint-Laurent. Le bassin abrite également plusieurs espèces d'oiseaux et de poissons dont des frayères à éperlan arc-en-ciel. Ce secteur fait l'objet d'attention particulière depuis plusieurs années. Sa sensibilité à l'érosion des berges, avec des conséquences sur la faune et l'agriculture, mais aussi sur les infrastructures aménagées près de la rivière, nécessite une concertation incontournable des différents acteurs impliqués dans la gestion du bassin versant.

En 2017, dans le cadre du Programme d'appui aux actions régionales (PAAR, MAPAQ Bas-Saint-Laurent) et du volet 3.1 du programme Prime-Vert, l'OBAKIR a produit une étude visant la caractérisation et l'identification de pistes d'actions pour la conservation et la mise en valeur de la biodiversité dans le tronçon aval de la rivière Ouelle. Le lien entre l'agriculture et la biodiversité pour ce secteur a été inscrit au plan d'action de l'approche régionale du MAPAQ Bas-Saint-Laurent. Le projet visait à mettre à jour les connaissances, identifier les actions et les mettre en œuvre au sein du plan d'action de l'approche régionale du MAPAQ Bas-Saint-Laurent. Parmi les pistes d'actions suggérées sur le plan agricole on retrouve : « le retrait des superficies en culture de la bande riveraine et de formuler des recommandations sur les bandes riveraines à implanter ou à maintenir en fonction des conditions spécifiques ; stabiliser les foyers d'érosion ponctuelle d'origine agricole ; sensibiliser les producteurs concernant les cultures en zones inondables (OBAKIR, 2017) ». En 2019, le Groupe conseil agricole de la Côte-du-Sud (GCACS) a initié un projet sur le bassin versant de la rivière Ouelle en partenariat avec l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) afin de mieux comprendre l'hydrologie du bassin versant et d'identifier des pratiques agricoles à mettre en place pour améliorer la qualité de l'eau et l'état des frayères à éperlan. Ce document présente les objectifs du projet, la méthodologie adoptée, les résultats obtenus ainsi que les conclusions.

L'objectif principal du projet est d'appuyer les actions de la coalition d'intervenants du bassin versant dans leurs démarches pour l'identification de solutions concrètes pour diminuer les apports de sédiments et de phosphore (P) aux cours d'eau et ainsi favoriser la préservation des aires de fraie situées à l'embouchure de la rivière. La caractérisation et la prévention des émissions diffuses de sédiments et de P depuis le parcellaire agricole sont ciblées dans ce projet. Elles interpellent trois types d'actions prioritaires en lien avec : 1) les changements dans les systèmes de culture qui permettent de minimiser les surfaces de sol à nu durant la période critique de vulnérabilité au ruissellement ; 2) les modalités d'épandage des engrais de ferme qui permettent leur incorporation, afin de prévenir le surenrichissement des sédiments et du ruissellement en P ; et 3) l'aménagement hydroagricole des terres et des cours d'eau pour atténuer les problématiques d'érosion.

2 APPROCHE GLOBALE DU PROJET ET DESCRIPTION DE L'OUTIL GÉODEP

La démarche entreprise dans ce projet vise à développer, valider et transférer un ensemble d'outils à référence spatiale permettant le diagnostic des sources d'émission de sédiments et de P, ainsi que d'évaluer l'impact de scénarios alternatifs de régie agricole. La Figure 1 présente les principales étapes de réalisation du projet : (1) délimiter le bassin et la zone d'étude ; (2) rassembler et mettre en forme les données géospatiales ; (3) simuler un scénario de référence à l'aide de l'outil GéoDEP ; (4) déterminer et simuler des scénarios alternatifs ; (5) analyser l'impact des scénarios alternatifs et communiquer les résultats aux acteurs du milieu.

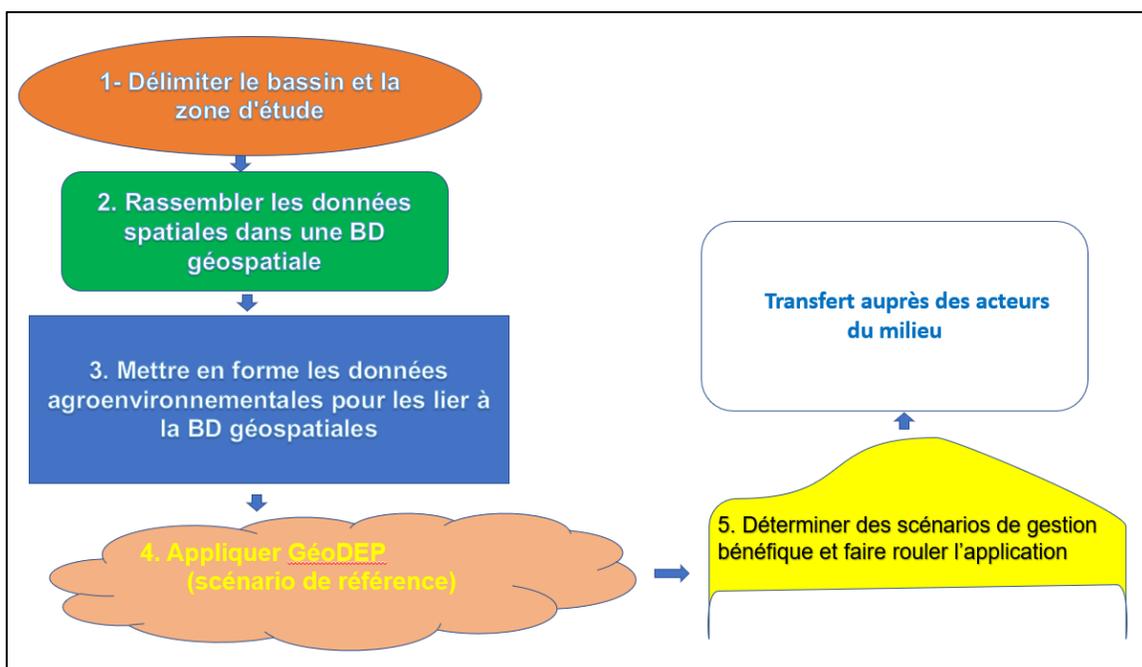


Figure 1. Approche globale du projet

L'outil de diagnostic spatialisé des exportations de P (GéoDEP) développé par l'IRDA (Michaud et al, 2008, Drouin et al., 2014 et Michaud et al., 2018) a été mis à profit pour caractériser le risque d'exportation de sédiments et de P dans le bassin versant de la rivière Ouelle. GéoDEP consiste en une version spatialisée de l'ODEP (Outil de diagnostic des exportations de P) développé antérieurement par l'équipe scientifique de l'IRDA en collaboration avec la commission de la fertilité des sols du CRAAQ et le MAPAQ (Michaud et al., 2009). Conçu dans une perspective d'appui à la planification d'actions concertées ciblées sur la réduction des exportations de P, l'intérêt de l'outil GéoDEP réside d'abord dans l'identification des zones les plus à risque de mobilisation de P, puis dans la possibilité d'évaluer différents scénarios d'intervention sur le devenir des charges de P émises.

Conceptuellement, le métamodèle exprime les principaux facteurs déterminants des exportations de P, soit en lien avec les apports et les stocks présents de P dans les sols (Facteurs Sources) ou en lien avec les processus de

ruissellement et d'érosion (Facteurs Transport). Les *Sources* de P utilisées en intrants par le métamodèle sont le stock de P contenu dans les sols (exprimé par la richesse et la saturation du sol en P) de même que les apports annuels en engrais de ferme (fumiers et lisiers) et en engrais minéraux. Les facteurs déterminants du *Transport*, associés au ruissellement de surface et à l'érosion, sont pour leur part exprimés par les propriétés des sols (infiltration et érodabilité), le relief (longueur et inclinaison des parcours de l'eau) et la couverture de la surface du sol (par les résidus ou par les plantes). Sur le plan de la gestion des données, les différents modules de GéoDEP mettent à profit les banques de données géospatiales publiques disponibles en milieu rural au Québec (données d'élévation, pédologie, plans de culture, etc.) de même que des données pertinentes à la régie des sols et des cultures afin de produire des estimations d'hauteurs d'eau ruisselée et drainée ainsi que des taux d'exportation de sédiments et de P. Pour plus d'informations sur le fonctionnement et les bases théoriques de GéoDEP, le lecteur est invité à se référer aux manuels de l'utilisateur des outils ODEP et GéoDEP (Drouin et al., 2014 ; Michaud et al., 2008 ; 2018 a ; 2018 b).

En marge des projections de flux de sédiments et de nutriments en provenance du territoire en cultures, l'étude comprend également une projection des flux de sédiments provenant des occupations non agricoles du territoire incluant le réseau routier. Les exportations diffuses de P de la portion non agricole du territoire ont pour leur part été estimées sur la base de coefficients d'exportation de P dérivés de la littérature scientifique.

La réalisation du projet s'appuie donc principalement sur le déploiement de l'outil GéoDEP. Dans un premier temps, GéoDEP est opéré pour un scénario dit « réel » défini avec les données réelles décrivant la régie 2019 des cultures collectées sur des fermes participantes fournies par le GCACS. Par la suite, un scénario dit « initial », inspiré du « réel », mais plus représentatif de la moyenne historique a été élaboré en concertation avec les conseillers agricoles du GCACS. C'est de ce scénario initial que le développement et le diagnostic de six scénarios alternatifs de pratiques agricoles, qui sont spécifiquement dédiés à la rencontre des trois types d'actions prioritaires, ont été réalisés et compilés par GéoDEP. Un dernier scénario sur les zones inondables en condition de pratiques agricoles extrêmes a été réalisé. L'ensemble des données à référence spatiale utilisées en support à la modélisation, de même que les résultats représentatifs des différents portraits de gestion du territoire agricole ont été intégré dans un système d'information géographique (SIG) à haute résolution (1 m) et mis à la disposition des partenaires du projet.

3 DONNÉES GÉOSPATIALES

3.1 DÉLIMITATION DU BASSIN VERSANT ET DE LA ZONE D'ÉTUDE

Un modèle numérique d'élévation (MNE) de type LiDAR (Données ouvertes, MFFP 2022) d'une résolution de 1 m a été utilisé pour délimiter le bassin versant à l'étude dans ce projet. Des traitements numériques ont été appliqués afin de corriger hydrologiquement le MNE (en « brûlant » les ponts et les ponceaux) avec ArcSWAT. Les sous-bassins obtenus avec un seuil initial par défaut (2 % de la surface maximale d'accumulation de l'eau) étaient nombreux, segmentés et présentaient plusieurs artefacts (Figure 2).

