

Évaluation des outils de gestion agroenvironnementale à l'échelle du bassin versant dans un cadre opérationnel de service- conseil à la ferme

Dans le cadre du projet Lisière verte

Aubert R. Michaud, Ph.D.

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

Florent Ruyet, agr.

Dura-Club

Isabelle Beaudin, M. Sc.

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

Septembre 2009



irda Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement



Table des matières

1	INTRODUCTION.....	6
2	MATÉRIELS ET MÉTHODE	7
2.1	VOLET D'ÉTUDE SIG.....	8
2.2	VOLET D'ÉTUDE À L'ÉCHELLE DE LA FERME	16
3	RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	19
3.1	VOLET D'ÉTUDE SIG.....	19
3.1.1	<i>Bilan massique des exportations prédites.....</i>	<i>19</i>
3.1.2	<i>Distributions comparées des prédictions.....</i>	<i>22</i>
3.1.3	<i>Portée opérationnelle des outils</i>	<i>25</i>
3.2	ÉVALUATION DE GRISE SUR LES DIAGNOSTICS D'ÉGOUTTEMENT.....	27
3.2.1	<i>Remarques générales sur les entretiens et les résultats.....</i>	<i>27</i>
3.2.2	<i>Le drainage souterrain et de surface des parcelles décrites</i>	<i>28</i>
3.2.3	<i>Les indicateurs des problèmes d'égouttement</i>	<i>30</i>
3.2.4	<i>Relief, parcours de l'eau et problèmes d'égouttement</i>	<i>32</i>
3.2.5	<i>Le rôle de la nature du sol dans les problèmes d'égouttement.....</i>	<i>35</i>
3.2.6	<i>L'intérêt des producteurs pour l'aménagement des champs</i>	<i>37</i>
3.2.7	<i>Correspondance entre l'égouttement et l'indice de brillance</i>	<i>38</i>
3.2.8	<i>Utilisation de l'atlas GRISE auprès des producteurs et des conseillers</i>	<i>47</i>
3.3	ÉVALUATION DE L'INTÉRÊT DES PRODUCTEURS À CHANGER LEURS PRATIQUES CULTURALES POUR DIMINUER LEUR TAUX D'EXPORTATION DE PHOSPHORE.....	49
3.3.1	<i>Intérêt des producteurs pour des pratiques culturelles alternatives</i>	<i>49</i>
3.3.2	<i>Facteurs décisionnels qui conduiraient à l'adoption</i>	<i>54</i>
3.3.3	<i>Utilisation d'ODEP auprès des producteurs et des conseillers</i>	<i>55</i>
4	SYNTHÈSE ET IMPLICATIONS OPÉRATIONNELLES.....	57
	ANNEXES	61

Ce document peut être cité comme suit :

Michaud, A., F. Ruyet et I. Beaudin. 2009. Évaluation des outils de gestion agroenvironnementale à l'échelle du bassin versant dans un cadre opérationnel de service-conseil à la ferme – Dans le cadre du projet Lisière verte. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Coopérative de solidarité du bassin versant de la rivière au Brochet, Dura-Club, AAC (PASCAA) et MAPAQ, Québec, Québec, 63 p.

Ce projet a été réalisé dans le cadre du projet Lisière verte coordonné par la Coopérative de solidarité du bassin versant de la rivière au Brochet et a été financé par le Programme pour l'avancement du secteur canadien de l'agriculture et de l'agroalimentaire (PASCAA) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) de même que par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ).

Liste des tableaux

Tableau 3.1 Moyennes spécifiques (pondérées pour la superficie), moyennes et écarts-types de la distribution des taux d'érosion prédits par le modèle hydrologique SWAT, l'ODEP et l'atlas GRISE pour le bassin versant du ruisseau Ewing, comparés aux flux mesurés de MES pour les périodes de référence 2001-2006, juin 2007 à mai 2008 et juin à décembre 2008.....	21
Tableau 3.2 Caractéristiques spatiales et portée opérationnelle des SIG dans le cadre d'actions concertées sur la qualité de l'eau.....	26
Tableau 3.3 Pourcentages du drainage souterrain et des types de drainage de surface retrouvés sur le bassin versant du ruisseau Ewing.....	28
Tableau 3.4 Pourcentages des indicateurs des problèmes d'égouttement.	30
Tableau 3.5 Pourcentages des réponses aux différentes causes possibles des problèmes d'égouttement en rapport avec le relief et le parcours de l'eau	32
Tableau 3.6 Pourcentages des réponses aux différentes causes possibles des problèmes d'égouttement en rapport avec la nature du sol	35
Tableau 3.7 Pourcentages des types d'aménagement envisagés par les producteurs.	37
Tableau 3.8 Intérêt des producteurs pour profiter du soutien financier (Prime-Vert) pour leur aménagement	38
Tableau 3.9 Pourcentages des correspondances entre les zones mal égouttées et les zones à faible indice de brillance	39
Tableau 3.10 Pourcentages des réponses aux différentes pratiques culturelles alternatives.	49
Tableau 3.11 Pourcentages des réponses aux facteurs décisionnels qui limitent l'adoption des pratiques culturelles alternatives.....	50
Tableau 3.12 Pourcentages des réponses aux facteurs décisionnels qui conduiraient à l'adoption des pratiques culturelles alternatives	54

Liste des figures

Figure 2.1 Représentation 2-D (a) et 3-D (b) du bassin versant expérimental du ruisseau Ewing, principal tributaire ciblé par le projet Lisière verte et banc d'essai dans le cadre du volet d'étude pertinent à l'évaluation des outils de gestion agroenvironnementale.....	10
Figure 2.2 Image composée de fausses couleurs d'une partie du bassin versant du ruisseau Ewing au 31 mai 2006, extraite de l'atlas agroenvironnemental GRISE permettant de distinguer les patrons spatiaux dans l'égouttement du sol.....	14
Figure 2.3 Les parcours de l'eau (a), les micro-bassins des champs (b), les dépressions (c) et les courbes de niveau à une équidistance de 50 centimètres (d) dérivées du modèle numérique d'altitude produit avec les données LiDAR et intégrés à l'atlas agroenvironnemental GRISE.....	15
Figure 3.1 Distribution des taux d'érosion prédits par le modèle hydrologique SWAT pour les années de référence 2000-2004, indices de pertes de sol prédits par l'ODEP à l'échelle de la parcelle et par l'atlas GRISE à l'échelle du micro-bassin, comparés aux flux mesurés de MES pour les périodes de référence comprises entre 2001 et 2008.....	23
Figure 3.2 Représentation spatiale des taux d'érosion prédits à l'échelle des unités de réponse hydrologique avec le modèle SWAT calibré à l'échelle du bassin versant de la rivière Aux Brochets (a), à l'échelle de la parcelle avec l'outil de diagnostic des exportations de phosphore (ODEP) (b) et à l'échelle des micro-bassins sur la base des données de l'atlas agroenvironnemental GRISE	25
Figure 3.3 Calque d'élévation du champ 19 nivelé au GPS	30
Figure 3.4 Zone à indice de brillance faible alors que selon le producteur le problème d'égouttement est localisé au centre du cercle rouge.....	39
Figure 3.5 Zone plus fraîche au printemps mais qui ne donne pas de rendement inégal par rapport au reste du champ	40
Figure 3.6 Zone avec un fort problème d'égouttement.....	40
Figure 3.7 Zone 1 à texture argileuse lourde et zone 2 sur sol organique	40
Figure 3.8 Champ avec une zone non drainée en vert et une zone drainée en rouge	41
Figure 3.9 Champ drainé sur la partie gauche et non drainé sur la partie droite	41
Figure 3.10 Champ avec un système de drainage efficace dans sa partie sud et non efficace dans sa partie nord	41
Figure 3.11 Les champs 16A et 16B sont en labour d'automne et les champs 7M et 8M en semis direct	42
Figure 3.12 Zone d'un enclos à chevaux	43
Figure 3.13 Zone sans problème d'égouttement mais défrichée dans les 2 dernières années	43
Figure 3.14 Deux andains de roches et de souches.....	43
Figure 3.15 Ancien emplacement d'une grange	44
Figure 3.16 Tas de fumier dans le champ A6	44
Figure 3.17 Champ de blé d'automne.....	45
Figure 3.18 Semis de blé de printemps dans le champ A3-1	45
Figure 3.19 La zone à faible indice de brillance du champ C9 serait une infestation de pissenlit	46

Figure 3.20 Champ 12 avec une bande riveraine à l'extrémité sud et une problématique de chiendent en son centre.....	46
Figure 3.21 Zone du champ A13 avec infestation de prêle	47

1 Introduction

Le volet II du projet pilote sur les biens et services environnementaux dans le bassin versant de la Baie Missisquoi a permis l'évaluation, dans un cadre opérationnel, de différents outils de gestion à référence spatiale destinés à supporter le diagnostic et la planification d'actions agroenvironnementales à l'échelle du territoire et de la ferme. Le bassin versant de la rivière Aux Brochets constitue depuis une dizaine d'années une région laboratoire d'étude de la problématique de la qualité de l'eau en milieu agricole. De concert avec différents partenaires du milieu rural et universitaire, l'IRDA a coordonné la réalisation de différents outils de gestion à référence spatiale destinés à supporter l'action concertée sur la préservation de la qualité de l'eau. La réalisation du projet Lisière verte, ciblé sur une portion importante du bassin versant de la rivière Aux Brochets, constituait ainsi une opportunité sans précédent pour comparer et évaluer sur un même territoire d'étude, ces différents outils de gestion agroenvironnementale.

La conduite d'une action concertée à l'échelle d'un bassin versant de l'envergure de la Baie Missisquoi commande le recours à différents outils de gestion à référence spatiale. Au plan opérationnel, ces derniers correspondent à deux échelles de travail distinctes. À l'échelle de l'ensemble du bassin versant, les outils répondent à des besoins d'ordre stratégique, tels que l'amplitude à donner à différents éléments d'un plan d'action, l'établissement de charges-cibles ou le ciblage spatial des interventions. À l'échelle du parcellaire, l'implantation de pratiques ou d'aménagements hydro-agricoles de conservation des sols et de l'eau requiert des outils présentant une résolution beaucoup plus fine afin de répondre à des besoins de nature tactique, tels que le positionnement optimal de structures de contrôle du ruissellement ou l'appréciation de l'égouttement d'une parcelle donnée. Un premier objectif du présent volet d'étude du projet Lisière verte consistait à comparer les prédictions des différents outils, répondant à des échelles de travail distinctes, et d'en évaluer les implications au plan opérationnel dans la conduite d'un projet d'actions concertées sur le contrôle des sources diffuses de contamination des eaux de surface en milieu agricole. Le second objectif visait la validation des outils de gestion du parcellaire

en faisant intervenir un conseiller en interaction avec les entreprises agricoles du territoire à l'étude.

2 Matériels et méthode

L'approche retenue pour l'évaluation des outils de gestion dans le cadre du projet Lisière verte comporte deux étapes. Dans un premier temps, un volet SIG (système d'informations géographiques) a supporté une comparaison des capacités prédictives des trois outils sur un même territoire de référence, soit le bassin versant du ruisseau Ewing, principal tributaire ciblé par le projet Lisière verte. Les observations hydrométriques et de qualité de l'eau colligées à l'exutoire du bassin versant dans le volet « Suivi de la qualité de l'eau » du projet Lisière verte ont aussi été mises à profit dans l'analyse des prédictions des trois outils. Les outils à référence spatiale ciblés par l'évaluation incluent le modèle hydrologique SWAT, validé à l'échelle du bassin versant de la rivière Aux Brochets (Michaud et coll., 2007), les indicateurs hydro-pédologiques, développés dans le cadre du projet de Gestion raisonnée et intégrée des sols et de l'eau (GRISE), (Michaud et coll., 2009), de même que l'Outil de diagnostic des exportations de phosphore (ODEP), qui supporte l'indexation du risque de ruissellement, d'érosion et d'exportation diffuse de phosphore à l'échelle de la parcelle (Michaud et coll., 2008). Ce volet de l'étude a particulièrement mis en relief l'influence de l'échelle et de la précision des données à référence spatiale dans la représentation spatiale de la vulnérabilité du parcellaire.

Dans un deuxième temps, des entrevues individuelles ont été réalisées auprès de 23 entreprises agricoles qui ont bénéficié des atlas GRISE et des prédictions de l'ODEP à l'échelle du parcellaire dans le but de colliger leurs opinions sur la valeur diagnostique des outils, leur utilité dans un cadre opérationnel d'aménagement des terres et enfin de leur intérêt quant à l'introduction de pratiques culturales alternatives.

2.1 Volet d'étude SIG

Le territoire ciblé par le volet d'étude SIG est le bassin versant du ruisseau Ewing. Ce territoire de 30 km² est le principal sous-bassin ciblé par le projet Lisière verte. Tributaire de la rivière Aux Brochets, le bassin versant du ruisseau Ewing fait partie du territoire couvert par l'étude de modélisation hydrologique réalisée avec le support de SWAT sur l'ensemble du bassin versant de la rivière Aux Brochets (Michaud et coll., 2007). Le bassin a aussi été ciblé pour la réalisation du projet GRISE (Michaud et coll., 2009) et bénéficie à ce titre d'une caractérisation à haute résolution du relief, de l'égouttement et de la nature des sols. Enfin, les données à référence spatiale disponibles ont été mises à profit dans l'application de l'ODEP à l'échelle de la parcelle. L'ensemble des fermes participant au projet Lisière verte et qui avaient mis leurs plans de ferme électroniques à notre disposition ont ainsi été couvertes, soit la très grande majorité des entreprises du bassin versant.

Dans le cadre de la présente étude, le taux d'érosion net prédit par les différents outils a été retenu comme critère de comparaison. Ce choix a été motivé par le fait que la prédiction du taux d'érosion fait appel à l'intégration de plusieurs facteurs biophysiques, dont le relief et les propriétés des sols. Il demeure donc un bon indicateur de l'effet de différentes échelles de développement des outils sur l'amplitude et la distribution spatiale des prédictions hydrologiques. L'érosion demeure, par ailleurs, un indicateur des plus pertinents, compte tenu qu'elle constitue le principal vecteur de la mobilité du phosphore.

Dans le but de comparer les performances des outils sur une base homogène, un scénario unique de gestion a été appliqué à l'ensemble du parcellaire en culture du bassin versant dans le calcul des prédictions des trois outils. Le scénario de référence retenu est la production de maïs-grain, principale culture produite dans le bassin versant, sous une régie conventionnelle de labour d'automne, pratique culturale dominante dans la région à l'étude. Les prédictions du taux d'érosion net ont donc été estimées séparément au moyen des trois outils de gestion à l'étude selon ce scénario de culture unique, tout en ayant recours aux représentations spatiales du milieu biophysique et des algorithmes de calcul propres à

chacun des outils SWAT, ODEP et GRISE. Rappelons cependant qu'une méthodologie similaire est à la base du calcul des prédictions de pertes de sol des outils SWAT, ODEP et GRISE, soit la méthode de l'équation universelle de perte de sol modifiée MUSLE (Williams, 1975). Cette méthode estime la perte de sol en fonction de la hauteur totale et de l'intensité de pointe du ruissellement de surface, des propriétés du sol, de la topographie et de la couverture végétale :

$$MUSLE = 11,8(Q_{surf} * q_{max} * SUP_{bassin})^{0.56} * K * C * LS \quad [\text{tonnes}]$$

où :

- Q_{surf} est le ruissellement journalier du micro-bassin (mm/ha);
- q_{max} correspond au taux d'écoulement de pointe (m^3/s) évalué sur une base journalière à l'échelle du micro-bassin;
- SUP_{bassin} est l'aire du micro-bassin (ha) sur lequel l'érosion est comptabilisée;
- K est le facteur d'érodabilité du sol ($0,013 \text{ tonne } m^2 \text{ h}/m^3 \text{ tonne } cm$). Le facteur K est une mesure quantitative de la sensibilité ou de la résistance inhérente d'un sol à l'érosion. Ce facteur varie selon la texture, la structure du sol et la teneur en matière organique. Les métadonnées relatives à l'érodabilité du sol sont fournies avec l'atlas électronique GRISE et l'ODEP;
- C est le facteur de couverture végétale du sol. Le facteur C est une mesure de l'efficacité relative de la pratique culturale dans la prévention ou la réduction de la perte de sol. Ce facteur varie selon : la couverture végétale aérienne (feuilles et branches qui interceptent les gouttes de pluie et dissipent une partie de leur force érosive); la végétation au sol (résidus de culture et végétation vivante à la surface du sol) et; le travail du sol (type, période et fréquence de travail du sol). Dans cette étude, le facteur C de référence utilisé correspond à une culture de maïs avec un labour à l'automne et un travail secondaire au printemps;
- LS est le facteur topographique. Le facteur LS est une mesure des effets de l'inclinaison et de la longueur de la pente sur l'érosion. À l'échelle du micro-bassin, la pente a été évaluée en considérant l'élévation des points localisés à 15 et 90 % de l'exutoire du parcours de l'eau principal.