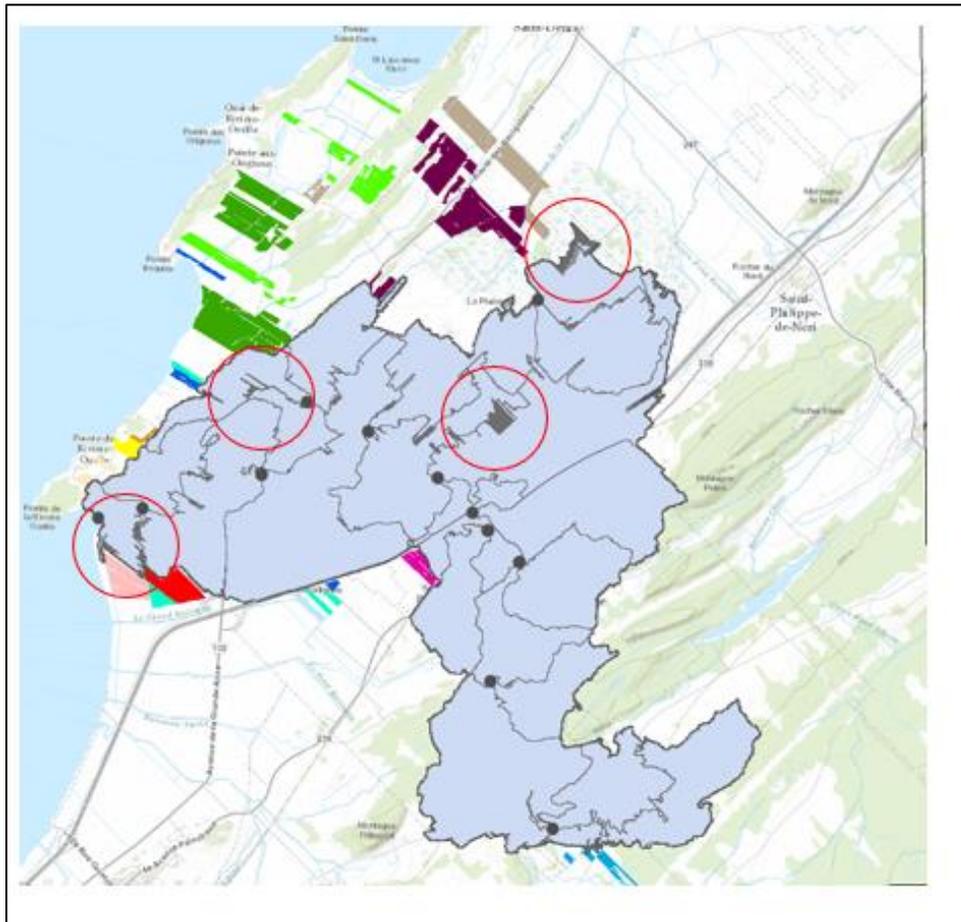


Figure 2. Délimitation du bassin versant de la rivière Ouelle avec les paramètres par défaut de ArcSWAT. Les artefacts sont encadrés en rouge.

Plusieurs filtres de lissage (2 m, 3 m et 5 m) et de tailles de seuil (134 ha, 250 ha et 350 ha) ont été testés pour optimiser la délimitation des sous-bassins. Finalement c'est le MNE d'une résolution de 2 m avec un seuil d'une taille de 350 ha qui a été retenu et agrégé pour obtenir des contours sans artefact (Figure 3).

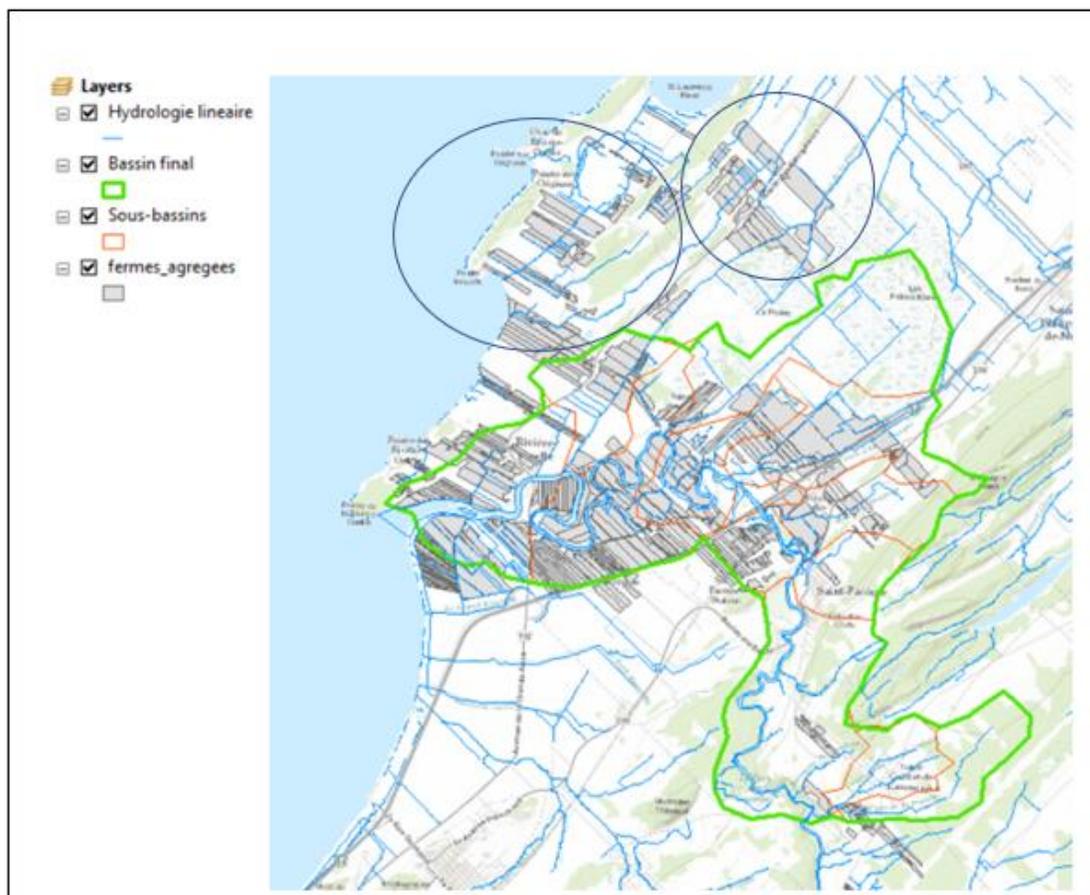


Figure 3. Délimitation finale du bassin versant avec un lissage à 2 m et un seuil à 350 ha.

Le bassin versant modélisé présente une superficie de 5573 ha et 13 sous-bassins. Il est à noter que, bien que certaines fermes documentées se retrouvent hors du bassin versant délimité (fermes encerclées, Figure 3), elles restent tout de même dans la base de données montée.

3.2 OCCUPATION DU SOL EN 2019

La documentation et classification typologique de l'occupation du territoire est principalement issue des cartes écoforestières (SIEF) ainsi que de la base de données des parcelles et productions agricoles déclarées (BDPPAD) de 2019 (Figure 4).

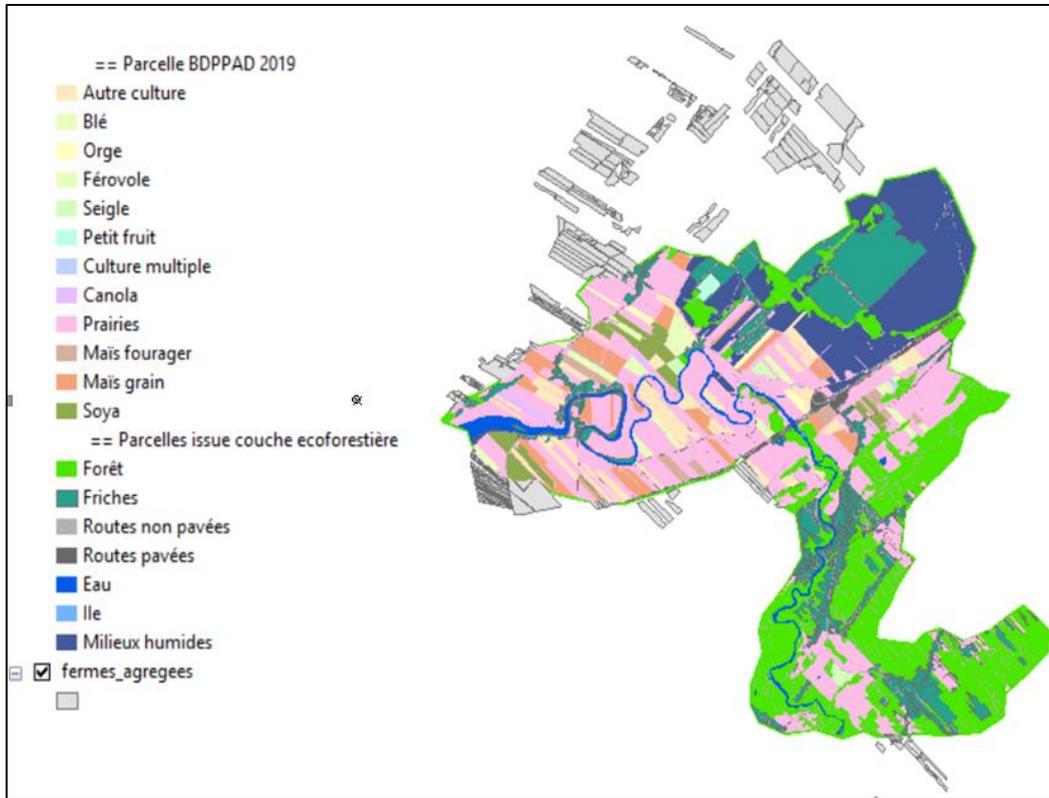


Figure 4. Occupation du sol en 2019 dans la zone d'étude selon la BDPPAD

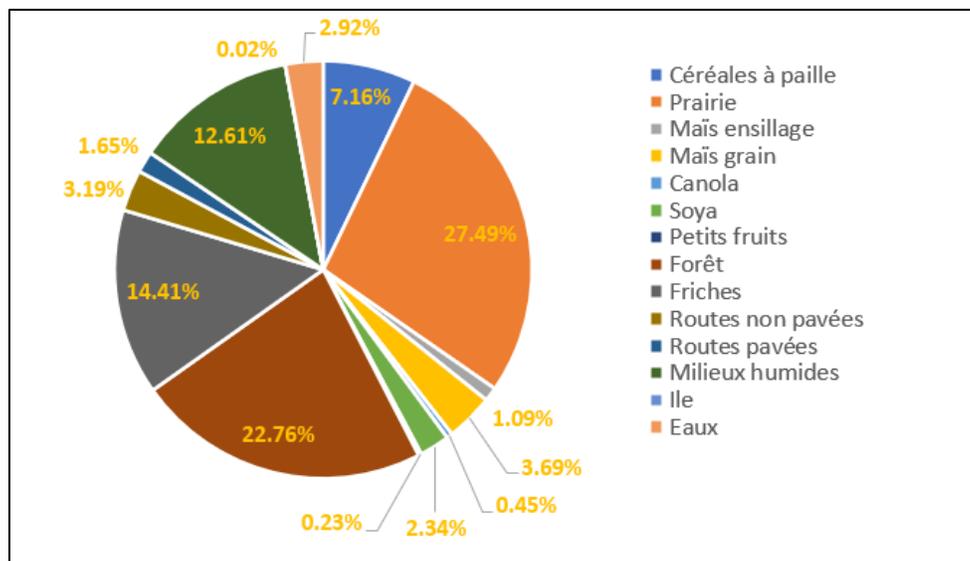


Figure 5. Répartition des occupations du sol dans la zone d'étude

Les prairies (27 %), les céréales à paille (7 %) ainsi que le maïs grain (7 %) et le soya (2 %) constituent les principaux types de cultures (Figure 5). 42,5 % de la superficie du bassin est occupé par des surfaces agricoles.

3.3 PÉDOLOGIE

La carte pédologique du bassin versant est présentée dans la Figure 6. Ce dernier occupe trois régions physiographiques. La quasi-totalité du réseau de drainage occupe les hautes terres appalachiennes. La lithologie est constituée de schistes argileux et de grès (Martineau, 1977). On y trouve peu de dépôts fluviatiles et les cours d'eau sont souvent encastrés à l'intérieur de vallées étroites. À l'embouchure, le réseau de drainage occupe la basse plaine côtière. Celle-ci est constituée de dépôts argileux d'origine marine capés par des dépôts intertidaux et fluviatiles (Dionne, 1988). La rivière comporte plusieurs sinuosités, toutefois le tracé est profondément incisé dans les dépôts et les méandres sont peu mobiles. Entre ces deux régions physiographiques bien distinctes, il y a une zone de transition à forte pente qui jouxte la municipalité de Saint-Pacôme (Figure 7). Cette zone de transition traverse le lieu-dit de la Cavée où la rivière entaille une crête rocheuse appalachienne. Cette section est aussi caractérisée par la présence de falaises meubles en érosion et des lambeaux de terrasses fluviales. À la sortie de la zone de confinement, la rivière est divagante : son activité est due à la chute drastique de la capacité de transport à l'entrée de la basse plaine côtière et au dépôt de la charge sédimentaire en transit rappelant la dynamique d'un cône alluvial (Buffin-Bélanger et Hétu, 2008).

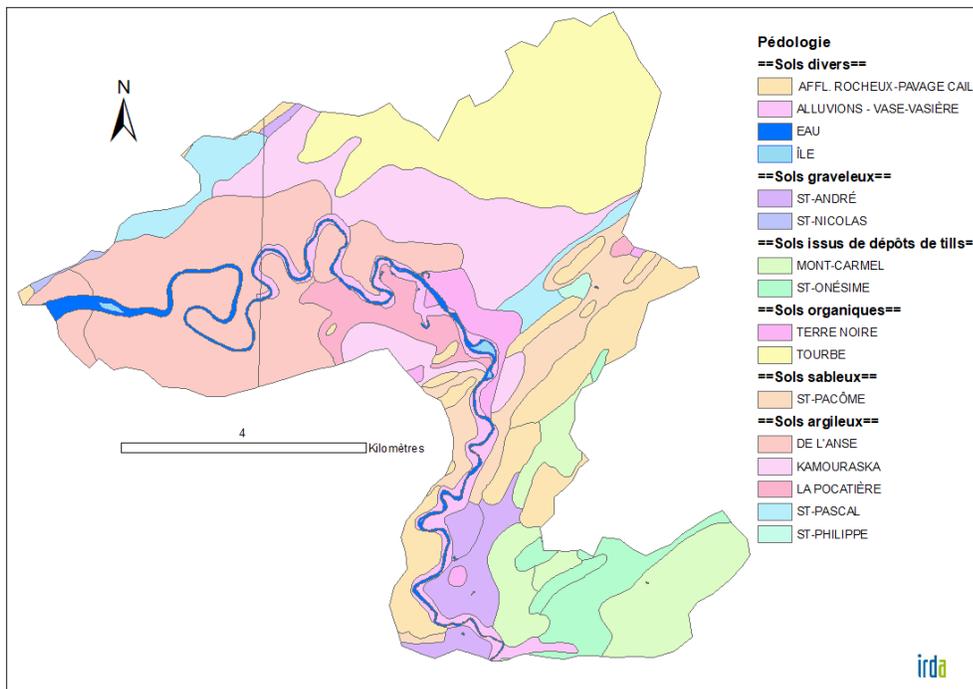


Figure 6. Pédologie de la zone d'étude

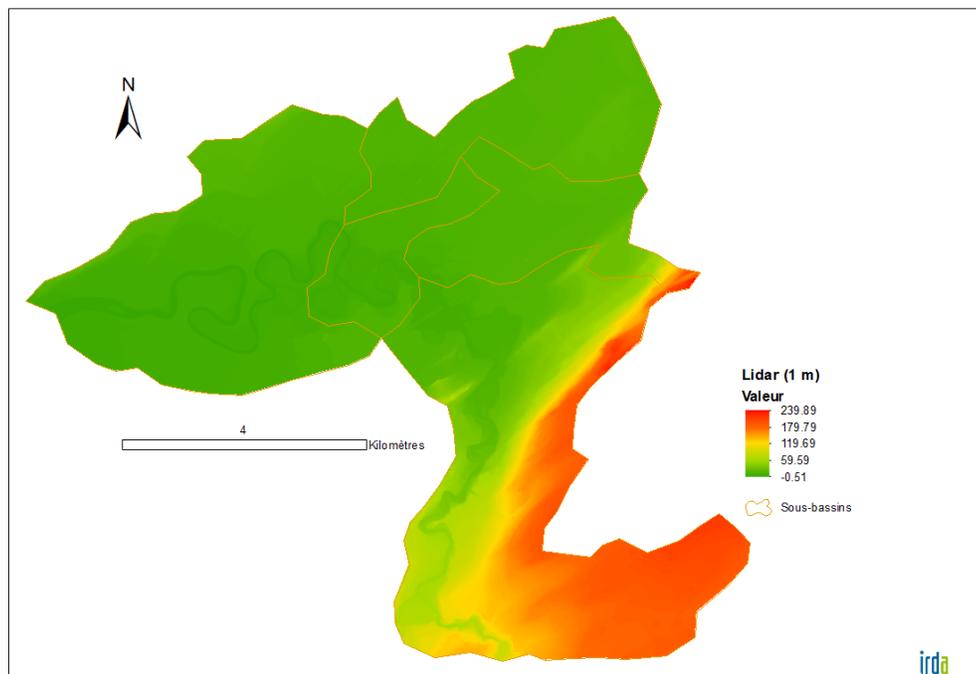


Figure 7. Modèle numérique d'élévation LiDAR (1 m) de la zone d'étude

3.4 RASSEMBLEMENT DES DONNÉES DANS UNE BASE DE DONNÉES GÉOSPATIALES

Toutes les données géospatiales utilisées pour le projet ont été rassemblées dans une base de données ouvrable dans ArcGIS. Pour les visualiser dans QGIS, la procédure consiste à les exporter en format shapefile. Les données, organisées en thématiques, sont présentées à la Figure 8. Ces dernières contiennent des métadonnées où la source et le type de traitement sont consignés (Figure 9) :

- Traitement des relevés LiDAR afin de générer le modèle numérique d'élévation, les micro-bassins-versants et les parcours de l'eau en continu à l'échelle de chaque parcelle et de l'ensemble du bassin versant ;
- Documentation et classification typologique de l'occupation du territoire documentée principalement sur la base des cartes écoforestières (SIEF) et de la base de données des parcelles et productions agricoles (BDPPAD) de l'année en cours et de l'année précédente (La Financière agricole du Québec, 2018 et 2019) ainsi que le réseau routier de la BDTQ.
- Peuplement des tables attributaires en fonction des données des fermes participantes, lorsque disponibles ;
- Réseaux routier et hydrique incluant les milieux humides et forestiers documentés à partir des cartes de base du MERN. Intégration des polygones de zones inondables (données OBAKIR) ;
- Propriétés des sols documentées sur la base des cartes pédologiques de l'IRDA et de la banque de données hydropédologiques de l'IRDA ;

- Classification du système de drainage de surface et souterrain pour chacun des champs sur la base des plans de drainage numérisés (MAPAQ/Géomont) et localisation des sorties de drain sur la base des plans de cours d'eau municipaux (MRC BM) ;
- L'analyse et la cartographie des parcours de l'eau à haute résolution (1 m) dans les champs de l'ensemble du territoire à l'étude ;
- Génération (découpage spatial) des unités de réponse hydrologique homogènes du bassin versant (URHH) et de leurs attributs (propriétés physiques et occupation/régie) ;
- Projection des indices de ruissellement et d'exportation de sédiments et de phosphore avec le support du modèle GéoDEP (Michaud et col., 2008 ; Drouin et col., 2014 et Michaud et col., 2018) à l'échelle des URHH (portrait des zones vulnérables).

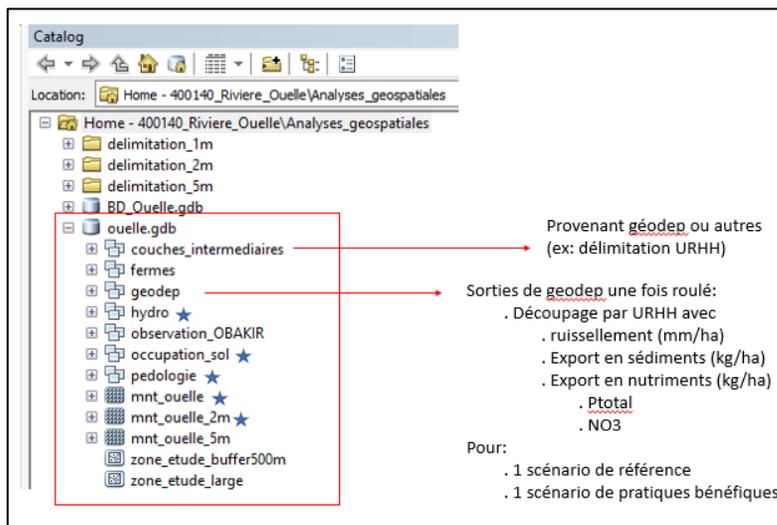


Figure 8. La base de données géospatiale pour le projet.