Les trois outils font cependant appel à des représentations spatiales différentes des propriétés biophysiques du parcellaire, en raison du MNA (modèle numérique d'altitude) de précisions altimétriques et de résolutions différentes, de même qu'à des paramétrisations différentes des propriétés physiques des sols. Aussi, les méthodes d'estimation des hauteurs de ruissellement, utilisées en intrants par MUSLE diffèrent sensiblement entre les outils.

Les sections suivantes mettent en relief les différences quant aux sources des données et à leur exploitation dans les outils SWAT, ODEP et GRISE.

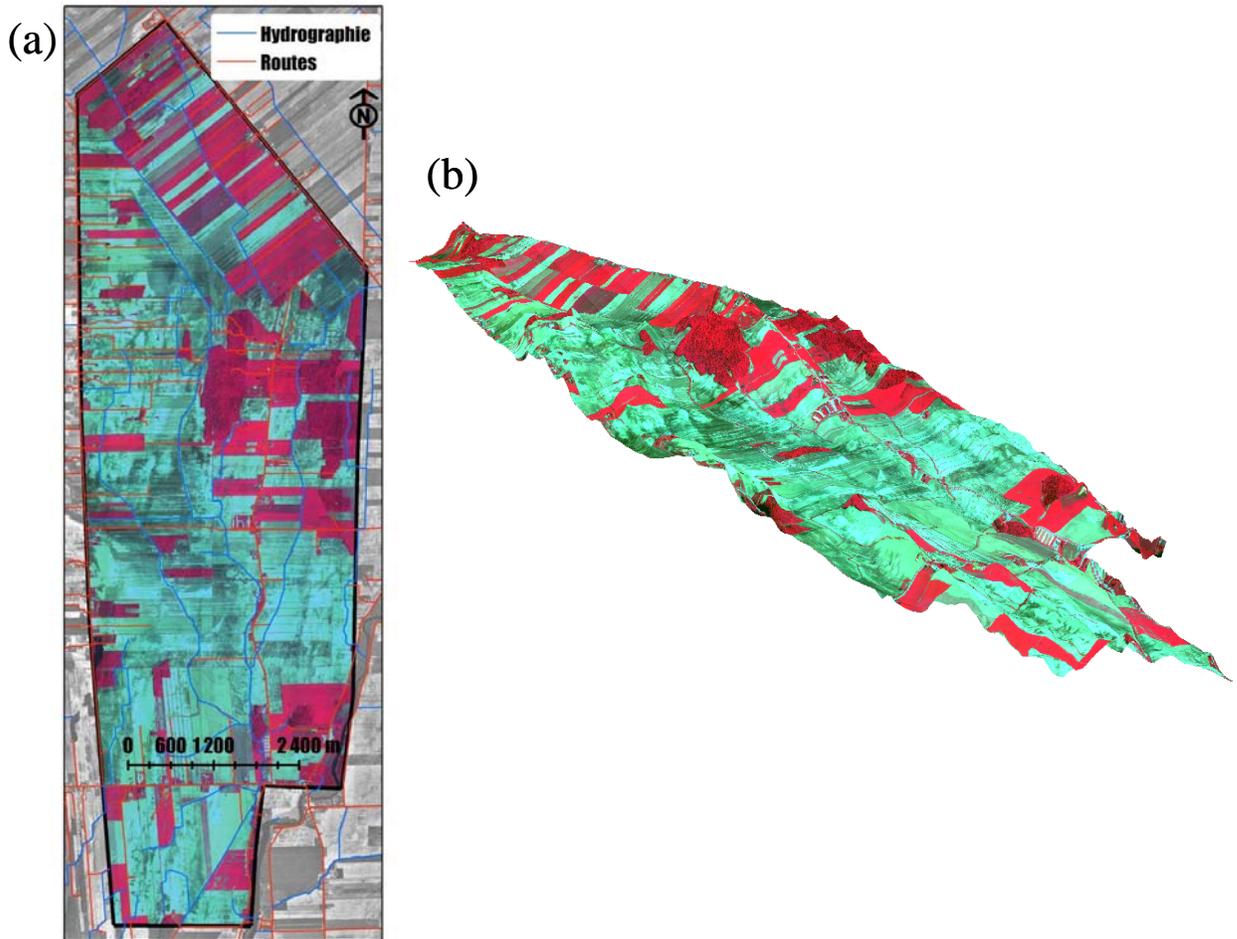


Figure 2.1. Représentation 2-D (a) et 3-D (b) du bassin versant expérimental du ruisseau Ewing, principal tributaire ciblé par le projet Lisière verte et banc d’essai dans le cadre du volet d’étude pertinent à l’évaluation des outils de gestion agroenvironnementale. L’échelle verticale de la perspective 3-D générée avec le support des captures aéroportées LiDAR est surdimensionnée afin de mettre en relief l’influence du paysage sur l’égouttement du parcellaire, traduit par l’image numérique multi-spectrale.

Prédictions du modèle hydrologique SWAT

Une description détaillée de la méthodologie appliquée à la représentation spatiale du milieu et aux calculs de pertes de sol supportés par le modèle hydrologique SWAT dans le cadre de la présente étude est rapportée par Deslandes et coll. (2006) et Michaud et coll. (2007). S'appuyant sur une caractérisation spatiale des pratiques agricoles et de l'environnement biophysique du bassin versant supportée par la télédétection et des banques de données de faible résolution (30 m), le modèle hydrologique SWAT a été calé et validé sur la base de trois dispositifs de suivi hydrométrique et de la qualité de l'eau en bassins versants expérimentaux (6-10 km²) de la région à l'étude (Michaud et coll., 2004a; Michaud et coll., 2004b). L'identification des sous-bassins versants les plus vulnérables aux exportations diffuses de P et la prédiction de l'efficacité de différents scénarios de gestion à l'échelle du bassin versant de la rivière Aux Brochets constituent les retombées les plus pertinentes au plan opérationnel. Bien que la représentation spatiale de la vulnérabilité du territoire soit relativement fine (plus de 3 000 unités de réponse hydrologique), l'échelle de travail (630 km²) fait en sorte que la modélisation s'appuie sur une généralisation de certains paramètres pertinents aux propriétés du parcellaire (propriétés des sols, présence de drainage souterrain) et des systèmes de production agricole (pratiques culturales et modalités d'apports de nutriments). Globalement, les prédictions d'exportation diffuse de sédiments et de nutriments reflètent les flux observés aux exutoires des trois bassins expérimentaux utilisés dans le calage et la validation du modèle hydrologique (6–10 km²). Retenons cependant que la projection spatiale des contributions du parcellaire aux bilans des exportations de sédiments et de phosphore reflète la généralisation des paramètres d'entrée du modèle et peut différer largement d'une représentation à l'échelle parcellaire.

À l'échelle du bassin Ewing, les prédictions de pertes de sol calculées se répartissent spatialement entre 1187 unités de réponse hydrologique (URH) couvrant 2337 ha. Ces unités de calcul ont été délimitées de façon automatique par l'intersection spatiale d'une cartographie de l'utilisation du territoire générée par télédétection satellitaire, d'un relevé pédologique à l'échelle de 1:63 000, et d'un modèle numérique d'élévation d'une précision altimétrique de l'ordre de 3 m généré par l'intégration de données multi-sources régionales

(Deslandes et coll., 2006). Les calculs d'inclinaison des pentes sont estimés sur la base des différences d'élévation des pixels du MNA à résolution de 30 m. Les propriétés physico-chimiques des sols utilisées dans le calcul des hauteurs de ruissellement et de pertes de sol ont été extraites de l'Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec (Tabi et coll., 1990). Associées à chacune des URH du bassin versant, ces propriétés contribuent en large partie à la forte discrimination spatiale des prédictions de pertes de sol générées par l'ODEP, en raison notamment de la grande sensibilité du modèle SWAT aux propriétés physiques du sol.

Notons enfin que le MNA utilisé par SWAT a produit des limites de bassin versant du ruisseau Ewing différentes que celles inhérentes à ODEP et GRISE. Seules les portions communes aux trois territoires modélisés ont ainsi été retenues pour les fins de comparaison des prédictions des outils.

Indexations des exportations de phosphore par l'ODEP

L'outil de diagnostic des exportations de phosphore ODEP (Michaud et coll., 2008) est un utilitaire informatique permettant d'apprécier les risques d'exportation diffuse de phosphore à l'échelle d'une parcelle ou d'un ensemble donné de parcelles et d'aiguiller le conseiller et le producteur vers des solutions bien adaptées aux spécificités du site à l'étude. D'utilisation conviviale et harmonisé aux logiciels de gestion des champs couramment utilisés par les services conseils agricoles au Québec, l'ODEP permet : 1) une évaluation quantitative, à l'échelle du champ, des lames de ruissellement de surface, des taux d'érosion, de même que des charges et de la biodisponibilité du phosphore exporté; 2) une interprétation des facteurs déterminants de la vulnérabilité de la parcelle à l'égard de la régie des sols et des cultures, de l'aménagement hydro-agricole et des propriétés des sols et; 3) la formulation de prédiction des retombées environnementales associées à des scénarios alternatifs de régie des sols, des cultures et d'aménagement hydro-agricole.

Dans le cadre de la présente étude, l'ODEP a été appliqué à chacune des 404 parcelles des entreprises agricoles qui cultivent des terres dans le bassin versant et qui ont autorisé l'utilisation de leurs plans de ferme électroniques pour les besoins de l'étude. Le scénario de référence de maïs-grain suivant un labour d'automne a ainsi été appliqué aux 2 222 ha en culture localisés dans les limites du bassin. Les superficies en terre noire ont été exclues

de l'estimation, compte tenu des limitations de l'ODEP à décrire les processus d'érosion et de diffusion du P dans ces sols.

Les pentes à l'échelle de la parcelle ont été estimées sur la base du MNA de haute précision généré par des captures LiDAR (Michaud et coll., 2009). Les hauteurs de ruissellement prédites, utilisées en intrants dans le calcul des pertes de sol selon MUSLE, sont déduites essentiellement de la classification du groupe hydrologique du sol inhérent à la méthode CN (*Curve Number*) et de la pratique culturale. L'opérateur peut cependant moduler les classes selon les observations colligées sur le terrain ou acquises par télédétection et pertinentes à l'aménagement de la parcelle et à l'appréciation de son égouttement. Retenons enfin que le calage et la validation de l'ODEP pour la région agroclimatique de la Montérégie-Est, utilisés dans le cadre de la présente étude, se sont appuyés sur les mêmes dispositifs de mesure en bassins versants que ceux qui ont supporté l'application de SWAT au bassin de la rivière Aux Brochets. Une description détaillée de la méthodologie de développement de l'ODEP est présentée dans le manuel de l'utilisateur de l'outil (Michaud et coll., 2008).

Profil hydro-pédologique du parcellaire dérivé du projet GRISE

L'outil de gestion raisonnée et intégrée des sols et de l'eau (GRISE) mis à la disposition des agriculteurs et des conseillers de la région à l'étude dans le cadre du projet Lisière verte met à profit des images aériennes numériques et un modèle numérique d'élévation de haute précision généré par des captures LiDAR afin de documenter de façon précise et cohérente les patrons spatiaux dans l'égouttement et le ruissellement des terres (Figure 2.2). Cette caractérisation spatiale de *l'hydro-activité* du parcellaire constitue en soi un outil de première ligne dans le diagnostic, la planification et la mise en œuvre de chantiers d'aménagements hydro-agricoles, permettant d'apporter des solutions sur mesure, et à long terme, aux zones mal égouttées et improductives du parcellaire. L'atlas GRISE propose aussi une représentation spatiale de la variabilité des sols fondée sur l'analyse du relief de haute précision générée au moyen du LiDAR. La reconnaissance des types de sols contrastés à l'échelle de la ferme pave ainsi la voie à une gestion localisée des champs, permettant par exemple de moduler les corrections de l'acidité du sol, d'ajuster la richesse

du sol en certains nutriments, ou d'adapter la pratique culturale à la texture et autres conditions physiques du sol.

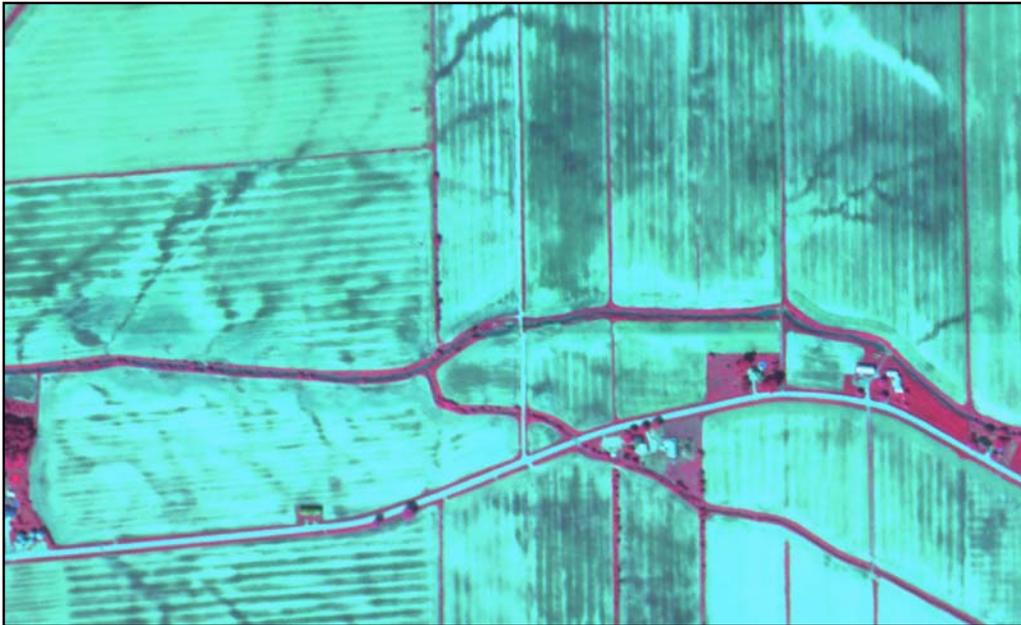


Figure 2.2. Image composée de fausses couleurs d'une partie du bassin versant du ruisseau Ewing au 31 mai 2006 extraite de l'atlas agroenvironnemental GRISE permettant de distinguer les patrons spatiaux dans l'égouttement du sol.

À l'instar du modèle hydrologique SWAT et de l'ODEP, le modèle MUSLE (Williams, 1975) est à la base des prédictions de pertes de sol intégrées à l'atlas GRISE. L'évaluation du ruissellement journalier et du débit de pointe associés à chacun des types de sol et utilisés en intrants dans MUSLE ont été extraits de la modélisation hydrologique de SWAT réalisée à l'échelle du bassin versant de la rivière Aux Brochets (Deslandes et coll., 2006). Les taux prédits d'érosion annuelle sont ainsi représentatifs de la période 2000-2003 pour laquelle le modèle SWAT a été calibré et validé sur la base de mesures en bassins versants expérimentaux. Les paramètres topographiques de MUSLE ont été dérivés du modèle numérique d'altitude de haute précision généré par le relevé LiDAR. Les parcours de l'eau et les inclinaisons du terrain ont en effet été systématiquement calculés pour chacun des micro-bassins dérivés du MNA à l'échelle intra-parcellaire (figure 2.2). Il en résulte une forte discrimination spatiale des prédictions de pertes de sol, largement tributaire de l'exploitation des données très précises du relief. Une description détaillée de la

méthodologie utilisée dans le calcul des prédictions de pertes de sol incluses à l'atlas GRISE est rapportée dans Michaud et coll. (2009).