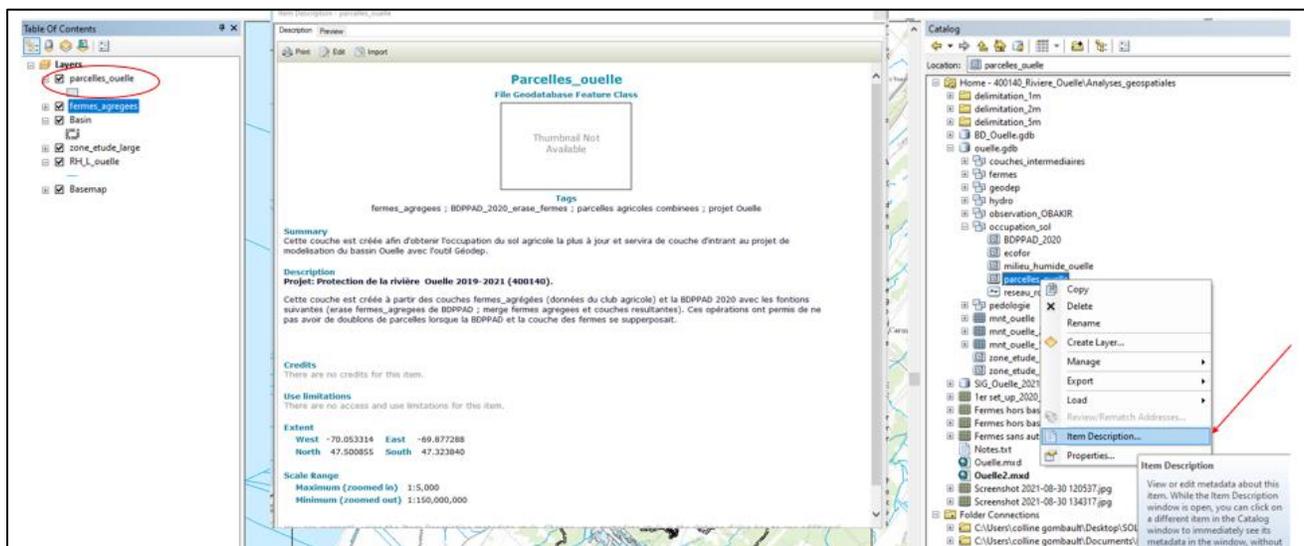


Figure 9. Métadonnées de la BD géospatiale

4 PARAMÉTRAGE DE L'OUTIL GÉODEP ET SIMULATION DES SCÉNARIOS

L'étape de paramétrage du modèle GéoDEP consiste à mettre en forme et intégrer l'ensemble des données dans la base de données géospatiales. Les données associées à chacune de ces couches d'information à référence spatiale sont par la suite structurées de façon à alimenter les différents modules de calcul du modèle et à générer les résultats de prédiction hydrologique. Le module 1 délimite les bassins versants et les sous-bassins-versants à haute résolution à partir du MNE LiDAR (paragraphe 3.1). Les directions et les accumulations des parcours de l'eau sont également colligées et regroupées en sous-bassins. Le module 2 définit les unités de gestion. Il met à profit deux banques de données à référence spatiale, soit la base de données des parcelles et productions agricoles qui ont été regroupées en classes généralisées d'occupation afin de simplifier l'exercice de modélisation hydrologique.

Les modules 3, 4 et 5 concernent l'analyse des parcours de l'eau et génération du risque d'érosion. L'inclinaison et la longueur des parcours de l'eau sont des facteurs déterminants de l'intensité des processus d'érosion des sols. Le module de calcul du taux d'érosion de GéoDEP utilise le MNE LiDAR afin de générer de façon précise les facteurs de longueur et d'inclinaison des parcours de l'eau qui seront mis à contribution dans la prédiction du taux d'érosion (Michaud et al., 2018a). La démarche est supportée en plusieurs étapes. Dans un premier temps, les polygones de parcours de l'eau sont générés par l'intersection spatiale des sous-bassins, des cours d'eau et des fossés (limites des parcelles agricoles ou réseau de routes). En second lieu, une analyse spatiale des parcours de l'eau dans chacun des polygones de parcours de l'eau permet d'y identifier le parcours de l'eau le plus long. Les statistiques de longueur et d'inclinaison de la pente sont alors générées sur chacun de ces parcours. Ces propriétés de l'écoulement sont par la suite utilisées en intrants dans le calcul du facteur topographique LS , descriptif de la vulnérabilité du relief au processus d'érosion suivant la méthode proposée par Wall et al. (2002).

Les unités de parcours de l'eau sont par la suite croisées avec les polygones de la carte pédologique (propriétés des sols) afin de générer, sur le plan spatial, les unités de réponse hydrologique homogènes (URHH). C'est dans le module 7 que ces URHH sont générées. C'est également à l'échelle de ces unités que sont calculées et représentées toutes les sorties de GéoDEP pertinentes à l'indexation du risque de ruissellement, de l'érosion et de l'exportation de P (module 8 de GéoDEP).

Les valeurs des attributs suivants, qui sont en lien avec la régie des sols et des cultures, ont été documentées à partir des informations dont le GCACS disposait sur les fermes participantes :

- Culture de la saison courante (2019) ;
- Culture de la saison antécédente (2018) ;
- Présence de culture de couverture suivant la récolte ;
- Présence de culture de couverture durant la saison de production ;
- Taux d'application de P (engrais minéraux en bande et à la volée) ;

- Taux d'apports de P des épandages d'engrais de ferme (jusqu'à deux épandages) ;
- Période d'épandage et délai suivant l'incorporation pour chacun des épandages ;
- Classe de travail du sol ;
- Classe d'aménagement du drainage souterrain ;
- Classe d'aménagement du drainage de surface ;
- Classe de condition du profil cultural ;
- Classe de largeur de bande riveraine,
- Présence de structures de contrôle du ruissellement et de l'érosion.

Pour les surfaces agricoles ne participant pas directement à l'étude, nous avons eu recours à différentes données publiques (ex. : BDPPAD, cartes pédologiques, etc.) et valeurs moyennes validées par des agronomes qui sont considérées comme représentatives de la régie culturale dans le bassin versant. Chacune des 1970 unités de calcul du métamodèle (URHH sous occupation agricole) disposait donc de données sans valeurs nulles ce qui est essentiel au bon fonctionnement des modules GéoDEP.

D'autre part, un ensemble d'attributs en lien avec les propriétés physiques et chimiques des sols ont été dérivé de la banque de données hydro-pédologiques de l'IRDA (2018) et mises à profit par les algorithmes de GéoDEP :

- Série de sol ;
- Classe texturale et qualificatif du sol de surface ;
- Proportion de sable du sol de surface ;
- Proportion d'argile du sol de surface ;
- Proportion de sable très fin du sol de surface ;
- Classe de perméabilité ;
- Groupe hydrologique ;
- Taux de matière organique ;
- Teneur du sol en $P_{\text{Mehlich-3}}$;
- Saturation du sol en $Al_{\text{Mehlich-3}}$;
- Teneur naturelle (historique) en P total ;
- Longueur maximale du parcours de l'eau ;
- Pente moyenne du parcours de l'eau.

4.1 PROJECTIONS DES FLUX DE SÉDIMENTS ET DE P

Les projections de flux de sédiments par GéoDEP à l'échelle des URHH font intervenir la hauteur projetée du ruissellement de surface, l'érodabilité du sol, l'analyse des parcours de l'eau (facteur *LS* d'inclinaison et de longueur de parcours de l'eau de l'équation modifiée universelle de perte de sol — *MUSLE*) et un facteur de couverture (*C*) propre à l'occupation du sol et à la régie des champs. Les projections d'exportations de sédiments des champs en culture (2 m à un seuil de 350 ha) ont été estimées sur la base des indices *C* de GéoDEP pour différentes combinaisons de cultures et de régie des sols (Michaud et al., 2009). Les facteurs *C* retenus pour les occupations non agricoles du territoire, principalement représentées par les routes, le milieu forestier et les secteurs urbanisés, sont extraits d'exercices de modélisation antérieurs réalisés au Québec et au Vermont (Deslandes et al., 2006 ; Michaud et al., 2007 ; Winchell et al., 2011). Ceux-ci découlent d'une modélisation hydrologique à haute résolution calibrée pour les portions états-uniennes des bassins des rivières transfrontalières (Québec/Vermont) aux Brochets, Missisquoi et de la Roche à laquelle l'équipe de l'IRDA a contribué. Les coefficients d'exportation annuels spécifiques retenus expriment la contribution annuelle moyenne en P total des routes pavées (1,17 kg P/ha) et non pavées (0,78 kg P/ha), de la forêt (0,14 kg P/ha), des milieux humides (0,72 kg P/ha) et des friches (0,14 kg P/ha).

5 RÉSULTATS

5.1 RÉSULTATS DU SCÉNARIO RÉEL

Le Tableau 1 montre la distribution des aménagements du drainage souterrain des champs retenue dans le paramétrage du métamodèle à l'échelle du bassin versant de la rivière Ouelle. La classification du système de drainage de surface et souterrain pour chacun des champs est basé sur des plans de drainage numérisés (MAPAQ/Géomont). Les types de culture *Autre culture*, *Culture mixte* et *Prairie* sont classifiés comme étant mal drainés et tous les autres types de culture sont drainés partiellement soit 76 % du territoire agricole du bassin versant.

Tableau 1. Distribution des aménagements du drainage souterrain retenus dans le paramétrage du métamodèle à l'échelle du bassin versant de la rivière Ouelle

Type de culture	Drainage partiel (ha)	Absence (ha)	Total général (ha)
Autre culture		225,62	225,62
Culture mixte		45,58	45,58
Blé	98,24		98,24
Orge	26,83		26,83
Petits fruits	12,48		12,48
Canola	25,07		25,07
Prairie		1 521,05	1 521,05
Maïs ensilage	60,08		60,08
Maïs grain	204,46		204,46
Soya	129,32		129,32
Total général	556,48	1 792,26	2 348,74

Les projections des taux annuels d'exportation de sédiments et de P total pour l'ensemble du bassin versant sont rapportées au Tableau 2.

Tableau 2. Ruissellement de surface et souterrain, charges annuelles massiques et spécifiques de MES (sédiments) et de P projetées à l'échelle du bassin versant par le métamodèle GéoDEP en scénario réel

	Sup.	Ruiss. Surface	Ruis Souterrain	Charge MES	Charge spécifique MES	Charge P total	Charge spécifique P total
	ha	mm	mm	kg/an	kg/ha-an	kg/an	kg/ha-an
Céréales à paille	396	117	129	87,741	221	339	0.86
Prairie	1,521	119	92	495,831	326	1,192	0.78
Maïs ensilage	60	122	74	46,531	775	246	4.10
Maïs grain	204	127	168	62,204	304	222	1.09
Canola	25	122	280	9,819	392	35	1.40
Soya	129	122	145	56,706	438	139	1.07
Petits fruits	12	120	62	537	43	7	0.55
Total agricole	2,349	122	136	759,368	323	2,181	0.93
Forêt	1,260	99	7	74,597	59	176	0.14
Friches	797	92	7	101,017	127	136	0.17
Routes non pavées	177	68	108	81,309	460	138	0.78
Routes pavées	91	69	72	13,013	143	107	1.17
Milieux humides	698	113	26	11,003	16	502	0.72
Ile	1	236	5	0	0	0	6E-05
Eaux	161	127	5	0	0	0	6E-05
Total bassin	5,534	115	33	1,040,307	327	3,239	1

Le Tableau 2 montre les projections de GéoDEP des charges de sédiments et P (respectivement de 1,040,307 tonnes et 3,239 tonnes) sur l'ensemble du bassin versant; ce qui est de l'ordre de 12 fois supérieure pour les sédiments et 6 fois supérieure et le P par rapport aux projections de GéoDEP sur la rivière Boyer Sud, un bassin versant de taille similaire (5,875 ha) à la rivière Ouelle (Biron et al., 2020). Rappelons qu'aucune mesure des charges n'est disponible pour notre site d'étude. Cependant, dans l'étude de Biron et al., (2020), on avait une différence de 120% pour les sédiments et 84 % pour le P en comparant les projections de GéoDEP avec les mesures à la station de Boyer-Sud (5,828,352 tonnes pour les sédiments et 8,067 tonnes pour le P). La différence des projections de GéoDEP de cette étude par rapport aux charges mesurées dans Boyer-Sud est de -82 % pour les sédiments et -60% pour le P. Cette sous-estimation des charges de sédiments et de P particulière par les routines de GéoDEP est attendue en aval du bassin de la rivière Ouelle compte tenu que GéoDEP ne projette que les flux associés aux processus de ruissellement au champ. La portion aval du bassin de la rivière est en effet relativement plus vulnérable aux processus d'érosion en rive et affectée par une plus forte capacité de transport des sédiments en rivière en raison du cumul des débits des affluents. Les problématiques d'érosion en bordure de la rivière Ouelle sont connues depuis longtemps et l'érosion de berges se présente sous plusieurs formes le long des rives. Les décrochements de talus sur plusieurs dizaines de mètres de longueur est la forme la plus visible (OBAKIR, 2017).

Les figures 10 à 12 illustrent successivement les projections des hauteurs de ruissellement et des exportations spécifiques (sur la base de la superficie) de sédiments et de P total projetées par le modèle GéoDEP pour l'application du scénario de gestion réel à l'ensemble du bassin versant de la rivière Ouelle.

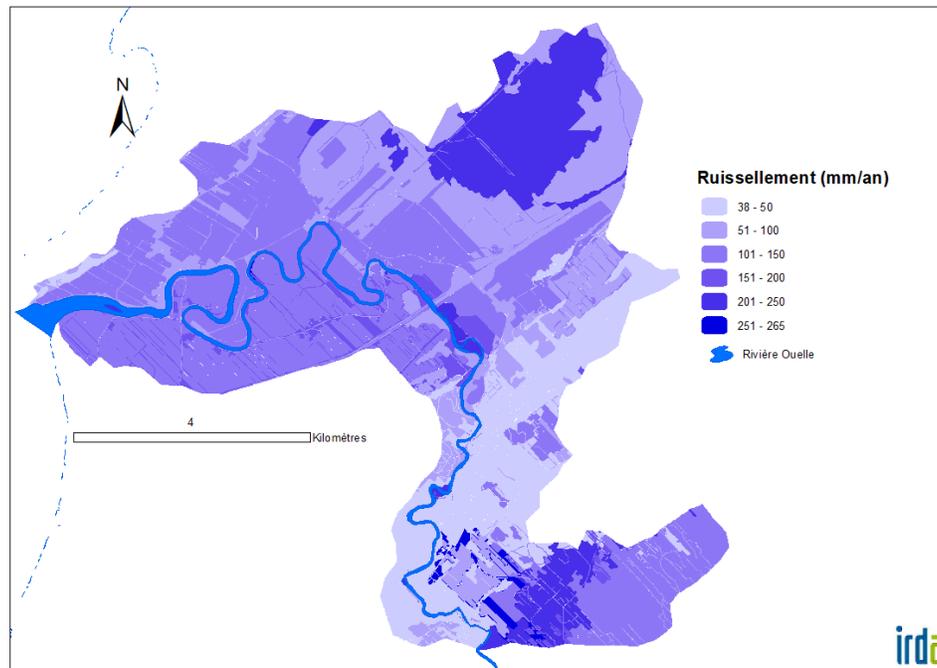


Figure 10. Hauteurs de ruissellement générées par le scénario réel

La Figure 11 illustre la distribution des taux d'exportation de sédiments (kg/ha/an) qui est fonction des taux projetés de ruissellement de surface par GéoDEP (Figure 10) et du facteur *LS*. Dans l'ensemble, les taux de ruissellement projetés varient de 38 à 265 mm par an. Cette forte disparité traduit en premier lieu la classification des groupes hydrologiques des sols du bassin versant prise en compte dans le modèle. La présence de drainage souterrain systématique ou partiel, la classe du drainage de surface et de la condition du sol documentée dans GéoDEP (Michaud et al., 2009) contribuent aussi à moduler le taux de ruissellement de surface projeté. Bien qu'une tendance à l'augmentation du taux d'exportation de sédiments soit suggérée en réponse à l'accroissement du taux de ruissellement, la Figure 11 met en relief que l'exportation de sédiments varie considérablement pour un taux de ruissellement donné. Cette dispersion dans les taux projetés d'exportation de sédiments met en lumière les effets cumulés du relief, des propriétés des sols et de la régie de la parcelle pris en compte dans le modèle. Il s'en suit une forte discrimination des taux projetés de pertes de sédiments qui est, par exemple, d'une valeur pratiquement nulle sur un terrain plat, très perméable (groupe hydrologique « A »), drainé et en prairie (au nord du bassin) à plus de 5 tonnes de sédiments par hectare sur des sols peu perméables (quelques parcelles au sud), en culture annuelle sans pratique culturale antiérosive et suivant de longs parcours de l'eau (et/ou de fortes pentes).

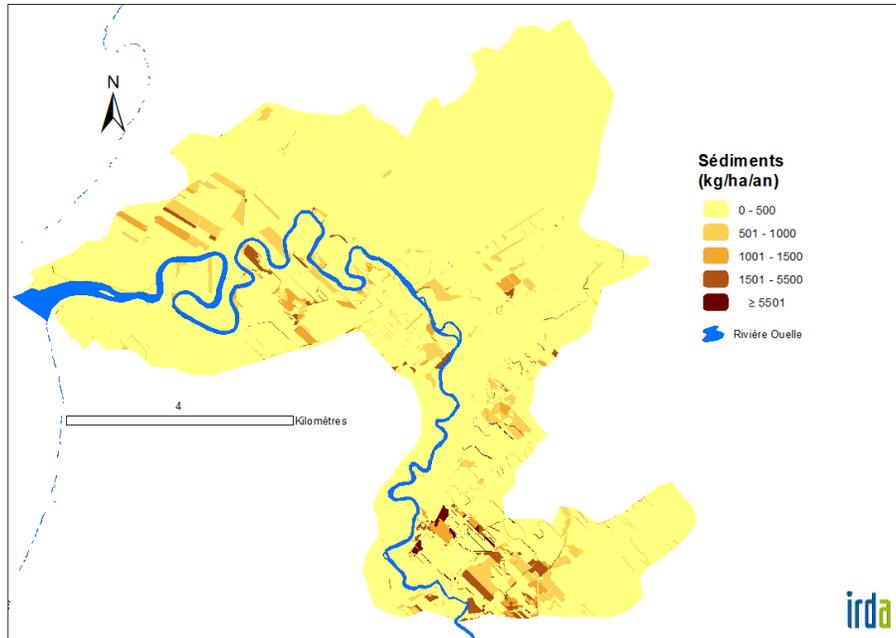


Figure 11. Exportations de sédiments générées par le scénario réel

Comme pour le ruissellement, la corrélation entre le taux de perte de sédiments et de P est clairement exprimée dans la Figure 12. Les superficies en culture de maïs ensilage par exemple, sont particulièrement vulnérables à l'érosion (moyenne de 775 kg/ha/an), sont associées aux taux les plus élevés de perte de P à l'échelle du bassin versant (moyenne de 4,10 kg/ha/an).

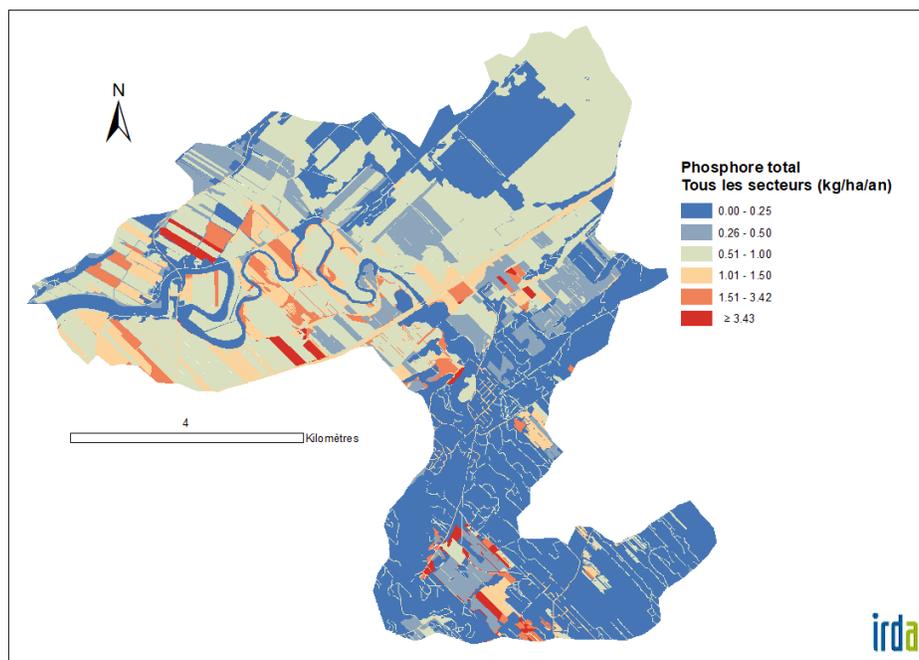


Figure 12. Exportations de phosphore générées par le scénario réel

5.2 RÉSULTATS DES SCÉNARIOS INITIAL ET ALTERNATIFS

Nous présentons ici les flux de sédiments et de P projetés par GéoDEP en réponse à des scénarios de gestion agricole dérivés de la situation réelle en 2018-2019 dans le bassin versant. La démarche de modélisation des scénarios initial et alternatifs a consisté à modifier les valeurs des attributs en lien avec la régie des sols et des cultures des différentes URHH (tel que présenté à la section 4 de ce rapport) sans toutefois changer les propriétés géophysiques telles que la nature des sols, du relief ou de la présence de drainage souterrain. Il est ainsi permis de projeter, pour un ensemble de champs ciblés, la réduction ou l'augmentation des exportations de sédiments et de P suivant une ou plusieurs pratiques alternatives.

De prime abord, nous avons mis en place, en concertation avec les partenaires du projet, un scénario dit « initial » : il s'agit d'un scénario de pratiques agricoles présentant moins de variations de régies et de cultures que le scénario « réel », mais inspiré de la situation réelle en 2018-2019 dans la zone d'étude. Il contient les cultures *Prairie*, *Céréales*, *Maïs ensilage* et *Soya* qui sont représentatives de la majorité des surfaces agricoles dans la réalité. Le travail des sols est pour l'ensemble des parcelles de type conventionnel : labour à l'automne et travail secondaire au printemps, hormis lors des années en prairies. L'ensemble des bandes riveraines sont d'une largeur inférieure à 1 m. Les détails quant à ce scénario sont disponibles en Annexe A. Nous avons ensuite dérivé de ce scénario initial cinq scénarios alternatifs présentant des méthodes alternatives de régies de cultures comme le non-travail du sol (semis direct) et/ou l'implantation de cultures de couverture et/ou une gestion différente des amendements organiques, etc. Ces scénarios peuvent être consultés en Annexe B.

Afin de mieux contextualiser les taux d'exportations de sédiments et de phosphore qui découlent de nos différentes modélisations, nous avons ajouté deux scénarios extrêmes faisant office de « minimum » et de « maximum » probable quant à la valeur de ces mêmes taux. Nous avons considéré qu'un « maximum » probable d'exportations serait le cas dans lequel toutes les surfaces agricoles du bassin versant se trouveraient en culture de maïs ensilage sous travail conventionnel, amendé de lisier de bovins laitiers et ne présentant pas une bande riveraine conforme. Nous avons appelé ce scénario « extrême intensif ». En opposition, nous avons également testé un scénario « extrême extensif » s'inspirant d'une régie de conservation : l'ensemble des superficies est en culture de foin, sans intrant, sans travail du sol et avec bande riveraine conforme (3m). Finalement ces deux scénarios ont été appliqués sur des zones du bassin versant particulièrement vulnérables, en raison de leur inondabilité. La délimitation des zones inondables (20 -100 ans) fournie le GCACS (Figure 13) a été utilisée pour cette étude.