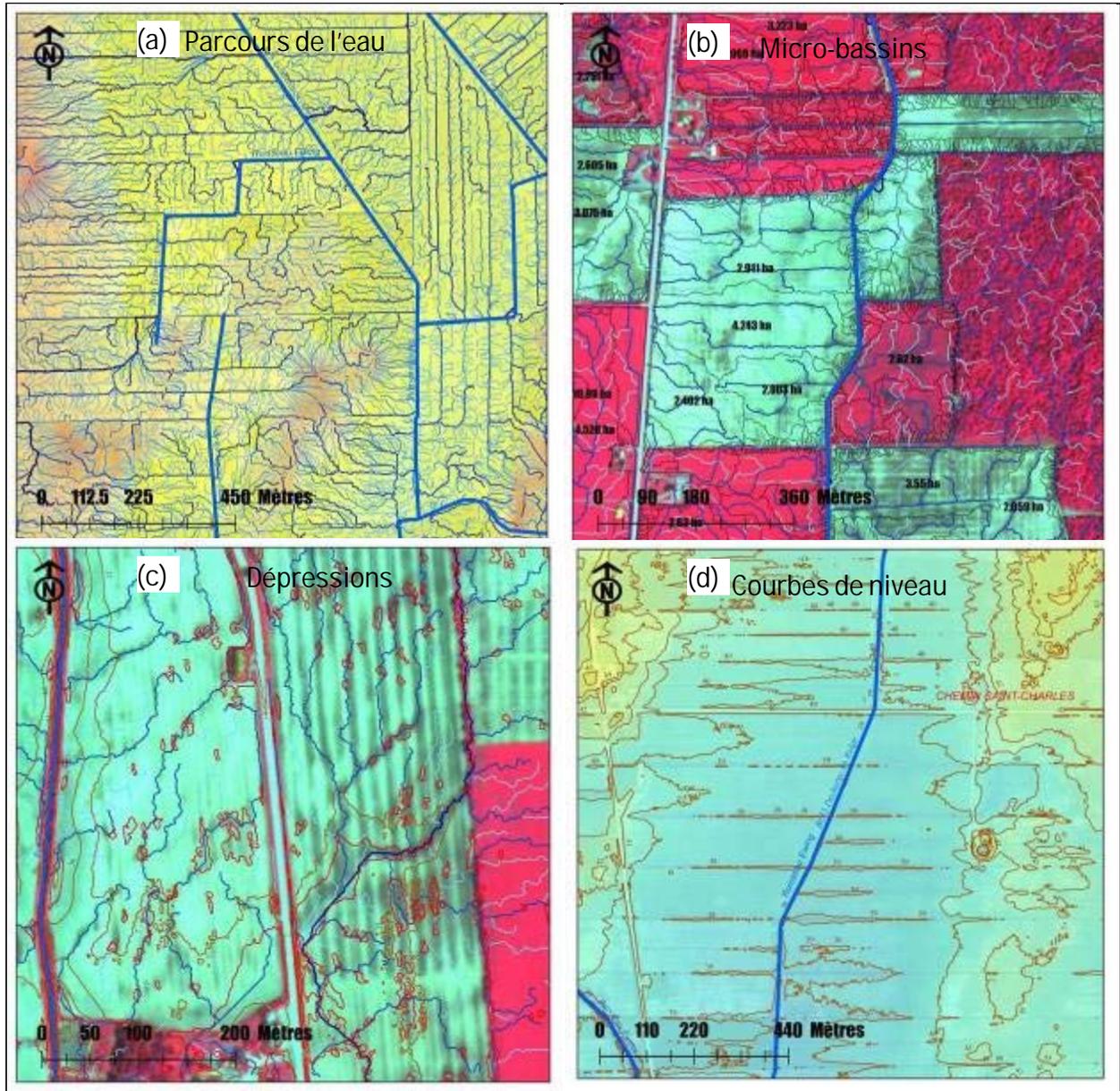


Figure 2.3. Les parcours de l'eau (a), les micro-bassins des champs (b), les dépressions (c) et les courbes de niveau à une équidistance de 50 centimètres (d) dérivées du modèle numérique d'altitude produit avec les données LiDAR et intégrés à l'atlas agroenvironnemental GRISE.

Comparaison des prédictions associées aux différents outils

Les prédictions de pertes de sol ont été calculées séparément par le modèle SWAT, l'ODEP et l'atlas GRISE suivant le même scénario de référence, soit la culture de maïs-grain en régie conventionnelle de labour d'automne. Compte tenu des différences dans les sources de données et les méthodes de calcul, le nombre d'unités de calcul et la superficie couverte par les trois outils varient considérablement. Le nombre d'unités de calcul passe ainsi de 404 pour l'ODEP, qui produit des estimations à l'échelle de la parcelle, à 3 423 pour l'atlas GRISE, dont l'unité de calcul est le micro-bassin délimité à l'échelle intra-parcellaire. Les superficies couvertes par la modélisation hydrologique SWAT à l'intérieur du bassin versant Ewing (1 967 ha) sont par ailleurs beaucoup moins importantes que la superficie réelle du bassin versant (3 420 ha) délimitée avec précision à l'aide du relevé LiDAR. Cette différence dans les limites des bassins versants est essentiellement attribuable à la précision altimétrique des MNA à la base du calcul du partage des eaux, de l'ordre de 3 m et 10 cm, respectivement, pour le modèle SWAT et l'atlas GRISE.

Les prédictions associées à chacune des unités de calcul ont été extraites afin de comparer dans un premier temps les pertes de sol prédites à l'échelle globale du bassin versant par les trois outils, puis de comparer leurs distributions à l'échelle de l'unité de calcul. Les distributions spatiales des prédictions du modèle SWAT ont enfin été comparées à celles de l'ODEP et de l'atlas GRISE au moyen de requêtes spatiales dans un système d'information géographique unique intégrant les prédictions des trois outils. Pour ce faire, de nouvelles entités spatiales ont d'abord été créées sur la base de l'intersection spatiale des polygones associés au modèle SWAT avec ceux de l'ODEP ou de l'atlas GRISE. Cette représentation spatiale commune a permis d'extraire et de comparer les prédictions des trois outils selon les mêmes entités spatiales. La corrélation linéaire entre les prédictions de pertes de sol dérivées des trois outils a alors été retenue comme indicateur de corrélation spatiale.

2.2 Volet d'étude à l'échelle de la ferme

Le volet d'étude à l'échelle de la ferme consistait à évaluer les outils de gestion à l'échelle parcellaire, ODEP et GRISE, dans un cadre opérationnel de service-conseil à la ferme. La

réalisation de ce volet a fait intervenir un conseiller agricole externe au projet Lisière verte en interaction avec les gestionnaires de 23 entreprises agricoles qui cultivent des terres dans le bassin versant à l'étude. Dans le cadre d'entrevues individuelles de quelques heures avec les producteurs, le conseiller a sollicité leur avis quant à la valeur diagnostique des outils GRISE et ODEP. Les entrevues visaient aussi à évaluer si les outils développés étaient en mesure d'influencer et de supporter la prise de décisions de l'agriculteur en matière d'aménagement des terres et de conversion à de nouvelles pratiques culturales de conservation des sols.

La très grande majorité (23/25) des producteurs sollicités, et cultivant des terres dans le bassin versant du ruisseau Ewing, ont accepté de participer à ce volet. Ils ont été rencontrés individuellement par un agronome du club-conseil en agroenvironnement Dura-Club entre février et mars 2009. Au cours de ces entretiens, le conseiller présentait au producteur les résultats des diagnostics GRISE et ODEP à l'échelle de leurs champs et échangeait avec eux sur leur portée opérationnelle. Des exemples de représentations de l'égouttement du parcellaire au moyen des images numériques multi-spectrales et du modèle numérique d'altitude extraits de l'atlas agroenvironnemental GRISE sont respectivement présentés aux figures 2.2 et 2.3. En tout, 262 champs ont fait l'objet de discussions avec les producteurs de façon à valider les représentations spatiales de GRISE et ODEP quant à la vulnérabilité du parcellaire au ruissellement, à l'érosion et aux exportations de phosphore. La collecte des informations était supportée par un questionnaire comportant deux parties, pertinente d'abord à l'égouttement et à l'aménagement hydro-agricole du parcellaire (applications de GRISE), suivie d'une section sur les pratiques culturales et les exportations diffuses de phosphore (application de l'ODEP). La durée des entretiens avec les exploitants variait entre 1 heure 30 minutes et 3 heures suivant le nombre de champs à décrire par exploitation. Les questions suivantes ont été abordées avec les producteurs avec le support de l'atlas électronique :

- Dans quelle mesure le profil d'égouttement révélé par télédétection (GRISE) reflète la perception du producteur quant aux problématiques d'égouttement de ses terres?

- Dans quelle mesure les données diagnostiques produites par télédétection amènent le producteur à considérer un investissement dans l'aménagement de ses terres (complémentaire à celles déjà mises en œuvre dans le projet Lisière verte)?
- Quelles sont les principales restrictions quant à l'investissement dans l'aménagement hydro-agricole des terres?
- Les données diagnostiques produites par télédétection répondent-elles adéquatement aux besoins de planification des travaux d'aménagement des terres?
- La vulnérabilité des terres aux exportations de P prédites par l'ODEP reflète-elle la perception du producteur?
- Les réductions d'exportation diffuse de P prédites par l'ODEP et associées à différents scénarios alternatifs de gestion constituent-elles un incitatif à l'introduction de nouvelles pratiques culturales?
- Quelles sont les principales restrictions quant à l'implantation de pratiques culturales alternatives?

Le déroulement des entretiens individuels s'est déroulé selon le même protocole auprès de l'ensemble des entreprises agricoles participantes. La discussion s'amorce d'abord sur la condition d'un groupe de champs présélectionnés pour lesquels le producteur commente la qualité d'égouttement. Le calque des indices de brillance leur est ensuite montré pour vérifier si les zones à faible indice de brillance correspondent à leurs perceptions sur le terrain. Les principaux facteurs anticipés à la source du mauvais égouttement sont ensuite identifiés grâce aux explications du producteur et appuyés par les différents calques mis à sa disposition. Les principaux calques utilisés sont le modèle numérique d'altitude (MNA), les polygones des micro-bassins et la cartographie des tracés d'écoulement de surface (générés depuis les observations LiDAR), la pédologie, la classification des attributs du paysage (générés avec le support du logiciel de cartographie pédologique LandMapR), et enfin les cotes d'élévation au fond et au talus des cours d'eau. Le questionnaire utilisé en appui dans le déroulement des entretiens est reproduit à l'annexe 1.

En seconde étape, en s'appuyant sur le calque des exportations de phosphore générées par l'ODEP, le conseiller choisit un champ qui a un taux élevé d'exportation de phosphore sur la base du scénario de référence en culture de maïs-grain suivant un labour d'automne. Avec le support de l'ODEP, différents scénarios de pratiques culturales alternatives sont présentés et leurs prédictions sur le devenir des exportations de phosphore modélisées. L'entretien se poursuit sur le thème des pratiques culturales alternatives selon les éléments conciliés au questionnaire reproduit à l'annexe 2.

3 Résultats et discussion

3.1 Volet d'étude SIG

La comparaison des prédictions des taux d'érosion générées par les outils SWAT, ODEP et GRISE est ici analysée en deux étapes. Dans un premier temps, la comparaison des taux globaux d'érosion prédits à l'échelle du bassin versant par les différents outils a été confrontée aux flux de sédiments observés à l'exutoire du bassin versant. En second lieu, la distribution des valeurs prédites ainsi que leurs discriminations spatiales sont discutées.

3.1.1 Bilan massique des exportations prédites

Le tableau 3.1 montre les taux globaux d'érosion prédits par SWAT, ODEP et GRISE de même que les flux estimés à l'exutoire dans le cadre du volet de suivi de la qualité de l'eau du projet Lisière verte (Michaud et coll., 2009). Rappelons ici que les superficies de référence utilisées comme base de calcul par les trois outils différents, en raison des limites distinctes des bassins associées à la précision des modèles numériques d'altitude (MNA). Aussi, les prédictions sont comparées sur la base des moyennes pondérées pour la superficie de l'ensemble des unités de calcul propres à chaque outil. Rappelons par ailleurs que pour les fins de la comparaison, les prédictions de SWAT, ODEP et GRISE ont été calculées sur la base d'un scénario de culture unique (maïs-grain), alors que les flux

mesurés à l'exutoire reflètent une utilisation mixte du sol, composée à environ 80 % de cultures annuelles.

Globalement, les bilans d'exportation prédits par les trois outils sont cohérents et se situent dans l'ordre de grandeur des flux observés à l'exutoire du bassin Ewing. Au plan opérationnel, cette cohérence est fondamentale compte tenu que les objectifs du plan d'action sur la Baie Missisquoi sont quantifiés et établis sur la base de charges-cibles de phosphore ciblant une réduction d'environ 40 % de la charge de P qui atteint la Baie Missisquoi.

La prédiction issue de SWAT, de l'ordre de 1 051 kg/ha-an, se situe dans la fourchette supérieure des flux historiques mesurés à l'exutoire du bassin Ewing, compris entre 411 kg/ha-an, pour la période 2001-2007, et un flux annuel de 1 159 kg/ha-an mesuré pour la période de référence de juin 2007 à mai 2008 en réponse à des hauteurs exceptionnelles de pluie (Michaud et coll., 2009b). Un bilan prédit par SWAT relativement élevé comparativement aux flux moyens observés est compréhensible, dans la mesure où l'estimation a été calculée sur la base d'un scénario de 100 % de culture de maïs-grain, alors que les mesures de flux à l'exutoire du bassin reflètent une utilisation du sol de l'ordre de 80 % de la superficie en cultures annuelles. Rappelons par ailleurs que les prédictions de SWAT ont été calées et validées dans les bassins expérimentaux Walbridge et Aux Castors (6-10 km²) à proximité du bassin Ewing. La cohérence entre les flux prédits et observés à l'exutoire du bassin Ewing témoigne ainsi de l'applicabilité des prédictions du modèle SWAT, validé sur la base des bassins Walbridge et Aux Castors, et aux autres secteurs du bassin versant de la rivière Aux Brochets.

Tableau 3.1 Moyennes spécifiques (pondérées pour la superficie), moyennes et écarts-types de la distribution des taux d'érosion prédits par le modèle hydrologique SWAT, l'ODEP et l'atlas GRISE pour le bassin versant du ruisseau Ewing, comparés aux flux mesurés de MES pour les périodes de référence 2001-2006, juin 2007 à mai 2008 et juin à décembre 2008.

Source des prédictions / estimations	Années de référence	Superficie de référence (ha)	Nombre d'unités de calcul	Taux d'exportation de MES		
				Moyenne pondérée pour la superficie en culture (kg/ha)	Moyenne des taux spécifiques (kg/ha)	Ecart-type des taux spécifiques d'exportation de MES (kg/ha)
SWAT	2001-2003	2337	1187	1051	1031	895
ODEP	Moyennes à long terme	2222	404	553	530	217
GRISE	Moyennes à long terme	3423	1272	405	453	651
Monitoring MDDEP	2001-2006	3233	1	411	----	----
Monitoring IRDA	juin 2007 à mai 2008	3233	1	1159	----	----
Monitoring IRDA	juin 2008 à décembre 2008	3233	1	564	----	----

Des prédictions relativement élevées issues du modèle SWAT comparativement aux prédictions de l'ODEP et de GRISE sont aussi attribuées en partie aux différences dans leurs méthodologies respectives de calcul des inclinaisons de pente, un facteur qui a une forte incidence sur la prédiction du taux d'érosion. En effet, la méthodologie appliquée en support à l'application de SWAT tend à produire des inclinaisons supérieures aux outils à haute résolution spatiale. Alors que l'ODEP et GRISE ont profité d'estimations précises sur la base d'un MNA de haute précision, les inclinaisons utilisées par SWAT ont été dérivées du MNA matriciel à résolution de 30 mètres sur la base des différences d'altitude moyennes des pixels adjacents. Rappelons par ailleurs que les estimations de GRISE et de l'ODEP sont dérivées de la projection spatiale des parcours du ruissellement et intègrent une prise en compte de la longueur du parcours. Dans SWAT, ce dernier facteur est attribué et fixe (60 m dans le cas de la rivière Aux Brochets) et participe plutôt au calage du modèle qu'à la discrimination spatiale des pertes de sols prédites.

Les prédictions des taux de pertes de sol générées par l'ODEP et GRISE sont pour leur part cohérentes, avec des valeurs respectives de 552 et 405 kg/ha-an. Ces prédictions reflètent

l'ordre de grandeur des flux mesurés aux exutoires du bassin Ewing dans le cadre du volet *Suivi de qualité de l'eau* du projet Lisière verte. Compte tenu que les prédictions d'ODEP et GRISE ont été estimées sur la base d'un scénario « tout maïs », leurs prédictions devraient être supérieures aux flux mesurés à l'exutoire du bassin versant. Cette apparente sous-estimation du flux global de MES associée à l'ODEP et à GRISE tient en partie au fait que ces outils prédisent des taux nets d'exportation de sédiments. Conceptuellement, ce taux d'érosion net exprime le flux des sédiments exportés hors du champ, mais n'intègre pas la contribution de l'érosion des fossés, des rives de cours d'eau et autres sources diffuses de sédiments dans le bassin versant. Ces contributions de l'érosion du réseau hydrographique s'ajoutent aux exportations nettes qui quittent les champs. Il est ainsi prévisible que les flux mesurés à l'exutoire du bassin soient supérieurs au cumul des charges prédites par ODEP ou GRISE. Des différences similaires entre les taux prédits au champ par l'ODEP et observés au ruisseau ont été rapportées pour d'autres bassins expérimentaux (Michaud et coll., 2008).

3.1.2 Distributions comparées des prédictions

La figure 3.1 illustre les distributions des prédictions de pertes de sol associées à chacune des unités de calcul utilisées par les modèles SWAT, ODEP et GRISE. Les prédictions sont présentées en ordre décroissant en fonction de la superficie totale cumulée. Cette représentation permet de mettre en relief les différences dans l'amplitude des valeurs prédites, malgré les différences dans le nombre d'unités de calcul et des superficies couvertes par les trois modèles. Tel que rapporté en section méthodologique, rappelons que la différence dans les superficies documentées par les trois outils est tributaire de trois facteurs, soit la différence dans les limites des bassins, la disponibilité des plans de ferme électroniques utilisés comme unités de calcul de l'ODEP et enfin l'exclusion des superficies en sol organique pour l'ODEP.