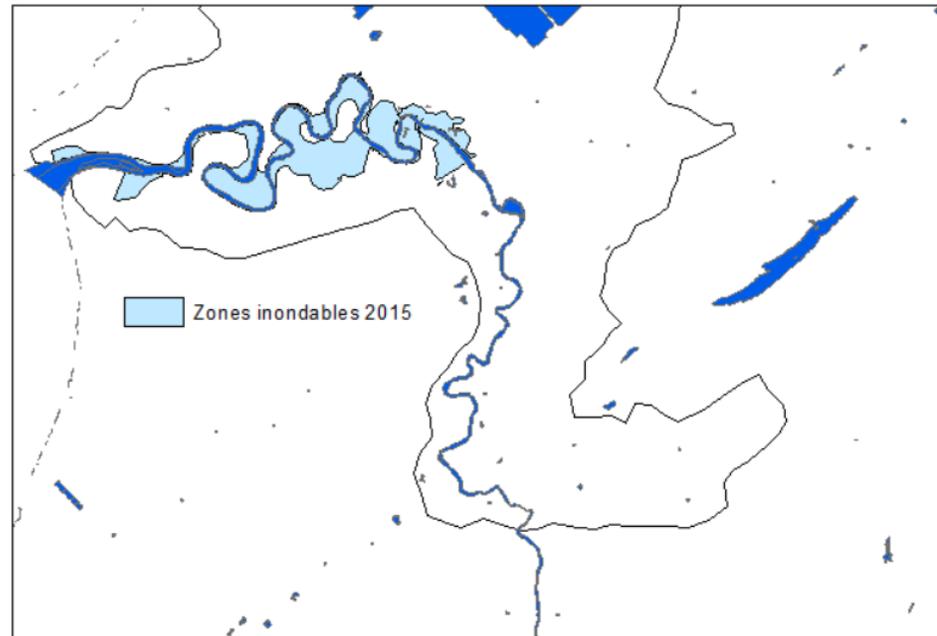


Figure 13. Limites (20 -100 ans) de la zone inondable de 2015

5.2.1 Résultats du scénario initial

Les résultats projetés par GéoDEP pour le scénario initial montrent une légère augmentation des charges de sédiments par rapport au scénario réel (323 vs 524 kg/ha-an) tout comme pour le P (0,93 vs 1,41 kg/ha-an) sur l'ensemble des surfaces cultivées et des estimations (Tableau 3).

Tableau 3. Charges de sédiments et de P du scénario initial

Scénario initial						
	Sup.	Sup	Charge MES	Charge spécifique	Charge P total	Charge spécifique
	ha	%	kg/an	kg/ha-an	kg/an	kg/ha-an
Céréales	587	25	371,420	632	617	1.05
Prairie	1,174	50	404,435	344	956	0.81
Maïs	352	15	340,995	968	1,476	4.19
Soya	235	10	113,159	482	254	1.08
Total agricole	2,349		1,230,008	524	3,303	1.41

5.2.2 Résultats des scénarios alternatifs

Le Tableau 4 (Annexe B) rapporte les résultats de réductions de charges annuelles de sédiments et de P total par classe d'utilisation du sol du bassin versant résultant de l'application de chaque scénario alternatif de gestion agricole. Les effets de chacune des différentes mesures sont rapportés sur le bilan global des exportations à l'échelle des surfaces en culture du bassin versant. Globalement, les réductions projetées les plus importantes sont celles découlant du scénario alternatif C. Pour ce dernier, la réduction est de l'ordre de 42 % pour les sédiments et 34 % en ce qui concerne le P. Ce scénario de régie est, en fait, le cumul du scénario alternatif B en plus de la considération de la conformité des bandes riveraines pour tous les champs. Ce résultat était bien attendu, car les algorithmes du métamodèle GéoDEP peuvent attribuer une efficacité globale de près de 25 % de réduction dans la charge de P particulaire attribuable à l'aménagement de bandes riveraines élargies et de l'interception du ruissellement de surface par des fossés-avaloirs (Michaud et al., 2009). Les figures 14 à 16 montrent les répartitions spatiales des charges de ce scénario C (Tableau 4, Annexe B).

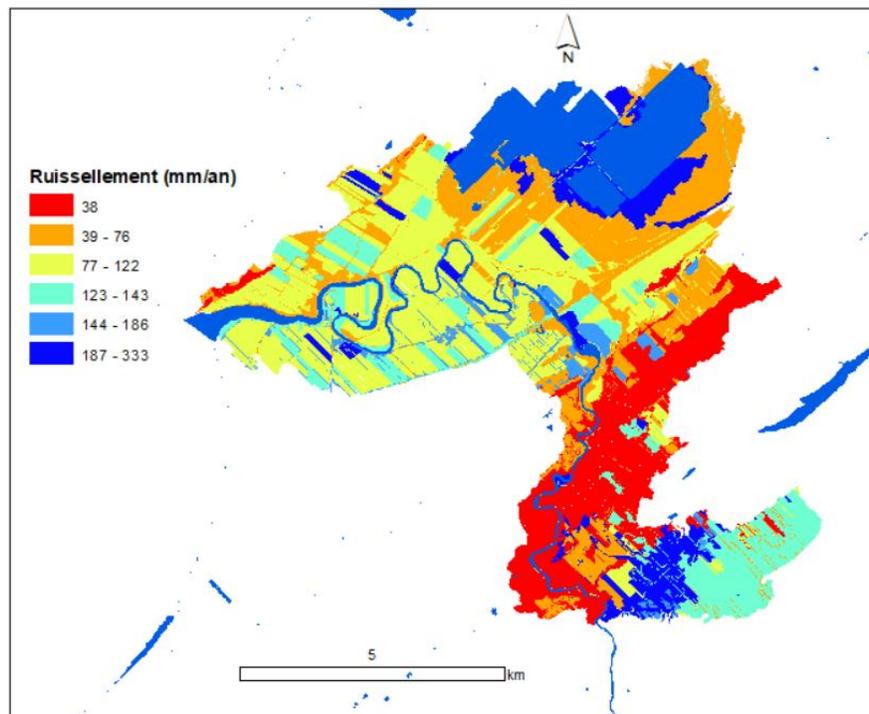


Figure 14. Hauteurs de ruissellement du scénario C

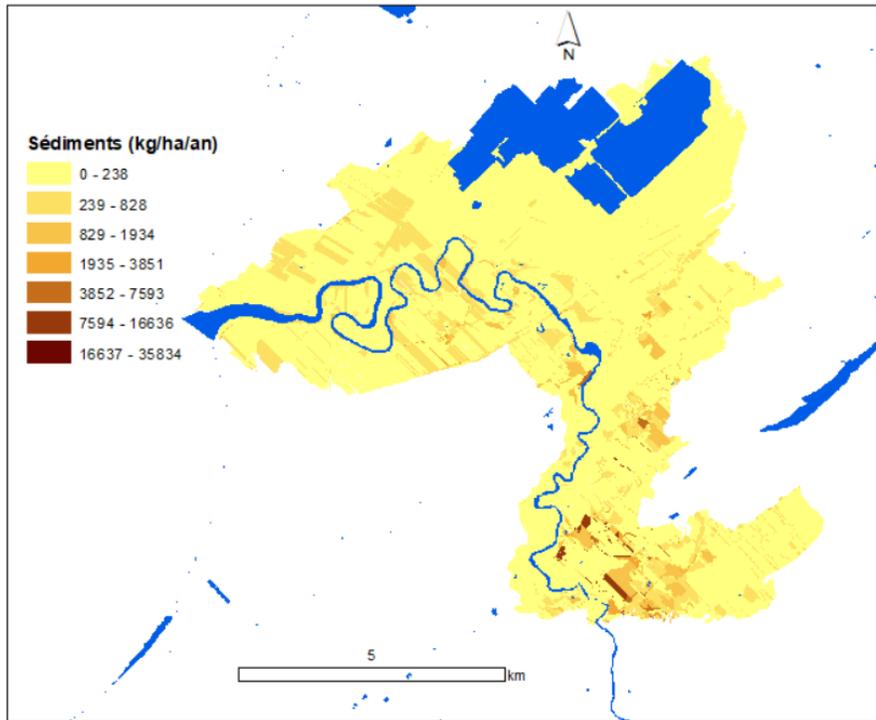


Figure 15. Exportations de sédiments du scénario C

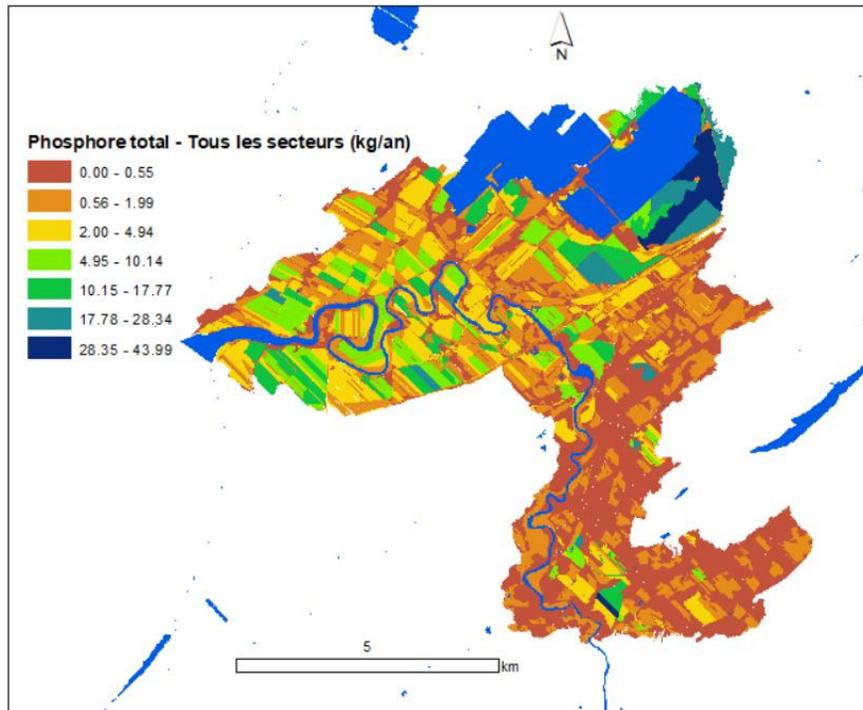


Figure 16. Exportations du phosphore du scénario C

Le scénario B est le second qui fournit les meilleures réductions (35 % pour les sédiments, et 30 % pour le P). Ce scénario se caractérise globalement par un travail de sol réduit ainsi que la présence d'un couvert de sol sept hivers sur 8. Le scénario D n'offre aucun bénéfice de réduction de charges. Cela pourrait être lié aux effets antagonistes d'augmentation des doses de fumiers en première période et de leur réduction dans la deuxième période d'épandage et également le labour sur presque toutes superficies en culture.