La distribution de pertes de sol prédites par l'atlas GRISE démontre une variabilité beaucoup plus importante que celle associée au modèle SWAT et à l'ODEP. Cette distribution relativement plus étalée des taux de pertes de sol prédits par l'atlas GRISE tient

en partie au nombre plus élevé d'unités de calcul (1 272 pour GRISE, contre 404 et 1 187 respectivement pour ODEP et SWAT) et surtout à la prise en compte des parcours de ruissellement spécifiques à chacun des micro-bassins dérivés du MNA de haute précision. Rappelons que la longueur du parcours de l'eau est fixée dans le cas du modèle SWAT à 60 m; la prédiction de pertes de sol est alors plutôt déterminée par l'inclinaison de la pente et les propriétés physiques du sol attribuées à l'unité de calcul. Dans le cas de l'ODEP, bien que les prédictions tirent profit du MNA de l'atlas GRISE pour le calcul des longueurs et des inclinaisons des pentes, la prédiction est rapportée à l'échelle de la parcelle en culture. Cette méthode favorise le nivellement des prédictions, comparativement aux prédictions de l'atlas GRISE, dont les micro-bassins utilisés comme unités de calcul présentent des superficies très variables.

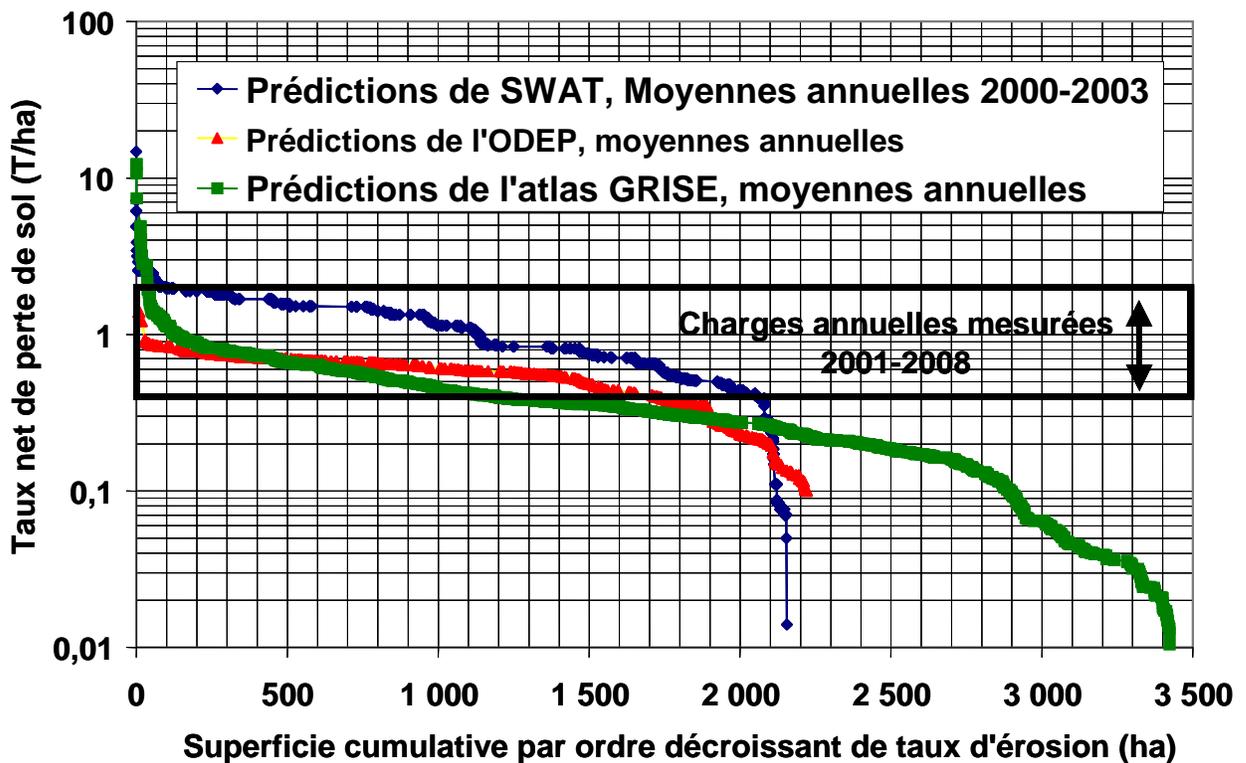


Figure 3.1 Distribution des taux d'érosion prédits par le modèle hydrologique SWAT pour les années de référence 2000-2004, indices de pertes de sol prédits par l'ODEP à l'échelle de la parcelle et par l'atlas GRISE à l'échelle du micro-bassin, comparés aux flux mesurés de MES pour les périodes de référence 2001-2006, juin 2007 à mai 2008 et juin à décembre 2008 à l'exutoire du bassin versant expérimental Ewing.

La figure 3.2 illustre la représentation spatiale des mêmes prédictions de pertes de sol décrites en figure 3.1 et inhérentes aux différentes unités de calcul du modèle hydrologique SWAT, de l'ODEP et de l'atlas GRISE. Globalement, la comparaison met en relief des divergences importantes dans le portrait des risques d'érosion dépeints par les outils SWAT, ODEP et GRISE. Suivant le croisement des unités de calcul des trois outils, les prédictions de pertes de sol entre le modèle SWAT et l'atlas GRISE n'apparaissent pas significativement corrélés. Il en est de même pour la corrélation linéaire entre les prédictions de SWAT et de l'ODEP. Cette apparente absence de corrélation spatiale dans les prédictions de pertes de sol entre le modèle SWAT et les outils ODEP et GRISE à plus haute résolution spatiale est attribuée en large partie aux différences dans l'organisation spatiale des données, de même qu'à la précision des données pertinentes au relief. En effet, rappelons que les prédictions du modèle hydrologique SWAT sont basées sur des unités de calcul (URH) fondées sur des données à faible résolution spatiale (30 m), alors que les pentes sont généralisées à partir d'un modèle numérique d'élévation d'une précision altimétrique d'environ 3 m. À titre de comparaison, les prédictions des taux d'érosion colligées dans l'atlas GRISE et utilisées dans l'ODEP sont basées sur des données de relief d'une précision altimétrique de 10 cm et d'une résolution au sol de 1 m, tel que généré par un capteur aéroporté LIDAR. Ce facteur 30 X dans la précision des cotes d'élévation des différents outils a des répercussions importantes dans la représentation spatiale des parcours de l'eau ou d'inclinaison des pentes. Comme ces facteurs sont déterminants dans le calcul des prédictions de taux d'érosion par les différents outils, il en résulte des différences marquées dans la distribution des prédictions de pertes de sol.

Compte tenu de l'échelle de travail, les prédictions associées à l'atlas GRISE sont plus précises au plan spatial que celles de l'ODEP, puisque les unités de calcul à la base des estimations dans l'atlas GRISE épousent fidèlement l'hydrologie de surface à l'échelle intra-parcellaire. L'ODEP témoigne plutôt de pertes de sol moyennes cumulées à l'échelle du champ. La différence entre GRISE et l'ODEP dans leurs portraits respectifs des taux de pertes de sol témoigne ainsi de l'influence de représentations spatiales à l'échelle du parcellaire (ODEP) versus intra-parcellaire (GRISE). Si les prédictions de pertes de sol sont mieux discriminées à l'échelle intra-parcellaire, ces dernières demeurent néanmoins

cohérentes avec l'échelle de la parcelle, comme en font foi les bilans massiques d'exportation de sédiments produits à l'échelle du bassin versant Ewing selon l'ODEP ou l'atlas GRISE (Tableau 3.1).



Figure 3.2. Représentation spatiale des taux d'érosion prédits à l'échelle des unités de réponse hydrologique avec le modèle SWAT calibré à l'échelle du bassin versant de la rivière Aux Brochets (a), à l'échelle de la parcelle avec l'outil de diagnostic des exportations de phosphore (ODEP) (b) et à l'échelle des micro-bassins sur la base des données de l'atlas agroenvironnemental GRISE.

3.1.3 Portée opérationnelle des outils

La comparaison des capacités prédictives des outils SWAT, ODEP et GRISE met clairement en relief l'influence de l'échelle de travail sur la portée opérationnelle des outils. Une implication pratique des portraits divergents de la vulnérabilité du territoire aux

processus érosifs justifie toute l'importance d'associer le bon outil avec la bonne utilisation. Le tableau 3.2 rappelle succinctement les caractéristiques spatiales des outils et leurs implications au plan opérationnel. Compte tenu de leur échelle de travail, les outils de modélisation hydrologique appliqués à l'échelle de grands territoires font appel à des unités de calcul relativement grandes et à la généralisation de plusieurs données à référence spatiale, telles que la présence de drainage souterrain, la pratique culturale ou les modalités de la fertilisation. Les prédictions sont quantitatives et exigent absolument un calage et une validation sur la base d'observations mesurées dans le cadre de dispositifs en bassins versants expérimentaux. Des prédictions associées à des scénarios de gestion alternative peuvent par la suite être comparées et évaluées en fonction d'objectifs quantifiés de réduction des charges établis pour le territoire. Michaud et coll. (2007) ont ainsi analysé différentes combinaisons de pratiques de gestion bénéfique susceptibles de rencontrer les charges cibles de phosphore établies pour le bassin versant de la rivière Aux Brochets.

Tableau 3.2 Caractéristiques spatiales et portée opérationnelle des SIG dans le cadre d'actions concertées sur la qualité de l'eau.

	Modèle hydrologique SWAT	ODEP et atlas GRISE
Echelle d'application	Territoire (Bassin versant de la rivière Aux Brochets - 630 km ²)	Parcelle, ferme (10 ha-100 ha)
Unité de calcul	Unité de réponse hydrologique (pédologie, utilisation du sol et sous-bassins uniques)	Parcelle, zone de parcelle ou micro-bassin
Résolution spatiale du SIG	30 m	1 m
Précision altimétrique du modèle numérique d'altitude	3 m (Banque de données altimétriques régionales et plans des cours d'eau)	10 cm (Relevés LiDAR, GPS ou autres)
Nature des prédictions	Quantitatives (Hauteurs d'eau, flux)	Relatives (Indices d'égouttement, de pertes de sol et de phosphore)
Calage, validation du modèle	Validation essentielle, sur la base de mesures en dispositifs de bassins expérimentaux de la zone d'étude	Calage sur la base d'observations provenant possiblement de l'extérieur de la zone d'étude.
Portée opérationnelle	STRATÉGIQUE Prédictions de retombées de scénarios agroenvironnementaux de gestion à l'échelle du bassin	TACTIQUE Diagnostic des zones vulnérables, plans d'aménagement et de régie du parcellaire

L'échelle de travail et la méthodologie utilisée dans la modélisation hydrologique à l'échelle du bassin versant de la rivière Aux Brochets n'ont cependant pas été adaptées à une utilisation tactique à l'échelle de la ferme et de la parcelle. Dans une démarche de diagnostic et de planification d'interventions agroenvironnementales à l'échelle de la

parcelle ou de la ferme, la représentation de la vulnérabilité aux processus de ruissellement et d'érosion requiert des outils à fine résolution spatiale et d'une précision altimétrique relativement élevée.

Les outils de modélisation hydrologique, profitant d'un calage et d'une validation terrain, et les outils de diagnostic à fine résolution répondent néanmoins à des besoins complémentaires dans une optique d'actions concertées à l'échelle du bassin versant. Alors que la modélisation hydrologique est utile à l'analyse stratégique de différents scénarios sur le devenir des flux de sédiments ou de nutriments à l'échelle du bassin versant, les outils de diagnostic à haute résolution, issus de la télédétection, demeurent les outils privilégiés de mise en œuvre des plans d'action à l'échelle de la ferme.

3.2 Évaluation de GRISE sur les diagnostics d'égouttement

3.2.1 Remarques générales sur les entretiens et les résultats

Les 23 entretiens réalisés auprès des gestionnaires d'entreprises agricoles ont permis de mettre en évidence la diversité des perceptions des producteurs quant aux problèmes d'égouttement. Certains connaissent précisément les zones à problème et sont particulièrement sensibilisés à cette question. D'autres ont une plus grande tolérance face à ces problèmes et sont parfois moins à même d'établir les causes précises des difficultés de drainage de certains champs. Néanmoins, les différents calques de l'atlas agroenvironnemental ont permis de remédier en partie à ce déficit d'informations, mais toujours avec l'accord du producteur quant à l'interprétation. Il est important de rappeler dans ce contexte que le facteur humain est une source importante de variations dans les résultats associés à ce type d'étude, fondé en grande partie sur la perception des gestionnaires des entreprises agricoles participantes.

Il est également important de souligner que les pourcentages présentés dans ce rapport sont établis sur la base des 262 champs qui ont fait l'objet de discussions avec les producteurs, et non pas sur la superficie ou le dénombrement des problèmes d'égouttement. Il est par exemple possible de retrouver plusieurs problématiques reliées à l'égouttement dans un

même grand champ et n'en retrouver qu'une seule dans un petit champ. Les résultats seront quand même compilés de la même façon pour les deux champs. Il faut donc comprendre que si par exemple 50 % des champs ont un système de drainage, cela ne signifie pas que 50 % de la superficie agricole du bassin versant du ruisseau Ewing est drainée.

3.2.2 Le drainage souterrain et de surface des parcelles décrites

Une grande proportion des superficies cultivées est drainée souterrainement (Tableau 3.3). Les producteurs sont parfaitement conscients de l'impact positif que peut avoir le drainage pour régler leur problème d'égouttement. Une grande partie des superficies non drainées sont des terres noires. Les caractéristiques hydrodynamiques de ces sols rendent parfois inefficace l'utilisation de drains pour résoudre un problème d'égouttement. La matière organique joue aussi un rôle prépondérant dans ces sols en augmentant leur capacité d'absorption hydrique. Dès lors, l'efficacité des drains pour évacuer l'eau d'une zone est diminuée par rapport à un sol minéral. Les raisons qui peuvent retarder l'aménagement hydro-agricole d'un champ sont généralement liées à des contraintes financières ou de calendrier des opérations de caractère financier ou temporel. Plusieurs producteurs ont une importante proportion de leur rotation attribuée à la culture du maïs-grain. Des cultures plus hâtives à la récolte, comme les céréales ou le soya, leur donneraient une meilleure période pour débiter un chantier de drainage.

Tableau 3.3 Pourcentages du drainage souterrain et des types de drainage de surface retrouvés sur le bassin versant du ruisseau Ewing.

	Oui	Non	Partiellement
Drainage souterrain	76,4 %	19,8 %	3,8 %
Drainage de surface			
Non amélioré, pente < 3 %	2,3 %	97,7 %	-
Non amélioré, pente > 3 %	0 %	100 %	-
Planche bombée	39,7 %	60,3 %	-
Nivelé	66 %	34 %	-

En ce qui concerne le drainage de surface, seuls 2,3 % des champs n'ont jamais été améliorés. Les producteurs s'appliquent depuis longtemps à améliorer le drainage de surface de leurs champs, soit en formant des planches bombées, soit en les nivelant. Durant les entrevues, il a été remarqué que la formation de planches bombées, reste une technique appréciée par les producteurs plus âgés. Près de 40 % des champs du bassin versant ont conservé une forme bombée ou partiellement bombée. Ce pourcentage ne tient pas compte des superficies mais bien du nombre de champs. Une partie de ces champs sont également nivelés en leur centre et la forme bombée ne concerne que les bords des champs. Ces producteurs ont bien souvent des entreprises plus petites et ils ont conservé des parcelles de faible largeur. Cette technique est également utilisée pour compenser l'absence de drainage de certains champs. Les planches bombées ont pour inconvénient de demander beaucoup de travail pour conserver la forme des champs et d'accentuer l'érosion des bords de champs en créant des pentes artificielles qui accélèrent la vitesse d'écoulement des eaux de surface. Ce phénomène a été noté par quelques producteurs. Le nivelage reste la solution la plus populaire pour améliorer le drainage de surface. Grâce à la niveleuse, les producteurs ont un outil efficace pour combler les dépressions. Depuis quelques années, le nivelage a profité des dernières avancées technologiques pour améliorer son efficacité en termes de drainage de surface. Certains producteurs ont manifesté leur enthousiasme pour utiliser ces nouveaux outils. La figure 3.3 montre l'exemple d'un champ nivelé à l'aide d'une niveleuse guidée par GPS et dont le producteur a signifié sa grande satisfaction en termes de drainage de surface. Le relief de précision de l'atlas permet de bien distinguer l'évolution des nuances de l'élévation jusqu'à la décharge à la pointe sud-ouest.

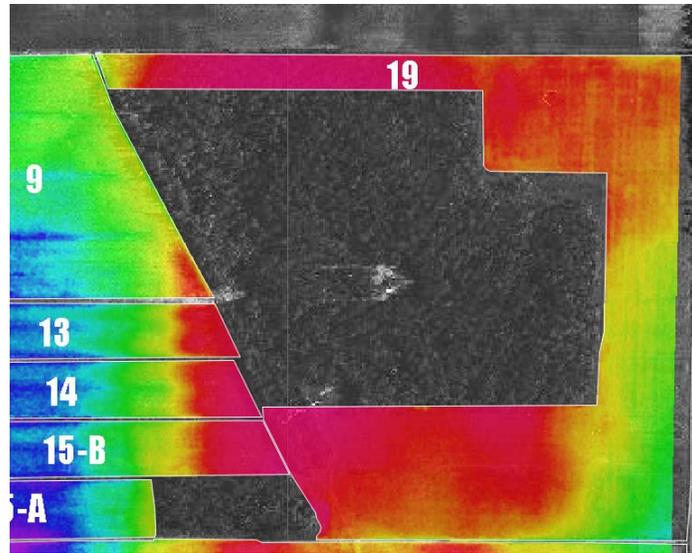


Figure 3.3 Calque d'élévation du champ 19 nivelé au GPS.