Les superficies en culture localisées dans les zones inondables (Figure 13) ont été converties en régie homologue à celle de notre scénario « extrême extensif ». Nous obtenons une réduction de 100 en sédiments et en P. Cependant, si cette régie était plutôt du type « extrême intensif » nous retrouvons des augmentations très significatives des charges de sédiments et de P. Les résultats peuvent être consultés dans le Tableau 5 en Annexe B.

6 CONCLUSION

Cette étude a permis la mise en place d'une base de données géospatiales du bassin versant de la rivière Ouelle en colligeant l'ensemble des données disponibles les plus récentes. Un scénario réel obtenu grâce aux données collectées par le GCACS sur des fermes participantes enrichi avec les données de charges fertilisantes calculées à partir des abaques du CRAAQ et la classification du système de drainage de surface et souterrain pour chacun des champs sur la base des plans de drainage numérisés (MAPAQ/Géomont). Les projections des exportations des sédiments et de P avec le métamodèle GéoDEP ont montré certaines parcelles agricoles sensibles à ces exportations. Un scénario initial représentatif des conditions générales de l'utilisation du sol du bassin a été par la suite élaboré en concertation avec l'équipe du GCACS. Bien que le modèle GéoDEP ne tient pas compte de l'érosion de berges, ce scénario initial présentant des résultats plus proches des valeurs mesurées sur la rivière Boyer (de taille similaire) a été considéré comme scénario de référence pour les différents scénarios alternatifs de l'étude. L'implantation de l'ensemble des scénarios retenus dans le cadre de la présente étude permettrait, en théorie, une réduction globale de l'ordre de 42 % de la charge de sédiments et de 34 % de la charge de P (scénario C) par rapport à la situation actuelle à l'échelle du bassin versant. L'efficacité projetée d'une mesure donnée ou d'un scénario est cependant variable, dépendamment de sa vulnérabilité initiale (son type de sol, sa topographie, sa régie de culture, etc.)

ANNEXE A – DESCRIPTION DU SCÉNARIO INITIAL

% de superficie	Culture récoltée	Engrais minéral P en rang (kg P2O5/ha)	Engrais minéral P à la volée (kg P2O5/ha)	Type de fumier 1	Dose 1 (m3/ha)	Dose 1 (kg P2O5/ha)	Période 1	Délai d'incorporation 1
40	Prairie	0	0	Lisier bovin laitier	25	37,5	Post-levée	Non inc.
5	Prairie	0	0	Lisier bovin laitier	25	45	Post-levée	Non inc.
5	Prairie	0	0	Lisier bovin laitier	25	45	Post-levée	Non inc.
15	Maïs ensilage	35	0	Lisier bovin laitier	35	52,5	Pré-semis	Inc. en 48 hrs
15	Céréales (de printemps)	15	0	Lisier bovin laitier	30	45	Automne hâtif	Inc. en 48 hrs
5	Céréales (de printemps grainée)	15	0	Lisier bovin laitier	30	45	Pré-semis	Inc. en 48 hrs
5	Céréales (d'automne)	15	0	Lisier bovin laitier	35	52,5	Automne hâtif	Inc. en 48 hrs
10	Soya	0	0	Lisier bovin laitier	30	45	Automne hâtif	Inc. en 48 hrs

Culture récoltée	Type de fumier 2	Dose 2 (m3/ha)	Dose 2 (kg P2O5/ha)	Période 2	Délai d'incorporation 2	Travail du sol	Bande riveraine	Couvert à la dérobée	Couvert associé
Prairie	Lisier bovin laitier	25	37,5	Automne hâtif	Inc. en 48 hrs	Aucun	< 1m	FAUX	FAUX
Prairie	Lisier bovin laitier	40	60	Automne hâtif	Inc. en 48 hrs	Labour à l'automne + trav. second. au print.	< 1m	VRAI	FAUX
Prairie	Lisier bovin laitier	40	60	Automne hâtif	Inc. en 48 hrs	Labour à l'automne + trav. second. au print.	< 1m	FAUX	FAUX
Maïs ensilage	Lisier bovin laitier	30	45	Automne hâtif	Inc. en 48 hrs	Labour à l'automne + trav. second. au print.	< 1m	FAUX	FAUX
Céréales (de printemps)						Labour à l'automne + trav. second. au print.	< 1m	FAUX	FAUX
Céréales (de printemps grainée)						Aucun	< 1m	VRAI	VRAI
Céréales (d'automne)						Labour à l'automne + trav. second. au print.	< 1m	FAUX	FAUX
Soya						Labour à l'automne + trav. second. au print.	< 1m	FAUX	FAUX

ANNEXE B

Tableau 4. Projections des scénarios alternatifs de gestion sur les exportations globales de sédiments et de P par classe d'utilisation du sol et sur la base de la superficie traitée

Scénario de gestion agricole	Estimations sur la base de la superficie agricole totale du bassin						Superficie agricole traitée (%)	Estimations sur la base de la superficie agricole traitée									
	Céréales	Prairie	Mais enillage	Soya		Total		Charge de référence (kg)	Charge résultante (kg)	Réduction massique de la charge (kg)	Taux spécifique de la charge de référence (kg/ha)	Taux spécifique de la charge résultante (kg/ha)	Taux spécifique de réduction de la charge (kg/ha)	Taux relatif de réduction de la charge (%)			
scénario Initial																	
Superficie totale	587	1,174	352	235		2,349	0%										
Charge résultante en MES (kg)	371,420	404,435	340,995	113,159		1,230,008											
Charge résultante en P (kg)	617	956	1,476	254		3,303											
Scénario Alternatif A																	
Superficie totale	587	1,174	352	235		2,349	100%										
Charge résultante en MES (kg)	263,598	404,435	376,518	117,652		1,162,202		MES	1,230,008	1,162,202	-67,806	523.69	494.62	-28.87		-6%	
Charge résultante en P (kg)	527	956	1,578	259		3,321		P	3,303	3,321	17	1.4063	1.4138	0.01		1%	
scénario Alternatif B																	
Superficie totale	587	1,174	352	235		2,349	100%										
Charge résultante en MES (kg)	220,531	404,435	102,650	66,097		793,712		MES	1,230,008	793,712	-436,296	523.69	337.93	-185.76		-35%	
Charge résultante en P (kg)	488	956	673	200		2,317		P	3,303	2,317	-986	1.4063	0.9865	-0.42		-30%	
Scénario Alternatif C																	
Superficie totale	587	1,174	352	235		2,349	100%										
Charge résultante en MES (kg)	199,748	366,320	92,976	59,868		718,912		MES	1,230,008	718,912	-511,096	523.69	306.08	-217.60		-42%	
Charge résultante en P (kg)	462	917	621	190		2,190		P	3,303	2,190	-1,113	1.4063	0.9323	-0.47		-34%	
scénario Alternatif D																	
Superficie totale	587	1,174	352	235		2,349	100%										
Charge résultante en MES (kg)	371,420	404,435	340,995	113,159		1,230,008		MES	1,230,008	1,230,008	0	523.69	523.69	0.00		0%	
Charge résultante en P (kg)	616	1,005	1,447	248		3,316		P	3,303	3,316	15	1.41	1.4127	0.01		0%	
Scénario Alternatif E																	
Superficie totale	587	1,174	352	235		2,349	100%										
Charge résultante en MES (kg)	371,420	404,435	340,995	113,159		1,230,008		MES	1,230,008	1,230,008	0	523.69	523.69	0.00		0%	
Charge résultante en P (kg)	617	899	1,476	255		3,249		P	3,303	3,249	-54	1.41	1.3834	-0.02		-2%	

Tableau 5. Projections des scénarios alternatifs de gestion sur les exportations globales de sédiments et de P par classe d'utilisation du sol et sur la base de la superficie traitée les zones inondables

Scénario de gestion agricole	Estimations sur la base de la superficie agricole totale du bassin						Estimations sur la base de la superficie agricole traitée							
	Céréales	Prairie	Mais ensilage	Soya		Total	Superficie agricole traitée (%)	Charge de référence (kg)	Charge résultante (kg)	Réduction massive de la charge (kg)	Taux spécifique de la charge de référence (kg/ha)	Taux spécifique de la charge résultante (kg/ha)	Taux spécifique de réduction de la charge (kg/ha)	Taux relatif de réduction de la charge (%)
Scénario Initial														
Superficie totale	69	194	20	13		296	13%							
Charge résultante en MES (kg)	41,196	34,466	12,732	5,949		94,343								
Charge résultante en P (kg)	734	730	213	114		1,791								
Scénario Intensif														
Superficie totale			296			296	13%							
Charge résultante en MES (kg)			507,834			507,834	MES	94,343	507,834	413,490	318.48	1714.33	1395.85	438%
Charge résultante en P (kg)			7,299			7,299	P	1,791	7,299	5,508	6.0466	24.6393	18.59	307%
Scénario Extensif														
Superficie totale		296				296	13%							
Charge résultante en MES (kg)		36				36	MES	94,343	36	-94,307	318.48	0.12	-318.36	-100%
Charge résultante en P (kg)		2				2	P	1,791	2	-1,790	6.0466	0.0052	-6.04	-100%

ANNEXE C

Tableau 6. Description du scénario alternatif A

Scénario A	
Prairie 1	Lisier été et lisier automne - sans travail de sol – Couverture de sol prairie
Prairie 2	Lisier été et lisier automne (dose 2 augmentée) – travail réduit – Couverture de sol céréales d’automne
Prairie 3	Lisier été et lisier automne (dose 2 augmentée) – travail réduit – sol nu
Maïs	Lisier au printemps + Lisier post-récolte tardive – travail réduit – Sol nu
Céréales	Lisier automne hâtif – travail réduit – Sol nu
Céréales	Lisier printemps – sans travail de sol – culture associée prairie
Céréales d’automne	Lisier automne hâtif – travail réduit – Sol nu
Soya	Lisier post-récolte tardive - travail réduit – sol nu

Tableau 7. Description du scénario alternatif B

Scénario B	
Prairie 1	Lisier été et lisier automne - sans travail de sol – Couverture de sol prairie
Prairie 2	Lisier été et lisier automne (dose 2 augmentée) – semis direct – Couverture de sol céréales d’automne
Prairie 3	Lisier été et lisier automne (dose 2 augmentée) - Déchaumage au printemps + travail second. au printemps – La prairie est morte mais couvre le sol
Maïs	Lisier au printemps + Lisier post-récolte tardive – Déchaumage au printemps + travail second. au printemps – engrais vert intercalaire
Céréales	Lisier automne hâtif – travail réduit – engrais vert dérobé
Céréales	Lisier printemps – sans travail de sol – culture associée prairie
Céréales d’automne	Lisier automne hâtif – travail réduit – engrais vert dérobé
Soya	Lisier post-récolte tardive - Déchaumage au printemps + travail second. au printemps – sol nu