3.2.3 Les indicateurs des problèmes d'égouttement

Sur les 262 champs décrits, 194 présentaient des problèmes d'égouttement, ce qui représente 74 % de l'ensemble des champs. La moyenne des superficies à problème d'un champ est de 14,5 %. Les indicateurs des problèmes d'égouttement sont des symptômes facilement observables au champ par le producteur. Le tableau 3.4 dresse la répartition des cinq principaux indicateurs. Ces pourcentages sont sur la base des 194 champs qui présentent des problèmes d'égouttement.

Tableau 3.4 Pourcentages des indicateurs des problèmes d'égouttement (N = 194).

Indicateurs de problèmes d'égouttement	Oui	Non
Flaques persistantes après une précipitation	49 %	51 %
Entrée tardive ou retardée au champ	43,8 %	56,2 %
Circulation difficile, ornières profondes	61,3 %	38,7 %
Rendement des cultures plus faible ou inégal	90,7 %	9,3 %
Maturité tardive ou inégale des cultures	55,7 %	44,3 %

Les flaques persistantes après une précipitation

Les flaques persistantes après une précipitation sont les indicateurs les plus apparents des problèmes d'égouttement. On les retrouve généralement dans les sols à texture fine. Les flaques peuvent être présentes suivant différents facteurs qui peuvent y être associés : la présence d'une couche de battance sur un sol argileux, une dépression, une zone de compactage, l'accumulation d'une grande quantité d'eau par une importante superficie contributrice, etc. Près de la moitié des champs présentant des problèmes d'égouttement (49 %) ont des flaques persistantes après une précipitation. Il s'agit bien souvent de zones très localisées sur un champ mais qui affectent beaucoup les rendements. Toutefois, 51 % des champs présentant des problèmes d'égouttement sont plutôt caractérisés par des sols qui demeurent détrempés sur une période relativement longue suivant une précipitation.

L'entrée retardée au champ et la formation d'ornières

Les problèmes d'égouttement sont pris en compte par les producteurs dans les périodes de semis et de récolte. Dans le cycle d'une culture, ces deux opérations nécessitent l'utilisation d'une machinerie lourde et coïncident avec des saisons où le sol risque d'avoir des degrés de saturation en eau plus élevés. Les risques de compaction par la machinerie sont donc plus élevés. Les producteurs retardent ces opérations dans 43,8 % des champs qui ont un problème d'égouttement. Dans 56,2 % des cas, les problèmes d'égouttement ne sont pas pris en compte lors du semis ou de la récolte. Les problèmes peuvent être, soit très localisés ou de petite importance, soit situés sur un champ qui est géré en même temps qu'un lot de champs qui ne présentent pas de problèmes d'égouttement. Dans 61,3 % des champs à problème, l'équipement va provoquer des ornières. Dans seulement 38,7 % de ces champs, l'entrée tardive de la machinerie pourra éviter la formation d'ornières reconnue comme un signe aigu de compaction et extrêmement nuisible pour le bon déroulement de la croissance de la culture.

Le rendement et la maturité des cultures

Pour les producteurs, l'indicateur le plus significatif pour repérer les problèmes d'égouttement reste l'inégalité des rendements dans un champ. Ainsi 90,7 % des champs à problème sont associés à des pertes de rendement. Ces pertes peuvent aller dans certains

cas à des zones où la récolte est nulle ou presque. Pour beaucoup de producteurs, les problèmes n'apparaissent que lorsque des pertes de rendement sont constatées. Les problèmes d'égouttement n'entraînent pas de pertes de rendement quand il s'agit de sols plus lourds qui prennent du temps à se réchauffer au printemps mais qui donnent tout de même satisfaction en termes de rendement. L'indicateur de retard de maturité peut paraître moins fiable car les producteurs travaillent sur des pourcentages d'humidité représentant l'ensemble de la parcelle. Alors qu'on pourrait trouver un rapport entre l'inégalité du rendement au niveau de la parcelle et la maturité de la culture, le pourcentage de l'indicateur de retard de la maturité n'est que de 55,7 %. Ce pourcentage comprend surtout les champs qui, dans leur globalité, vont avoir un retard de maturité par rapport aux champs adjacents. Un certain nombre de producteurs ont hésité à répondre à la question du retard de maturité.

3.2.4 Relief, parcours de l'eau et problèmes d'égouttement

Les résultats des entretiens, en ce qui concerne le rôle du relief et du parcours de l'eau dans les problèmes d'égouttement, sont répertoriés au tableau 3.5.

Tableau 3.5 Pourcentages des réponses aux différentes causes possibles des problèmes d'égouttement en rapport avec le relief et le parcours de l'eau.

Causes probables	Oui	Non
Présence de dépressions	88,1 %	11,9 %
Rigoles aménagées à l'automne pour drainer les dépressions	7,7 %	92,3 %
Importante superficie contributrice	17 %	83 %
Parcours de l'eau très long (700 m et plus)	9,3 %	90,7 %
Cassé de pente	22,2 %	77,8 %
Pente longitudinale ou latérale supérieure à 3 %	9,8 %	90,2 %
Absence de drainage souterrain	21,6 %	78,4 %

Drainage souterrain inefficace	25,3 %	74,7 %
Cours d'eau pas assez profond	22,2 %	77,8 %

Les dépressions et les rigoles aménagées à l'automne pour les drainer

La cause la plus citée pour expliquer les problèmes d'égouttement est la présence de dépressions. Grâce aux relevés microtopographiques, il a été aisé de constater qu'aux zones mal égouttées correspondaient des creux. L'eau s'y accumule et ne peut être évacuée que par drainage du sol. Ces zones restent plus longtemps humides et sont donc plus susceptibles de se compacter par le passage de la machinerie. Cette accumulation d'eau peut en partie détruire la structure du sol et réduire encore plus l'écoulement de l'eau dans celui-ci. Les dépressions sont également faciles à observer sur le terrain. La correction des dépressions grâce au nivelage est donc souvent présentée comme une des priorités des producteurs pour résoudre une partie de leur problème d'égouttement. De plus 7,7 % des champs à problème ont nécessité l'aménagement de rigoles pour drainer certaines de ces dépressions.

La topographie du champ

Le calque des micro-bassins versants de l'atlas agroenvironnemental modélise les superficies contributrices à l'écoulement de surface. Le calque a permis de distinguer deux types de situations problématiques : les zones situées dans des cuvettes entourées de pentes et les zones collectant une grande superficie d'une planche. Les planches qui ont été remembrées ont créé des surfaces de micro-bassin versant plus grandes qui conduisent parfois à des problèmes d'égouttement à leur exutoire. Ce phénomène contribue aux problèmes d'égouttement de 17 % des champs.

De façon moins importante, mais toujours en rapport avec l'agrandissement des champs, 9,3 % des problèmes s'expliquent en partie par un parcours de l'eau très long, c'est-à-dire supérieur à 700 m. Il est possible de les distinguer grâce au calque des tracés d'écoulement standard. Les longs parcours d'eau sont inscrits dans les micro-bassins versants de tailles

importantes. Pour ces deux causes, des structures telles que des avaloirs sont envisagées par les exploitants pour régler leur problème d'égouttement.

Les cassés de pente peuvent également produire des zones à problème. L'eau de ruissellement qui s'écoule sur les pentes d'un champ se retrouve ralentie et concentrée dans ces zones. Ils ont contribué aux problèmes d'égouttement de 22,2 % des champs. Les pentes supérieures à 3 % peuvent accentuer ce phénomène. Les risques d'érosion du sol par l'eau de ruissellement sont alors importants. Une accumulation d'éléments fins en bas de pente crée des couches de sol moins perméables et plus susceptibles de faire apparaître des problèmes d'égouttement. Peu de pentes sont supérieures à 3 % dans le bassin versant du ruisseau Ewing mais il est quand même apparu que dans 9,8 % des cas, des pentes adjacentes de 3 % pouvaient expliquer en partie les problèmes d'égouttement.

Le drainage souterrain

Des champs gagneraient à être drainés pour régler leur problème d'égouttement. Au total, 21,6 % des champs se trouvent dans cette catégorie. Par ailleurs, les champs peuvent aussi présenter des problèmes d'égouttement par manque d'efficacité de leur système de drainage souterrain. Sur 200 champs drainés et 10 champs partiellement drainés, 49 d'entre eux ont un système inefficace. Ces déficits de drainage peuvent avoir deux origines. La première serait le colmatage naturel par l'ocre, les sédiments ou des déchets organiques. La deuxième origine serait des travaux d'installation mal réalisés. Les travaux ont pu avoir lieu quand le terrain était trop humide. Les drains peuvent aussi être écrasés par une charge excessive à la surface ou à cause d'un mauvais remblayage. Le cas le plus souvent rencontré est l'absence de prise en compte des propriétés physiques du sol. Les drains ont pu être posés sous une couche imperméable ou dans une zone argileuse lourde de faible conductivité hydraulique. L'origine des problèmes de drainage souterrain se répartit de façon égale entre un colmatage naturel et une installation sub-optimale.

La profondeur et le niveau de l'eau dans les cours d'eau

Dans 22,2 % des champs, le niveau du cours d'eau contribue au problème d'égouttement. Ces champs se distinguent par deux situations. On trouve parfois des cas où les sorties de

drains sont au niveau du cours d'eau limitant ainsi l'efficacité du système de drainage. Il peut s'agir aussi de fossés insuffisamment profonds pour évacuer efficacement les eaux de surface. Le niveau d'eau reste anormalement élevé dans le fossé à cause des obstacles que l'eau rencontre sur son parcours. Dans ce cas, certaines portions du fossé conservent un niveau de nappe anormalement élevé sur les bords des champs. Le pourcentage des problèmes d'égouttement liés au manque de profondeur du cours d'eau et rapporté au tableau 3.5 inclut cette situation.

3.2.5 Le rôle de la nature du sol dans les problèmes d'égouttement

Les résultats des entretiens en ce qui concerne le rôle de la nature du sol dans les problèmes d'égouttement sont répertoriés au tableau 3.6.

Tableau 3.6 Pourcentages des réponses aux différentes causes possibles des problèmes d'égouttement en rapport avec la nature du sol.

Causes probables	Oui	Non
Classe de texture du sol	65,5 %	34,5 %
Nappe élevée persistante	22,7 %	77,3 %
Horizons aux textures contrastées	34,5 %	65,5 %
Sensibilité à la battance	25,3 %	74,7 %
Compactage lié aux pratiques culturales	51,5 %	48,5 %

La texture du sol et la battance

Le calque représentant la pédologie du bassin versant du ruisseau Ewing comporte de nombreux secteurs qui sont considérés à texture fine, incluant des textures de loams argileux, de limons argileux lourds et d'argiles des séries Richelieu, Sabrevois, Sainte-Rosalie et Sheffield. La perméabilité de ces sols peut être très affectée s'ils ne sont pas bien

structurés. La structure du sol peut être altérée par le manque de matière organique apportée par les engrais de ferme, par les précipitations (battance), par le compactage lié aux activités agricoles ou par de trop longues périodes de saturation en eau. Une proportion élevée de limon dans un sol accentue la sensibilité de celui-ci à la battance. Ce phénomène n'est pas toujours bien connu des producteurs et il se pourrait qu'ils sous-évaluent ce facteur qui peut aggraver leur problème d'égouttement. Même si 65,5 % des champs ayant un problème d'égouttement ont une texture qui participe au problème, seulement 25,3 % montrent des symptômes de battance.

Les horizons à texture contrastée et les nappes élevées persistantes

Les horizons à texture contrastée sont une cause de problèmes d'égouttement dans 34,5 % des champs. Il s'agit dans la majeure partie des cas de champs ayant une couche de gley sous une couche de sol plus fin. Les producteurs ont décrit cette couche comme une glaise très compacte qui sort en briques. Elle a une couleur totalement bleue sans taches de rouille, ce qui suggère une forte hydromorphie. L'eau se déplace très lentement à travers le profil et peut même conduire à la formation de nappes proches de la surface. Cette description n'est rapportée que par les producteurs qui ont effectué des travaux dans leur champ. Il est possible que le pourcentage de cette problématique soit supérieur. Le cas des fossés qui ont été comblés a aussi été rapporté lors des entretiens. Le fond des fossés accumule les éléments fins qui ont été transportés par les eaux de surface. Pendant le remembrement des planches, quelques producteurs ont omis de poser un drain au fond de ces anciens fossés. Cet oubli a eu pour conséquence de diminuer l'efficacité du drainage à ces endroits.

Des nappes élevées sont retrouvées dans 22,7 % des champs. Elles sont bien souvent reliées à des cours d'eau ou à des fossés qui ne sont pas creusés assez profondément. Elles peuvent aussi être formées par un horizon du profil de sol particulièrement imperméable.

Le compactage lié aux pratiques culturales

Le compactage lié aux pratiques agricoles peut être une cause des problèmes d'égouttement. Il peut aussi aggraver des problèmes qui étaient déjà existants. Le

pourcentage de 51,5 % de réponses affirmatives pour ce critère comprend ces deux types de compactage, c'est-à-dire antérieur et postérieur aux problèmes d'égouttement. Très peu de producteurs ont fait mention d'une semelle de labour provoquée par leur charrue.

3.2.6 L'intérêt des producteurs pour l'aménagement des champs

Le tableau 3.7 montre que l'aménagement le plus considéré pour régler leur problème d'égouttement est le nivellement (83,5 % des champs ont un problème). Les structures de contrôle du ruissellement arrivent en deuxième position avec 52,6 % des champs et le drainage souterrain est en dernière position avec 33,5 % des champs. Cet ordre peut s'expliquer par le fait que la majeure partie des problèmes d'égouttement sont ponctuels, comme par exemple des dépressions ou des bords de fossé recevant une trop grande superficie de précipitation. Les champs pour lesquels le drainage est inexistant ou inefficace ont été moins rencontrés pendant ces entretiens.

Tableau 3.7 Pourcentages des types d'aménagement hydro-agricole envisagés par les producteurs.

Types d'aménagement	Envisagé	Non envisagé
Drainage souterrain	33,5 %	66,5 %
Drainage de surface (nivellement)	83,5 %	16,5 %
Structures de contrôle du ruissellement	52,6 %	47,4 %

Tableau 3.8 Intérêt des producteurs pour profiter d'un soutien financier pour l'aménagement de leur terre.

	Nombre de producteurs
Producteurs interrogés	23
Producteurs estimant avoir recours à des structures	21
Producteurs ayant un intérêt pour Prime-Vert	16 (76,2 %)
Producteurs n'ayant pas d'intérêt pour Prime-Vert	5 (23,8 %)

Un peu plus de 9 producteurs sur 10 estiment avoir recours à des structures pour régler leur problème d'égouttement (Tableau 3.8). En tout, 76,2 % de ces producteurs seraient intéressés à les faire financer par un programme de soutien financier (Prime-Vert). Les 23,8 % restant préfèrent ne pas engager de démarches administratives et souhaitent installer ces structures avec leurs propres moyens.

3.2.7 Correspondance entre l'égouttement et l'indice de brillance

Toutes les zones mal égouttées ont pu être distinguées grâce à l'indice de brillance (

Tableau 3.9). Les zones à problème sont facilement distinguables. Plusieurs aspects sont tout de même à souligner. Tout d'abord, les zones bleutées (indice de brillance faible) peuvent causer une surévaluation du problème d'égouttement. Par exemple à la figure 3.4, le producteur a déclaré n'avoir un réel problème d'égouttement que dans le centre du cercle rouge alors que la zone de faible indice de brillance est beaucoup plus étendue. Les relevés aériens qui ont servi à produire la carte des indices de brillance, ont été pris fin avril 2006. Selon les données d'Environnement Canada, sur la période entre le 22 et le 26 avril 2006, la station de Philipsburg a reçu 30,7 mm de pluie. Ces fortes précipitations à la fin d'avril pourraient expliquer en partie l'accentuation des problèmes de certains champs.

Tableau 3.9 Pourcentages des correspondances entre les zones mal égouttées et les zones à faible indice de brillance.

Indice de brillance	Oui	Non
Zone mal égouttée = zone à faible indice de brillance	100 %	0 %
Zone à faible indice de brillance = zone mal égouttée	75,8 %	24,2 %

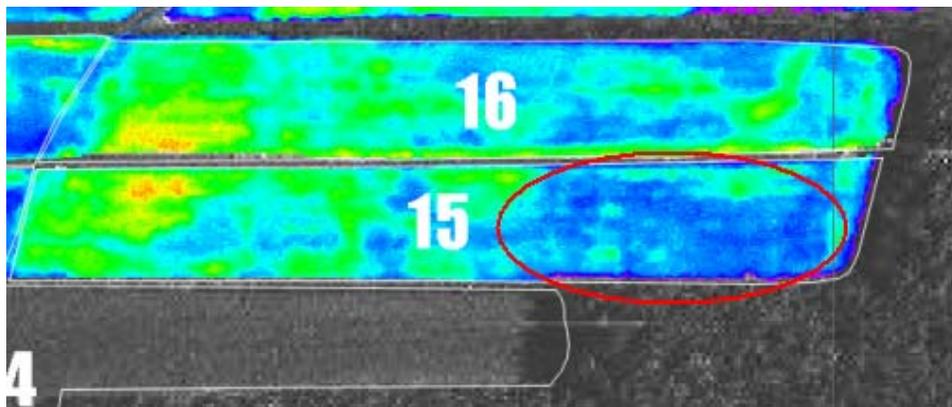


Figure 3.4 Zone à indice de brillance faible alors que selon le producteur le problème d'égouttement est localisé au centre du cercle rouge.

De plus, s'il est facile de distinguer les zones à problème grâce à la couleur bleue, l'intensité de cette couleur ne rend pas toujours compte de la gravité des problèmes. Pour illustrer cet aspect, il est possible de comparer deux images prises chez un même producteur. La figure 3.5 montre une zone particulièrement bleutée (1). Bien que le producteur reconnaisse que cette zone reste parfois plus fraîche au printemps, il a déclaré qu'il ne semblait pas y avoir de rendements inégaux par rapport au reste du champ, sauf dans des années exceptionnelles. Par contre, il a reconnu avoir beaucoup de difficulté à avoir un rendement acceptable dans la zone 2 de la figure 3.6. Celle-ci montre pourtant à première vue un indice de brillance plus élevé.

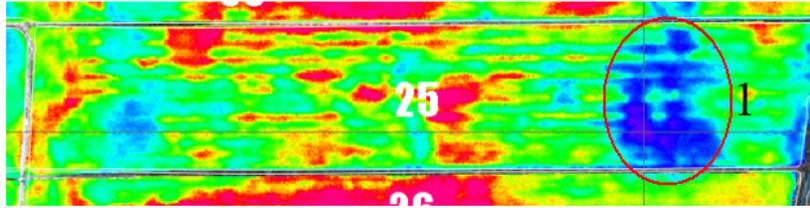


Figure 3.5 Zone plus fraîche au printemps mais qui ne donne pas de rendement inégal par rapport au reste du champ.

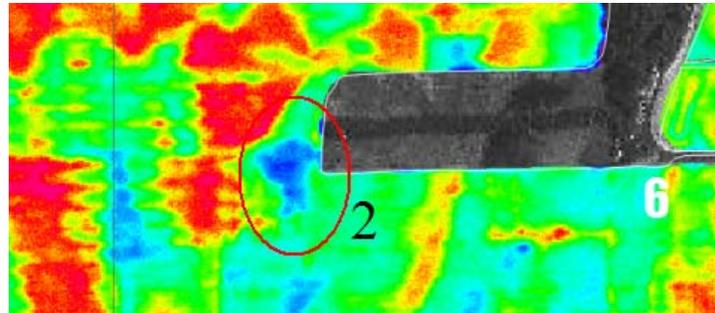


Figure 3.6 Zone avec un fort problème d'égouttement.

Aussi, les calques sont indispensables pour dissocier les causes de faible indice de brillance. Dans un même champ, il peut éventuellement y avoir plusieurs causes de faible indice de brillance comme le montre la figure 3.7. Sur ce même champ, il faut distinguer deux zones très différentes : une zone argileuse avec une faible capacité de drainage (1) et une zone de sol organique (2).

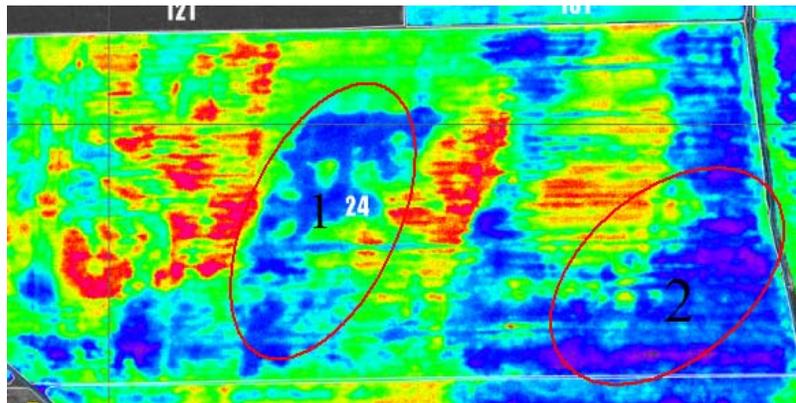


Figure 3.7 Zone 1 à texture argileuse lourde et zone 2 sur sol organique.

Le calque de l'indice de brillance a aussi permis de mettre en évidence l'impact de certaines pratiques sur l'égouttement d'un champ. Aux figures 3.8 et 3.9, on distingue facilement les parties non drainées d'un champ. Les images aéroportées de la figure 3.10 montrent la différence d'efficacité de deux systèmes de drainage. De même, le type de travail du sol a fait ressortir des différences au niveau de l'indice de brillance. À la figure 3.11, les champs 7M et 8M en semis direct sont ressortis plus bleus que les champs 16A et 16B en labour d'automne pour un même type de sol.

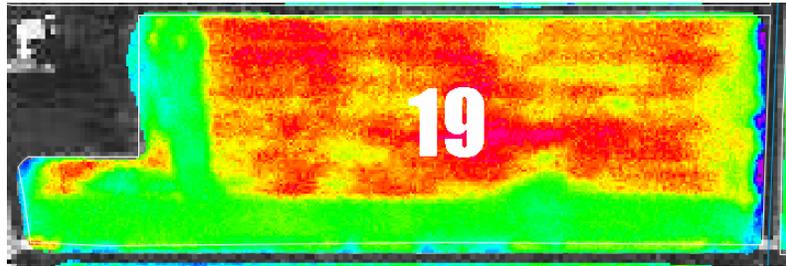


Figure 3.8 Champ avec une zone non drainée en vert et une zone drainée en rouge.

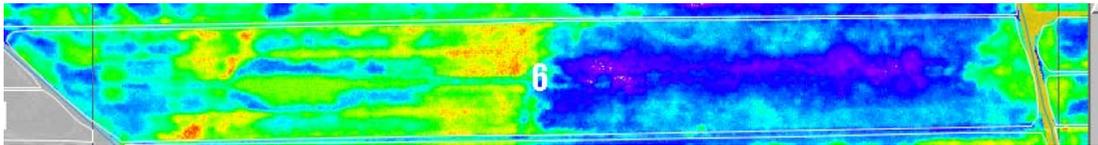


Figure 3.9 Champ drainé sur la partie gauche et non drainé sur la partie droite.

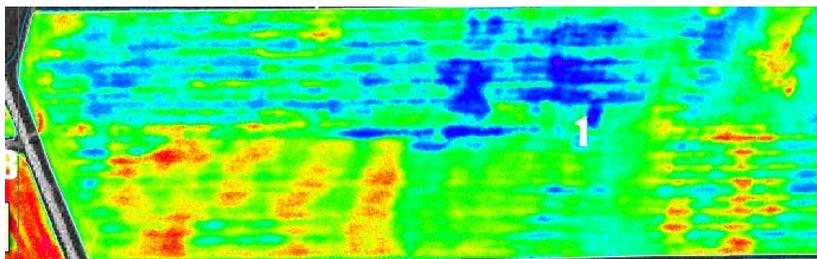


Figure 3.10 Champ avec un système de drainage efficace dans sa partie sud et non efficace dans sa partie nord.

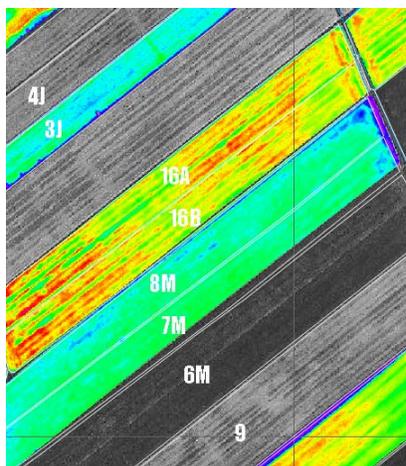


Figure 3.11. Les champs 16A et 16B sont en labour d'automne et les champs 7M et 8M en semis direct.

Sur les 194 champs comportant un problème d'égouttement, 47 présentaient des zones à faible indice de brillance qui ne correspondaient pas à des problèmes d'égouttement (

Tableau 3.9). De plus, 68 champs n'ont pas de problème d'égouttement et parmi ceux-ci, 16 présentaient des zones à faible indice de brillance. Quelques images aéroportées illustrent les quelques cas qui ont été rapportés lors des entretiens. Il s'agit parfois de cas bien spécifiques. La figure 3.12 nous montre une zone que l'on pourrait croire mal égouttée et qui est en fait un enclos pour chevaux. Les zones qui présentent de forts taux de matière organique sans être des sols organiques peuvent aussi montrer un indice plus faible. La figure 3.13 fait ressortir une zone sans problème d'égouttement, et qui est pourtant bleutée. Il s'agit en fait d'une zone déboisée dans les deux années précédant la prise de l'image aéroportée. Des zones de minces couches organiques sur du sable ressortaient également en bleu alors qu'elles n'ont aucun problème d'égouttement. À la figure 3.14, on distingue en réalité deux andains de roches et de souches qui ont depuis été enlevés. La figure 3.15, quant à elle, fait état d'une zone à faible indice de brillance dans le site d'une ancienne grange. Pour terminer, le champ de la figure 3.16 met en évidence une zone à faible indice de brillance à l'emplacement d'un tas de fumier.

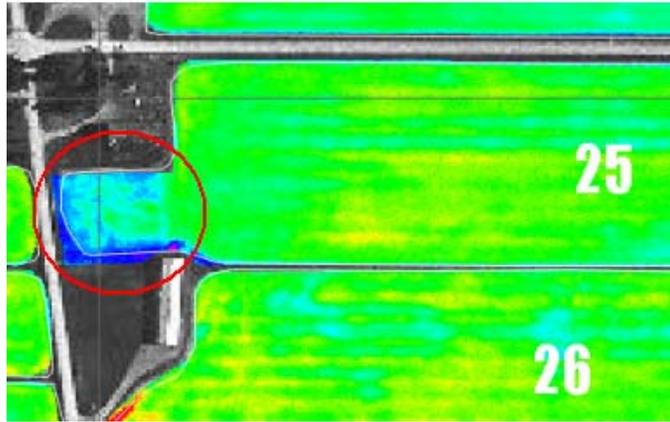


Figure 3.12 Zone d'un enclos à chevaux.

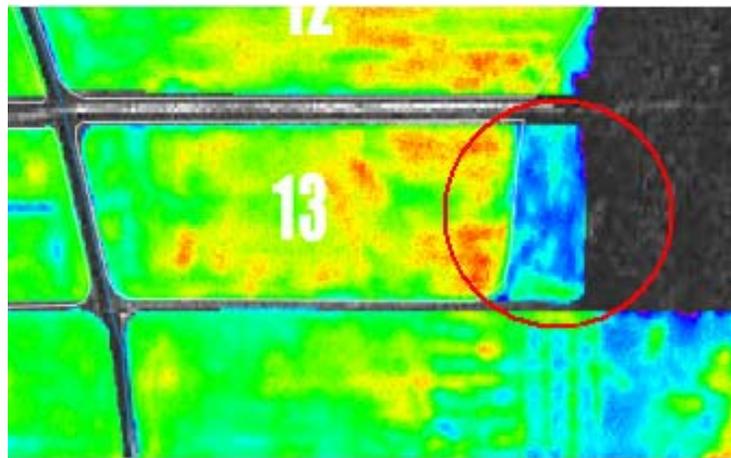


Figure 3.13 Zone sans problème d'égouttement mais défrichée dans les deux dernières années

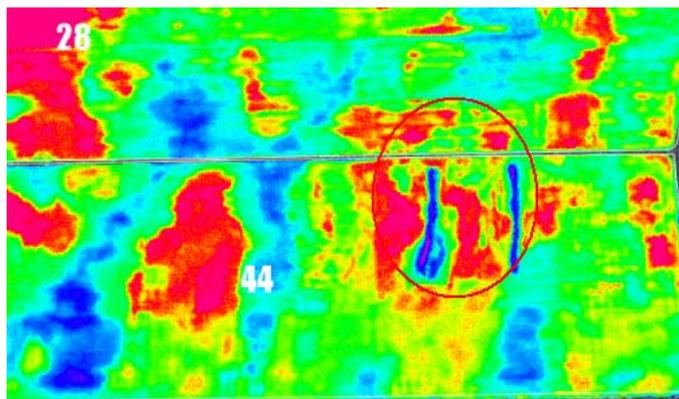


Figure 3.14 Deux andains de roches et de souches

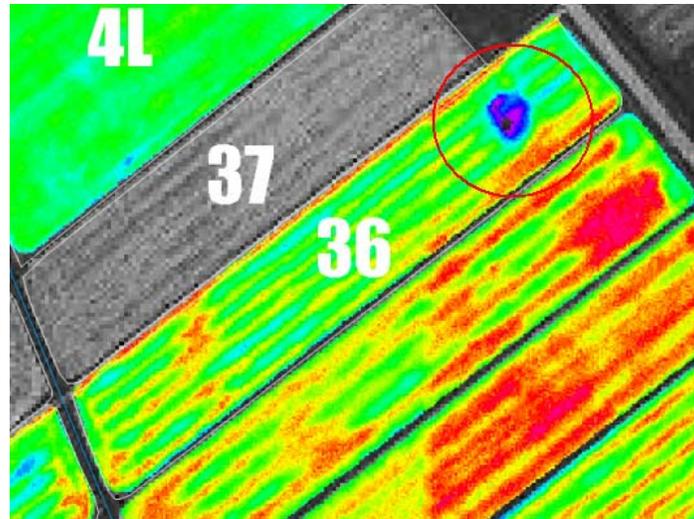


Figure 3.15 Ancien emplacement d'une grange

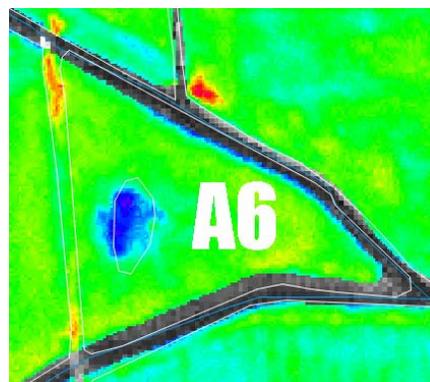


Figure 3.16 Tas de fumier dans le champ A6.

Outre ces cas ponctuels, il existe une non concordance entre le faible indice de brillance et les problèmes d'égouttement dans les cas où l'on retrouve la présence de couverture végétale. La couleur verte du feuillage des plantes semble diminuer l'indice de brillance. Deux situations ont été répertoriées. La première concerne les céréales à paille. Un champ déclaré sans problème d'égouttement peut ressortir totalement bleu s'il a été implanté par une céréale d'automne ou par une céréale de printemps (Figures 3.17 et 3.18). Une céréale d'automne a tendance à diminuer davantage l'indice de brillance qu'une céréale de printemps probablement à cause de sa plus grande précocité à recouvrir la surface du sol.

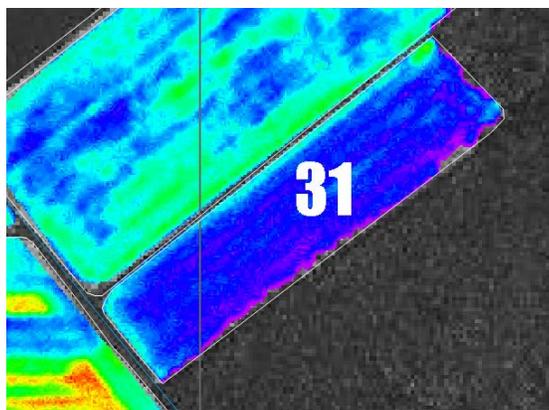


Figure 3.17 Champ de blé d'automne.

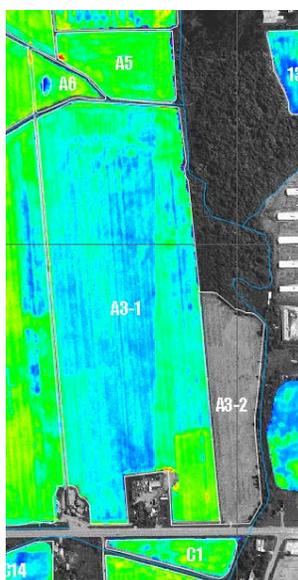


Figure 3.18 Semis de blé de printemps dans le champ A3-1.

Le deuxième cas répertorié est l'infestation de mauvaises herbes vivaces. Tout comme les céréales, elles émergent tôt au printemps et se concentrent sur certaines zones des champs. Elles pourraient facilement être confondues avec un problème d'égouttement si l'on se fiait uniquement au calque de l'indice de brillance. Les trois types de mauvaises herbes qui ont été déclarées sont le pissenlit (Figure 3.19), le chiendent (Figure 3.20) et la prêle (Figure 3.21). À la figure 3.20, la bande riveraine apparaît aussi avec un faible indice de brillance.