Tableau 8. Description du scénario alternatif C

Scénario C	
Prairie 1	Lisier été et lisier automne - sans travail de sol – Couverture de sol prairie
Prairie 2	Lisier été et lisier automne (dose 2 augmentée) – semis direct – Couverture de sol céréales d’automne
Prairie 3	Lisier été et lisier automne (dose 2 augmentée) - Déchaumage au printemps + travail second. au printemps – la prairie est morte mais couvre le sol
Maïs	Lisier au printemps + Lisier post-récolte tardive – Déchaumage au printemps + travail second. au printemps – engrais vert intercalaire
Céréales	Lisier automne hâtif – travail réduit – engrais vert dérobé
Céréales	Lisier printemps – sans travail de sol – culture associée prairie
Céréales d’automne	Lisier automne hâtif – travail réduit – engrais vert dérobé
Soya	Lisier post-récolte tardive - Déchaumage au printemps + travail second. au printemps – sol nu

Tableau 9. Description du scénario alternatif D

Scénario D	
Prairie 1	Lisier été (dose augmentée) et lisier automne - sans travail de sol – Couverture de sol prairie
Prairie 2	Lisier été (dose augmentée) et lisier automne (dose 2 diminuée) - labour – Couverture de sol céréales d’automne
Prairie 3	Lisier été (dose augmentée) et lisier automne (dose 2 diminuée) - Labour – sol nu
Maïs	Lisier au printemps (dose augmentée) – Labour – Sol nu (enlevé la dose en post)
Céréales	Lisier pré-semis hâtif – Labour – Sol nu
Céréales	Lisier printemps – sans travail de sol – culture associée prairie
Céréales d’automne	Lisier automne hâtif - Labour – Sol nu
Soya	Aucun lisier - Labour – sol nu

Tableau 10. Description du scénario alternatif E

Scénario E	
Prairie 1	Purin été et fumier solide automne - sans travail de sol – Couverture de sol prairie
Prairie 2	Purin été et fumier automne (dose 2 augmentée) - labour – Couverture de sol céréales d’automne
Prairie 3	Purin été et Fumier automne (dose 2 augmentée) - Labour – sol nu
Maïs	Fumier au printemps + Fumier post-récolte tardive – Labour – Sol nu
Céréales	Fumier automne hâtif – Labour – Sol nu
Céréales	Fumier au printemps – sans travail de sol – culture associée prairie
Céréales d’automne	Fumier automne hâtif - Labour – Sol nu
Soya	Fumier post-récolte tardive - Labour – sol nu

RÉFÉRENCES

- Buffin-Bélanger T et Héту B (2008) – Les risques d’inondation sur les cônes alluviaux dans l’est du Québec Comptes rendus de la 4e Conférence canadienne sur les géorisques : des causes à la gestion, Presse de l’Université Laval, Québec, 359-366.
- Biron, P., Michaud, A., Massey, W., Stämpfli, N., Niang, M., Lagacé, R. et Martinelli, G. (2020). Projet EPERLAB : Ensemble pour l’ étude et la restauration de la rivière Boyer. Rapport présenté au programme Odyssée Saint-Laurent du Réseau Québec Maritime. Université Concordia, 150 pages.
- Deslandes, J., Beaudin, I., Michaud, A. R., Bonn, F., Madramootoo, C. A. (2006). Influence of landscape and cropping system on phosphorus mobility within the Pike River watershed of Southwestern Québec. *Canadian Water Resources Journal* 32, 1, 21-42.
- Dionne J (1988) — Note sur les variations du niveau marin relatif à l’holocène, à Rivière-Ouelle, côte sud du Saint-Laurent, *Géographie physique et Quaternaire*, 42 (1), 83-88.
- Drouin, A., Beaudin, I., Michaud, A. 2014. GÉODEP : l’outil de diagnostic des exportations de P spatialisé. Fiche synthèse, IRDA. 2 p. <https://www.irda.qc.ca/fr/publications/GeODEP-l-outil-de-diagnostic-des-exportations-de-P-spatialise/>.
- Martineau G (1977) — Géologie des dépôts meubles de la région de Kamouraska — Rivière-du-Loup, ministère des Richesses naturelles, Service de l’exploration géologique, Division du Quaternaire
- Michaud, A.R., M. Niang, A. Blais-Gagnon et F. Landry. (2017). Outil-de-diagnostic-et-de-prediction-des-exportations-diffuses-de-sediments-et-nutriments (GéoDEP+N). Projet de recherche. Programme Innovation <https://www.irda.qc.ca/fr/projets/outil-de-diagnostic-et-de-prediction-des-exportations-diffuses-de-sediments-et-nutriments-geodep-n/>
- Michaud, A.R., I. Beaudin, J. Deslandes, F. Bonn et C. A. Madramootoo. (2007). SWAT-predicted influence of different landscape and cropping systems alterations on phosphorus mobility within the Pike River watershed of South-western Québec. *Canadian journal of soil science*, 87,3, 329–344.
- Michaud, A.R., M. Giroux, I. Beaudin, J. Desjardins, G. Gagné, M. Duchemin, J. Deslandes, C. Landry, P. Beaudet et J. Lagacé. (2008). ODEP ; un Outil de diagnostic des exportations de P. Manuel de l’utilisateur. Projet « Gestion du risque associé aux facteurs source et transport du P des sols cultivés au Québec », réalisé dans le cadre de l’Initiative d’appui aux conseillers agricoles (PIACA-204). Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Québec, Canada. <https://www.irda.qc.ca/fr/outils-et-services/odep/>
- Michaud, A.R., J. Deslandes, J. Desjardins et M. Grenier. (2009a). Réseau d’actions concertées en bassins versants agricoles. Rapport final de projet. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA),

MAPAQ, Club du bassin La Guerre, Dura-Club, Club de fertilisation de la Beauce, Fonds d'action québécois pour le développement durable, Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec et Programme d'aide technique de Couverture végétale du Canada. Québec, Québec, 155 p. <http://www.irda.qc.ca/resultats/publications/204.html>

Michaud, A.R., J. Desjardins, M. Grenier et R. Lauzier. (2009 b). Suivi de la qualité de l'eau des bassins versants expérimentaux Ewing et Castor — Dans le cadre du projet Lisière verte. Rapport final de projet. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Coopérative de solidarité du bassin versant de la rivière aux Brochets, AAC (PASCAA) et MAPAQ, Québec, Québec, 27 p. <https://www.irda.qc.ca/fr/publications/suivi-de-la-qualite-de-leau-des-bassins-versants-experimentaux-ewing-et-aux-castors-dans-le-cadre-du-projet-lisiererverte>

Michaud, A., Drouin, A., Mailhot, A., Talbot, G., Houar, D., Biner, S., et al. (2012). Mises à jour des normes et procédures de conception des ouvrages hydro-agricoles dans un contexte de changements climatiques. Québec.

Michaud, A.R., J. Desjardins, N. Coté, I. Beaudin, A. Drouin, S. Seydoux et I. Saint-Laurent. (2012a). Rapport de l'Observatoire de la qualité de l'eau de surface en bassins versants agricoles. Rapport sommaire pour la période de référence 2009-2011. Rapport réalisé dans le cadre du projet Observatoire de la qualité de l'eau de surface en bassins versants agricoles. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Québec, Canada. 87 p. et annexes. <http://www.irda.qc.ca/resultats/publications/197.html>

Michaud, A. R., N. — R. Rocha Medrano, R. Lagacé et A. Drouin. (2014a). Développement et validation de méthodes de prédiction du ruissellement et des débits de pointe en support à 129 l'aménagement hydroagricole. Rapport final présenté au CDAQ dans le cadre du PCAA. IRDA. 142 p. <http://www.irda.qc.ca/fr/publications/developpement-et-validation-de-methodes-deprediction-du-ruissellement-et-des-debits-de-pointe-en-support-a-l-amenagement-hydroagricole/>

Michaud, A.R. J. Desjardins, M. Dubuc, A. Drouin, M. Grenier. (2017). Observatoire de la qualité de l'eau de surface en bassins versants agricoles réseau Champlain, Mauricie. Rapport scientifique de projet. 81 p. <https://www.irda.qc.ca/fr/publications/observatoire-de-la-qualite-de-leau-de-surface-en-bassins-versants-agricoles-reseau-champlain-mauricie/>

Michaud, A.R., M. Niang, A. Blais-Gagnon et F. Landry. (2017). Outil-de-diagnostic-et-deprediction-des-exportations-diffuses-de-sediments-et-nutriments (GéoDEP+N). Projet de recherche. Programme Innovation. <https://www.irda.qc.ca/fr/projets/outil-de-diagnostic-et-deprediction-des-exportations-diffuses-de-sediments-et-nutriments-geodep-n/>

Michaud, A.R., M. Niang, A. Blais-Gagnon, W. Huertas, Z. Ipiña et M. Landry. (2018). Suivi hydrométrique et modélisation hydrologique des sédiments et des nutriments du bassin versant du Lac Boivin à Granby. Rapport scientifique final. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), OBV — Yamaska. 79 p. plus annexes.

Michaud, A.R., M.A. Niang, A. Blais-Gagnon, F. Landry, W. Huertas, J. Desjardins et M. Grenier. (2018). Outil de diagnostic et de prédiction des exportations diffuses de sédiments et de nutriments — GéoDEP+N. Rapport scientifique de projet No. IA113111, Programme Innov'action agroalimentaire, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). 68 p. Rapport de recherche •

Michaud, A., M. L. Macrae, M. Niang, K. Hanke. 2018a. "Managing subsurface drainage water to optimize crop productivity, nutrient use, and water availability in contemporary and future climate". IRDA. 154 p

Michaud, A.R., M.A. Niang, F. Landry, W. Huertas, G. Labrie et M. Landry. (2018 b). Suivi hydrométrique et modélisation hydrologique des sédiments et des nutriments des bassins versants de la MRC de la Haute Yamaska. Rapport scientifique final. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), OBV — Yamaska. 95 p. plus annexes.

Michaud, A., M. Niang, L. Belzile, F. Chouinard, J. Bérubé. (2019). « Analyse coûts-efficacité des actions proposées pour réduire de 40 % les charges de P de la rivière La Roche à la baie Missisquoi ». IRDA. 70 p.

Michaud, A.R., S-C Poirier et J.K Whalen. (2019). Tile Drainage as a Hydrologic Pathway for Phosphorus Export from an Agricultural Subwatershed. *Journal of Environmental Quality*. 48, 1, 64–72. Ministère de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques (MELCC). 1998. Bassin versant de la rivière Boyer — 1998. La pollution agricole... il faut y voir sérieusement. http://www.environnement.gouv.qc.ca/milieu_agri/pratiques-agri/boyer/index.htm (page Web consultée le 28 février 2020)

OBAKIR. 2017. Caractérisation (2014) et pistes d'actions pour la conservation et la mise en valeur de la biodiversité dans le tronçon aval de la rivière Ouelle. Organisme de bassins versants de Kamouraska, L'Islet et Rivière-du-Loup (OBAKIR). Projet réalisé dans le cadre du Plan d'action pour l'approche régionale du MAPAQ, direction du Bas-Saint-Laurent, Volet 3.1 de Prime-Vert. 20 p. + annexes.

Winchell, M., D. Meals, S. Folle, J. Moore, D. Braud, C. DeLeo et K. Budreski. (2011). Identification of critical sources areas of phosphorus within the Vermont sector of Missisquoi bay basin. Stone Environmental Inc. Project ID 092156-G. For Lake Champlain Basin Program. www.lcbp.org/techreportPDF/63B_Missisquoi_CSA.pdf