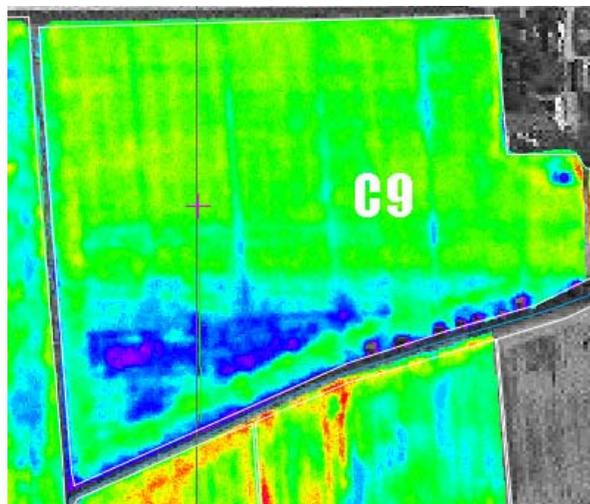


Figure 3.19 La zone à faible indice de brillance du champ C9 serait une infestation de pissenlit.

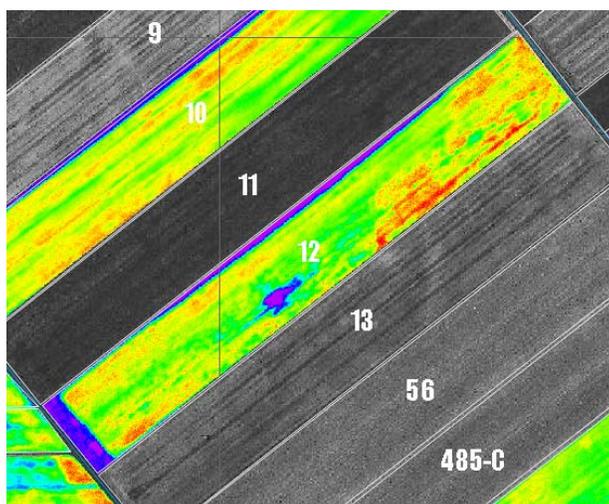


Figure 3.20 Champ 12 avec une bande riveraine à l'extrémité sud et une problématique de chiendent en son centre.

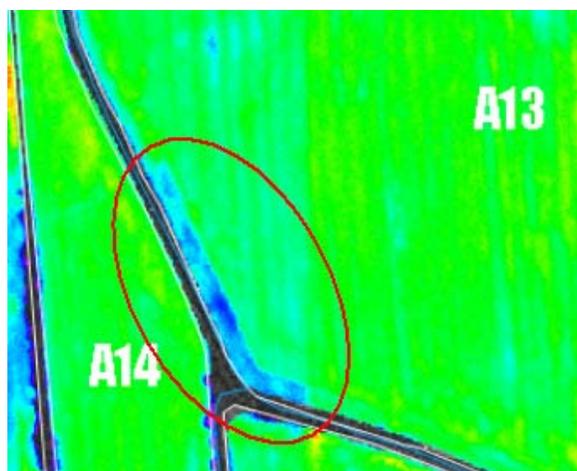


Figure 3.21 Zone du champ A13 avec infestation de prêle.

3.2.8 Utilisation de l'atlas GRISE auprès des producteurs et des conseillers

L'intérêt des producteurs

Les producteurs ont eu un grand intérêt pour cet outil. Plusieurs ont même demandé de recevoir une copie du logiciel TNTatlas comprenant toutes les informations qui leur ont été présentées. Le calque des indices de brillance leur permettra de visualiser les zones à problème sur l'ensemble de leur exploitation. Ils ont été particulièrement intéressés par les autres outils accompagnant le logiciel TNTatlas, en particulier les graphiques de microtopographie produits par l'élévation LiDAR de la GéoToolBox. Les exploitants attachent une grande importance au nivellement pour réduire leur problème de drainage (Tableau 3.7) et ils voient là un outil pour mieux évaluer la hauteur de terre à déplacer. Le calque sur les polygones de bassins versants et les tracés d'écoulement ont aussi été bien appréciés. Si le calque des indices de brillance constitue une base de travail, les autres calques permettent de mieux comprendre les facteurs qui sont en jeu et de poser ainsi un meilleur diagnostic. Pour beaucoup de producteurs, les indices de brillance sont surtout utiles quand ils sont accompagnés des informations des différents calques permettant de les interpréter. Beaucoup d'entre eux connaissent très bien les emplacements où ils rencontrent

des problèmes de drainage, mais ils apprécient de pouvoir y superposer des modèles qui permettent de mieux évaluer le type d'intervention à appliquer.

L'utilisation de GRISE par un conseiller

Le calque des indices de brillance est une base de travail très intéressante pour un conseiller. Il permet de situer rapidement les zones à problème. Néanmoins, un conseiller doit absolument croiser les données de GRISE avec l'expérience du producteur afin de ne pas considérer des zones à problème qui n'existent pas. Il devra également faire des visites aux champs pour compléter son diagnostic. Le calque des indices de brillance est aussi une photo d'un moment précis et il n'est utile que s'il est rapidement mis à la disposition du conseiller et du producteur. En effet, les exploitants agricoles modifient régulièrement leurs champs et il est plus intéressant de travailler sur des données qui correspondent à ce qui est d'actualité pour le producteur.

En agriculture, il est toujours plus facile de travailler sur la base de cartes. Elles permettent d'effectuer une meilleure planification et de comparer les évolutions des problèmes d'égouttement par rapport à une année de base. Les calques de la classification LandMapR, d'élévation LiDAR, des polygones de bassins versants, d'élévation des cours d'eau et des tracés d'écoulement standard ont permis d'émettre des hypothèses de façon efficace sur les résultats du calque de l'indice de brillance. Néanmoins ces hypothèses doivent être confirmées par des observations de terrain.

3.3 Évaluation de l'intérêt des producteurs à changer leurs pratiques culturales pour diminuer leur taux d'exportation de phosphore

3.3.1 Intérêt des producteurs pour des pratiques culturales alternatives

Vingt-trois producteurs ont participé à cette évaluation. Les résultats sont compilés aux tableaux 3.10 et 3.11.

Tableau 3.10 Pratique et intérêt des entreprises agricoles pour les pratiques culturales alternatives.

Type de pratique	Pratiqué	Considéré	Exclu
Épandage en post-levée	13 %	21,8 %	65,2 %
Culture sur résidus (sans labour)	47,8 %	34,8 %	17,4 %
Cultures alternatives	-	26,1 %	73,3 %
Céréales à paille	52,1 %	26,1 %	21,8 %
Culture de couverture - associée	8,7 %	21,7 %	69,6 %
Culture de couverture - dérobée	34,8 %	52,2 %	13 %
Foin	43,5 %	-	56,5 %
Panic érigé	60,9 %	26,1 %	13 %

Tableau 3.11 Pourcentages des réponses aux facteurs décisionnels qui limitent l'adoption des pratiques culturales alternatives.

Facteurs	Oui	Non
Baisse de revenu anticipée	78,3 %	21,7 %
Difficulté anticipée de mise en marché	47,8 %	52,2 %
Modalités actuelles d'assurance récolte/revenu	34,8 %	65,2 %
Faisabilité technique, équipement et logistique	87 %	13 %
Faisabilité technique, conditions des parcelles inappropriées	56,5 %	43,5 %

L'épandage en post-levée des engrais de ferme

L'épandage des engrais de ferme sur des cultures pérennes, comme les prairies, est une méthode de fertilisation adoptée par l'ensemble des producteurs de foin. Cet épandage a généralement lieu après la première coupe plutôt qu'au printemps afin de diminuer les risques de compaction du sol. Les résultats compilés au tableau 3.10 concernent les épandages sur des cultures annuelles telles que le maïs. Dans ce cas de figure, cette méthode est beaucoup moins utilisée; seuls 13 % des producteurs l'utilisent. Selon les producteurs consultés, le principal facteur qui limite l'adoption de cette pratique est la disponibilité de l'équipement. Une grande partie des exploitants font leur épandage à forfait avec des entrepreneurs qui n'ont pas l'équipement adéquat pour des épandages en post-levée. Avec l'augmentation du prix des engrais minéraux, les producteurs souhaitent améliorer la caractérisation et l'épandage de leurs effluents d'élevage afin d'optimiser leur utilisation. Les engrais de ferme sont de plus en plus considérés par les producteurs comme une source d'éléments fertilisants à moindre coût et la méthode d'application de ceux-ci retient davantage leur attention. Par exemple, l'épandage par un système d'irrigation avec une rampe intéresse de plus en plus les producteurs de la région. Certains producteurs ont dit considérer de nouvelles pratiques concernant l'épandage de leurs engrais de ferme si les entrepreneurs de la région s'équipent avec ces nouveaux matériels.

La culture sur résidus (sans labour)

Une bonne proportion de producteurs pratiquent le semis direct (47,8 %). Ce nombre inclut également les agriculteurs qui utilisent cette technique de façon partielle, soit sur des champs mieux égouttés ou sur une culture particulière comme le soya. Une bonne proportion des personnes interrogées (34,8 %) se disent aussi prêtes à essayer le semis direct. L'augmentation du prix du carburant a amené plusieurs producteurs à remettre en cause le labour sur l'ensemble de leurs terres en culture. Le principal frein à l'adoption de la technique sans labour par cette catégorie de producteurs est l'absence de semoir adapté. Ils s'interrogent également sur les conditions de semis sur des terres lourdes qui prennent beaucoup de temps pour se réchauffer au printemps. Pour la catégorie qui exclut l'utilisation du semis direct (17,4 %), les principaux arguments sont pertinents à la nature des sols. Ils redoutent d'avoir des terres trop lourdes pour se réchauffer rapidement au printemps ou d'avoir une trop grande proportion de terres noires qui nuiraient à l'uniformité du semis.

Les cultures alternatives

Les exploitants qui ont une ferme à vocation unique de production laitière ont déjà une rotation bien définie qui permet de subvenir aux besoins en fourrage de leur troupeau et d'implanter de nouvelles prairies. Dès lors, ils n'ont pas l'intention de modifier leur rotation pour des cultures alternatives. L'unique motivation des autres producteurs pour considérer ces cultures reste la rentabilité et la mise en marché. Actuellement, il est difficile de concurrencer le maïs et le soya. La production de pois sec pourrait être une alternative, mais cette culture comporte un risque accru au plan de la gestion à cause des critères de classification plus sévères.

Les céréales à paille

La moitié des producteurs interrogés cultivent des céréales à paille (52,1 %). Il s'agit en grande majorité d'exploitations laitières qui utilisent les céréales comme culture de couverture avant une prairie. Les producteurs de grandes cultures privilégient le maïs et le soya qui sont reconnus comme des cultures plus rémunératrices en superficie. De

nombreux producteurs souhaiteraient intégrer du blé de printemps dans leur rotation ne serait-ce que pour avoir le temps après la récolte d'améliorer leurs champs et de les chauler. Néanmoins, ils se disent découragés par les modalités de la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec. Les principaux reproches faits à la Fédération sont les longs délais de paiement et la forte proportion de récoltes déclassées. L'arrivée sur le marché d'acheteurs tels qu'Agri-Fusion, qui présente de meilleures conditions d'achat des récoltes, redonne à certains producteurs le goût d'essayer la culture de blé de printemps et de blé d'automne. Selon quelques producteurs, ce type d'initiative pourrait leur donner l'opportunité d'améliorer leurs champs tout en s'assurant un revenu supplémentaire. Parmi les répondants, plusieurs attendent qu'Agri-Fusion fasse ses preuves avant d'envisager produire du blé sous ce genre de contrat.

Les cultures de couverture associées et dérochées

Un faible pourcentage d'agriculteurs (8,7 %) utilisent la culture de couverture associée. En fait, il s'agit uniquement des producteurs en régie biologique. Ceux qui excluent cette technique considèrent qu'elle leur amènerait une surcharge de travail pour des résultats qui ont été encore peu documentés. Les engrais verts associés sont également assez difficiles à implanter dans le maïs, car leur réussite dépend d'une bonne répression des mauvaises herbes avant l'implantation et d'un choix d'hybrides qui laissent passer un peu plus de lumière dans l'entre-rang. Les producteurs seraient plus enclins à utiliser des cultures associées s'ils avaient accès à une meilleure information pouvant favoriser leur réussite. L'augmentation du prix des engrais pourrait aussi être un facteur de motivation pour utiliser cette pratique. Quant aux cultures de couverture dérochées, les agriculteurs qui les utilisent sont ceux qui produisent déjà des céréales à paille. L'extension de cette pratique est connexe à celle des céréales à paille et plus particulièrement le blé de printemps et le blé d'automne. Les exploitants qui considèrent un jour produire du blé ont l'intention d'implanter une culture de couverture dérochée. La moutarde est peu utilisée dans le bassin versant du ruisseau Ewing. Les cultures de couverture rencontrées sont généralement des repousses de céréales perdues au battage.

Le foin

L'implantation de foin sur l'exploitation est directement reliée au type de production. Les fermes laitières ont du foin dans leur rotation alors que les fermes de grandes cultures vont privilégier le maïs-grain et le soja. Les producteurs considèrent que la production de foin commercial est d'une faible rentabilité. Ainsi les pourcentages du tableau 3.10 incluent les réponses associées aux deux types de production.

Le panic érigé

Le panic érigé est quant à lui bien répandu dans ce bassin versant puisque 60,9 % des producteurs l'ont implanté chez eux. Ce pourcentage est le résultat des efforts de M. Richard Lauzier, agronome du MAPAQ de Bedford, pour l'aménagement des berges du bassin versant du ruisseau Ewing. Le choix de cette culture a été motivé par sa facilité au niveau de l'entretien et aussi par les perspectives de mise en marché grâce au projet de construction d'une usine de transformation du panic érigé dans la région. Nombre de producteurs l'ont donc implanté comme bande riveraine. Les 26,1 % qui envisagent un jour l'implanter, attendent de savoir si le projet d'une usine de transformation va finalement être accepté. Les producteurs qui ont exclu d'implanter du panic érigé sont habituellement des producteurs laitiers qui récoltent leurs bandes riveraines en foin.

Remarques sur les facteurs décisionnels qui limitent l'adoption de pratiques culturelles alternatives

Les questions de la baisse de revenu et de l'équipement sont les principaux facteurs qui limitent le changement des pratiques (Tableau 3.11). Elles concernent principalement les pratiques du semis direct, de l'épandage en post-levée des engrais de ferme et de la culture de céréales à paille. Les 47,8 % des producteurs qui énoncent la difficulté anticipée de mise en marché sont principalement les producteurs qui ont renoncé à faire du blé sur leur exploitation. Les modalités actuelles d'assurance récolte/revenu ne sont un facteur limitant que pour 34,8 % des agriculteurs. Les conditions des parcelles sont un facteur limitant surtout pour les personnes qui n'ont pas encore utilisé le semis direct.

3.3.2 Facteurs décisionnels qui conduiraient à l'adoption

Les résultats du sondage concernant les facteurs décisionnels qui conduiraient à l'adoption de pratiques culturelles alternatives sont présentés au tableau 3.12.

Tableau 3.12 Pourcentages des réponses aux facteurs décisionnels qui conduiraient à l'adoption des pratiques culturelles alternatives.

Facteurs	Oui	Non
Encadrement technique (services conseils)	52,2 %	47,8 %
Compensations financières (BSE ¹ , compensation écologique)	52,2 %	47,8 %

¹Biens et services écologiques

Le service conseil

L'encadrement technique à travers les services conseils contribue à 52,2 % pour l'amélioration des pratiques. Ce pourcentage regroupe plusieurs pratiques culturelles. Tout d'abord, certains producteurs ont expliqué que les services conseils pourraient jouer un rôle dans la promotion des nouveaux contrats sur le blé. Ils pourraient également donner un avis sur le semis direct lorsque le producteur doute de la faisabilité technique relativement aux conditions de ses champs. Plusieurs producteurs ont également montré un intérêt pour améliorer leur connaissance relativement à la gestion des engrais verts. Il reste qu'une grande proportion des producteurs (47,8 %) considèrent ne pas avoir besoin de services conseils pour changer leurs pratiques. Ce pourcentage prend également en compte les personnes qui ne souhaitent absolument pas changer leurs pratiques culturelles.

Les compensations financières

Il est important de noter que malgré les pourcentages identiques entre les réponses des différents facteurs, les producteurs qui ont répondu par exemple «oui» au facteur

d'encadrement technique peuvent être différents de ceux qui répondent «oui» au facteur de compensations financières. C'est donc par pur hasard que les pourcentages sont identiques.

La moitié des producteurs ont déclaré qu'ils pourraient être incités à changer leurs pratiques culturales si leurs efforts étaient appuyés par des compensations financières. Les pratiques visées sont essentiellement la culture sur résidus et l'implantation de cultures de couverture. Le panic érigé ne peut pas être pris en considération dans ce résultat puisqu'une bonne partie des producteurs du bassin versant ont déjà été compensés pour leur bande riveraine. Ces pourcentages ne doivent néanmoins pas cacher les disparités entre les producteurs en termes d'information sur ces compensations. Des programmes existent déjà pour inciter les producteurs à passer au semis direct ou à planter des cultures de couverture. Certains producteurs sont déjà bien familiarisés avec ces programmes et ils confirment que ceux-ci sont un incitatif pour améliorer leurs pratiques. Par contre, même si 52,2 % des producteurs se disent intéressés à une compensation financière, il se peut qu'une partie de ces producteurs ne finalisent pas les démarches pour obtenir celle-ci, soit parce qu'ils ne sont pas informés, soit parce qu'ils n'ont pas envie d'effectuer les démarches nécessaires.

3.3.3 Utilisation d'ODEP auprès des producteurs et des conseillers

L'intérêt des producteurs

Les producteurs ont tout d'abord apprécié le calque des données du scénario de référence produit par l'ODEP dans l'atlas agroenvironnemental. Cette représentation leur permet de repérer rapidement les champs qui sont les plus à risque d'exporter du phosphore. Cependant, il reste que pour beaucoup d'entre eux les données d'exportation du phosphore restent une abstraction, car ils ne connaissent pas les seuils critiques de pollution du phosphore. Ainsi, ils peuvent avoir par exemple de la difficulté à interpréter un taux d'exportation de 2 kg de phosphore/ha/an alors qu'ils sont habitués à manipuler des tonnes d'engrais chaque année. L'utilisation du calque des kilogrammes de sédiments exportés du scénario de référence produit par l'ODEP les interpelle plus, compte tenu des quantités en

jeu et du fait que le sol représente pour le producteur la première ressource de son entreprise. La présentation des exportations de sédiments est donc une bonne approche pour introduire le sujet des exportations de phosphore, car les deux phénomènes sont étroitement liés et corrélés. L'interface du logiciel est assez simple et présente bien les quatre principaux facteurs de variation : régie des sols et des cultures; description du sol; aménagement hydro-agricole et; relief et conditions de drainage. Deux paramètres ont particulièrement attiré l'attention, soit l'impact de la taille de la bande riveraine et le travail du sol. Ceci s'explique par la plus grande notoriété de ces deux pratiques dans la diminution du lessivage des sédiments. Les rapports générés par l'ODEP sont aussi d'une grande clarté pour identifier les secteurs d'exportation les plus à risque (ruissellement souterrain et lié à la fertilisation). Ils donnent une base bien utile pour expliquer aux producteurs tous les facteurs mis en jeu dans la problématique du phosphore.

L'utilisation d'ODEP par un conseiller

Grâce à l'ODEP, un conseiller a la possibilité de mieux comprendre les facteurs qui sont en cause dans les exportations de phosphore. Le fait d'avoir découpé les exportations en trois secteurs rappelle que l'exportation totale de phosphore n'est pas seulement liée à l'érosion des sols, mais qu'elle est aussi le résultat de la lixiviation du phosphore soluble et du lessivage particulière hypodermique et souterrain. Ce découpage donne toute la mesure de la modification d'une pratique culturale ou d'un aménagement. Les rapports obtenus suite à divers scénarios sur un champ à risque permettent à un conseiller d'illustrer facilement les efforts qu'un producteur a consentis pour améliorer ses pratiques ou d'appuyer une action de celui-ci.

Les conseillers des clubs utilisent déjà beaucoup d'outils pour caractériser les exploitations de leurs membres. On peut citer les logiciels Agri-Champs et SIGA-Champs, pour réaliser les PAEF, le logiciel PROFIL, pour inscrire les PAA, et le logiciel IRPeQ pour les produits phytosanitaires. Chacun de ces outils demande beaucoup de temps pour l'actualisation des données. Pour cette raison, l'option de transfert de données de SIGA-Champs vers ODEP est une initiative qui sera très appréciée des conseillers.

4 Synthèse et implications opérationnelles

La comparaison des outils SIG supportée dans le cadre du projet Lisière verte et leur évaluation auprès des agriculteurs de la région à l'étude mettent en relief les limites du recours à des outils de modélisation hydrologique à grande échelle pour des applications tactiques au niveau de la ferme. Compte tenu de leur échelle de travail, les outils de modélisation hydrologique appliqués à de grands territoires font appel à des unités de calcul relativement grandes et à la généralisation de plusieurs données à référence spatiale, telles que la présence de drainage souterrain, la pratique culturale ou les modalités de la fertilisation. Les prédictions sont quantitatives et exigent absolument un calage et une validation sur la base d'observations mesurées dans le cadre de dispositifs en bassins versants expérimentaux. Ce processus assure que les prédictions du modèle reflètent bel et bien les exportations mesurées sur le terrain, à l'échelle des bassins versants. L'intérêt stratégique d'un modèle bien calibré et validé tient alors à ses capacités prédictives, soit d'estimer les retombées sur la qualité de l'eau de différents scénarios alternatifs de régie des sols, des cultures et de l'eau au niveau du bassin versant. Les prédictions associées aux différents scénarios agroenvironnementaux peuvent être comparées et évaluées en fonction d'objectifs quantifiés de réduction des charges établis pour le territoire. Ces prédictions répondent ainsi à des besoins stratégiques. L'échelle de travail et la méthodologie utilisée ne sont cependant pas adaptées à une utilisation tactique au niveau de la ferme et de la parcelle.

À l'échelle de la parcelle et de la ferme, la représentation de la vulnérabilité aux processus de ruissellement et d'érosion requiert des outils à fine résolution spatiale et d'une précision altimétrique relativement élevée. Les outils ODEP et GRISE, développés sur la base de données à référence spatiale à résolution de 1 m et d'une précision altimétrique de 10 cm, répondent bien au besoin tactique d'identifier les zones du parcellaire qui démontrent une vulnérabilité élevée aux processus de ruissellement et d'érosion, principaux vecteurs de transfert de la contamination diffuse de l'eau de surface. La lecture fine des propriétés du

parcellaire, telles que la qualité du drainage et les patrons spatiaux des écoulements de surface, permet au producteur et son conseiller de situer les zones à problème et d'y remédier sur mesure. L'intérêt des observations tient à leur valeur relative et ne requiert donc pas de validation exhaustive sur la base de mesures expérimentales, comme c'est le cas en modélisation hydrologique.

Les entretiens auprès des 23 entreprises participantes à ce volet d'étude du projet Lisière verte témoignent de l'adéquation entre les diagnostics du parcellaire intégrés dans l'atlas GRISE et les problèmes d'égouttement perçus par les agriculteurs. Les indices d'égouttement et la microtopographie sont complémentaires et fournissent une excellente base de travail pour les conseillers et les producteurs en matière de diagnostic hydro-agricole. Il demeure toutefois essentiel d'utiliser les outils à référence spatiale de concert avec les producteurs pour éviter de surévaluer un problème d'égouttement ou de considérer un problème qui n'existe pas. Différentes conditions rencontrées sur le terrain peuvent en effet conduire à des erreurs d'interprétation des indices d'égouttement. Retenons à ce titre la présence de couverture végétale comme les adventices et les céréales à paille, les sols minéraux avec un fort pourcentage de matière organique, les sols organiques et autres artefacts historiques (tas de fumier, ancienne grange, etc.). Bref, les données à référence spatiale incluent dans l'atlas agroenvironnemental GRISE constituent une excellente base de préparation au diagnostic qui sera validé, au final, sur le terrain.

Les producteurs rencontrés lors des entretiens se sont dits dans l'ensemble très satisfaits par les aménagements du projet Lisière verte. La grande majorité des producteurs ont à cœur d'améliorer l'égouttement de leurs champs. Sur 23 producteurs, seulement trois ont affirmé ne pas vouloir entreprendre de travaux d'amélioration des cinq champs diagnostiqués avec un problème de drainage. Le principal frein à l'amélioration des champs est de caractère financier. La mise en place de programmes pour soutenir les investissements dans l'aménagement hydro-agricole des terres est bien accueillie par les producteurs (76,2 % sont intéressés par Prime-Vert). L'accompagnement lors des démarches administratives est important pour assurer l'accès au soutien financier.

L'utilisation d'ODEP auprès des producteurs a permis d'expliquer les différents facteurs impliqués dans l'exportation du phosphore. Les rapports produits par l'ODEP à l'égard des exportations de phosphore ne constituent pas un incitatif à l'introduction de nouvelles pratiques culturales. Par contre, les exportations de sédiments retiennent plus l'attention, compte tenu des quantités impliquées et des préoccupations quant à la préservation du capital foncier. Les principales restrictions quant à l'implantation de pratiques culturales alternatives sont la baisse de revenu et le manque d'équipement. L'encadrement technique et les compensations financières ont démontré qu'ils pourraient contribuer en bonne partie à l'adoption de certaines pratiques culturales.

En conclusion, retenons que l'évaluation positive des agriculteurs de la région à l'étude quant aux outils à référence spatiale confirme le potentiel des avancées technologiques en télédétection dans le développement d'outils spécifiquement adaptés à la région des sols et l'aménagement hydro-agricole du parcellaire. Les entretiens avec les agriculteurs mettent en relief que l'égouttement des terres agricoles et la condition physique des sols viennent en tête de liste des facteurs limitant les rendements et la qualité des récoltes. De façon générale, les zones mal égouttées sont non seulement associées à de faibles rendements des cultures, mais aussi à une vulnérabilité élevée au ruissellement de surface. Aussi, la correction des problèmes d'égouttement des champs en culture contribue à la fois à préserver la productivité du parcellaire, ainsi qu'à réduire à la source l'exportation diffuse de sédiments, de nutriments, de pesticides ou de microbes pathogènes vers les cours d'eau et les lacs. Les outils de gestion à référence spatiale à haute résolution, mis à l'essai dans le cadre du volet *Évaluation des outils de gestion* du projet Lisière verte, constituent ainsi un levier efficace pour profiter d'opportunités gagnantes pour les entreprises agricoles et la communauté dans son ensemble. La réalisation du projet Lisière verte a concrètement démontré toute la pertinence de ces outils de gestion dans un cadre d'actions concertées à l'échelle du bassin versant.

Références citées

- Deslandes, J., I. Beaudin, A.R. Michaud, F. Bonn and C. A. Madramootoo. 2006. Influence of landscape and cropping system on phosphorus mobility within the Pike River watershed of Southwestern Quebec. *Canadian Water Resources Journal* 32(1): 21-42. January.
- Michaud, A.R., R. Lauzier et M.R. Laverdière. 2002. Description du système de transfert du phosphore dans le bassin versant du ruisseau Aux Castors. *Agrosol* 13:124-39.
- Michaud, A., J. Deslandes et J. Desjardins. 2004a. Rapport final : Réseau d'actions concertées en bassins versants agricoles, Projet de recherche et de développement présenté au Fonds d'action québécois pour le développement durable et son partenaire financier le Gouvernement du Québec (projet no 212). IRDA, Québec, 100 p.
- Michaud, A.R., R. Lauzier and M.R. Laverdière. 2004b. Temporal and spatial variability in nonpoint source phosphorus in relation to agricultural production and terrestrial indicators: the Beaver Brook case study. In: *Lake Champlain: Partnerships and Research in the New Millenium*. T.O. Manley, P.L. Manley and T.B. Mihuc (Eds.). Kluwer Academic/Plenum Pub., New York, NY, United States, p. 97-121.
- Michaud, A.R., R. Lauzier et M.R. Laverdière. 2005. Mobilité du phosphore et intervention agroenvironnementale en bassins versants agricoles: Étude de cas du ruisseau Aux Castors, tributaire de la Rivière Aux Brochets, Québec. *Agrosol*, 16 (1): 47-59.
- Michaud, A.R., I. Beaudin, J. Deslandes, F. Bonn and 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 Quebec. 2007. *Canadian Journal of Soil Science* 87(3) 329-344. May.
- 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 phosphore. Projet « Gestion du risque associé aux facteurs source et transport du phosphore 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 inc. (IRDA) et le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Québec, Canada. 107 pages et annexes.
- Michaud, A.R., J. Deslandes, G. Gagné, L. Grenon et K. Vézina. 2009a. Gestion raisonnée et intégrée des sols et de l'eau (GRISE). Rapport final. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Agriculture et agroalimentaire Canada (AAC), Université de Sherbrooke, CDAQ. 89 pages.
- Michaud, A.R., J. Desjardins, R. Lauzier et S.-C. Poirier. 2009b. Suivi de la qualité de l'eau dans le cadre du projet Lisière Verte. Rapport final. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), Coopérative de solidarité du bassin versant de la rivière Aux Brochets, Programme PASCAA, Agriculture et agroalimentaire Canada.
- Tabi, M., L. Tardif, D. Carrier, G. Laflamme, M. Rompré. 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), Québec, Canada.
- Williams, J.R. 1975. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. p. 244-252. Dans: *Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources: Proceedings of the sediment-yield workshop*, USDA Sedimentation Lab., Oxford, MS, November 28-30, 1972. ARS-S_40.

ANNEXES

Annexe 1. Questionnaire sur le diagnostic d'égouttement (atlas GRISE).

Projet Lisière verte, volet Évaluation des outils de gestion					
Grille de suivi auprès des entreprises agricoles					
Objectifs:					
Identifier des problématiques d'égouttement du parcellaire à partir du témoignage de l'agriculteur.					
Evaluer les capacités prédictives de l'atlas GRISE quant à l'identification et l'interprétation des zones mal égouttées du parcellaire					
Evaluer l'intérêt du producteur à investir dans l'aménagement des terres (complémentaire à l'aménagement riverain).					
Evaluer l'intérêt du producteur à investir dans l'implantation de pratiques culturales alternatives					
Partie I (Diagnostic d'égouttement-GRISE)					
Identification de l'entreprise:					
Identification des parcelles (no. plan de ferme)					
Les parcelles sont-elles drainées souterrainement (O,N,P)¹ ?					
Drainage de surface					
Non amélioré, pente < 3%					
Non amélioré, pente > 3%					
Planches bombées					
Nivelé					
Y a-t-il des problèmes d'égouttement sur le parcellaire (O, N) ?					
Approximation de la superficie de la parcelle affectée (%)					
Indicateurs de problèmes d'égouttement (O,N)					
Flaques persistantes après une précipitation					
Entrée tardive ou retardée au champ					
Circulation difficile, roulières profondes					
Rendement des cultures plus faible ou inégale					
Maturité tardive ou inégale des cultures					
Les zones mal égouttées correspondent aux faibles indices de brillance des sols (O, N) ?					
Les zones de faibles indices de brillance des sols correspondent à des zones mal égouttées (O, N) ?					
Le relief et les parcours de l'eau contribuent à expliquer la problématique d'égouttement (vue en profil au besoin) ?					
Cause(s) probables:					
Présence de dépressions					
Rigoles aménagées à l'automne pour drainer les dépressions					
Importante superficie contributrice					
Parcours de l'eau très long (700 m et plus)					
Cassé de pente					
Pente longitudinale ou latérale supérieures à 3%					
Absence de drainage souterrain					
Drainage souterrain inefficace					
Cours d'eau pas assez profond					
La nature du sol contribue à expliquer la problématique d'égouttement ?					
Cause(s) probables:					
Classe de texture du sol					
Nappe élevée persistante					
Horizons aux textures contrastées					
Sensibilité à la battance					
Compactage liée aux pratiques culturales					
Autre(s)					
Intérêt pour intervenir dans l'aménagement de la parcelle					
Type d'aménagements envisagés					
Drainage souterrain					
Drainage de surface (nivellement)					
Structures de contrôle du ruissellement (rigole/puits/tranchées filtrantes; bassins de captage et avaloir)					
Intérêt pour profiter de soutien financier (PRIME-VERT)					

Annexe 2. Questionnaire sur le diagnostic des exportations de phosphore (ODEP).

Partie II (Diagnostic des exportations de Phosphore-ODEP)					
Etude de cas du champ qui présente le taux d'exportation de P le plus élevé en scénario de référence					
Mise à jour des données agronomiques					
Culture / Antécédent (MG, So, Ce, Pr)					
Culture de couverture (A, D)					
Classe de richesse en P					
Travail primaire du sol (Lab, Aut, Pri, SD)					
Epandage d'engrais minéral (P ₂ O ₅ kg/ha)					
Epandage d'engrais de ferme (P ₂ O ₅ kg/ha)					
Période (PS, PL, AH, AT)					
Délai à l'incorporation (48, 1 Sem-, Sem+, NI)					
Intérêt pour des pratiques culturales alternatives (P, C, E)²					
Épandage en post-levée					
Culture sur résidus (sans labour)					
Cultures alternatives					
Céréales à paille					
Culture de couverture - associée					
Culture de couverture - dérobée					
Foin					
Panic érigé					
Facteurs décisionnels qui limitent l'adoption					
Baisse de revenu anticipée					
Difficulté anticipée dans la mise en marché					
Modalités actuelle d'assurance récolte/revenu					
Faisabilité technique, équipement et logistique					
Faisabilité technique, conditions de parcelles inappropriées					
Autres					
Facteurs décisionnels qui conduiraient à l'adoption					
Encadrement technique (services conseils)					
Compensation financière (BSE, compensation écologique)					
Autres					
¹ O:oui; N: Non; P:Partiel					
² P: Pratiquée actuellement; C:Considérée, dépend des facteurs, E: exclu nonobstant facteurs					